

# Evaluation de la qualité de l'air aux abords du tunnel de Fourvière



**MESURES ET MODELISATION – 2010 - 2011**

[www.air-rhonealpes.fr](http://www.air-rhonealpes.fr)



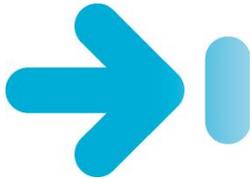
**Diffusion : mars 2012**

Siège social : 3 allée des Sorbiers – 69500 BRON

Tel : 09 72 26 48 90 - Fax : 09 72 15 65 64

[contact@air-rhonealpes.fr](mailto:contact@air-rhonealpes.fr)





Air Rhône-Alpes est issu du rapprochement de 6 associations agréées pour la surveillance de la qualité de l'Air (Air-APS, AMPASEL, ASCOPARG, ATMO Drôme-Ardèche, COPARLY, SUP'AIR). Cette régionalisation a eu lieu le 1<sup>er</sup> janvier 2012 et a eu lieu suite aux orientations prise par le Grenelle de l'Environnement et transcrites par Décret Ministériel (2010-1268 du 22 octobre 2010).

## CONDITIONS DE DIFFUSION

Air Rhône-Alpes est une association de type « loi 1901 » agréée par le Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable des Transports et du Logement (*décret 98-361 du 6 mai 1998*) au même titre que l'ensemble des structures chargées de la surveillance de la qualité de l'air, formant le réseau national ATMO.

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

Air Rhône-Alpes communique publiquement sur les informations issues de ses différents travaux et garantit la transparence de l'information sur le résultat de ses travaux.

A ce titre, les rapports d'études sont librement disponibles sur le site [www.air-rhonealpes.fr](http://www.air-rhonealpes.fr)

Les données contenues dans ce document restent la propriété intellectuelle d'Air Rhône-Alpes.

Toute utilisation partielle ou totale de ce document (extrait de texte, graphiques, tableaux, ...) doit faire référence à l'observatoire dans les termes suivants : © **Air Rhône-Alpes 2012 - Evaluation de la qualité de l'air aux abords du tunnel de Fourvière.**

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

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

En cas de remarques sur les informations ou leurs conditions d'utilisation, prenez contact avec Air-Rhône-Alpes :

- depuis le formulaire de contact sur le site [www.air-rhonealpes.fr](http://www.air-rhonealpes.fr)
- par mail : [contact@air-rhonealpes.fr](mailto:contact@air-rhonealpes.fr)
- par téléphone : 09 72 26 48 90

Un questionnaire de satisfaction est également disponible en ligne à l'adresse suivante <http://www.surveymonkey.com/s/ecrits> pour vous permettre de donner votre avis sur l'ensemble des informations mis à votre disposition par l'observatoire Air Rhône-Alpes.

Cette étude a reçu le concours financier du Grand Lyon

# Résumé

**Depuis 2006, COPARLY, en partenariat avec le Grand Lyon, intègre dans sa stratégie de surveillance de la qualité de l'air la problématique des tunnels du centre ville lyonnais.** En 2006-2007, une première étude a été menée autour du tunnel de la Croix-Rousse. En 2007-2008, une deuxième étude a été conduite sur l'ensemble du territoire de l'ouest lyonnais, concerné notamment par le projet de contournement « Tronçon Ouest Périphérique ». En 2010, COPARLY s'est proposé d'étudier, en troisième volet, l'impact du tunnel de Fourvière sur une zone s'étendant du 2ème arrondissement de Lyon (depuis la sortie sud du tunnel jusqu'aux quartiers de Perrache et Presqu'île), jusqu'au 9ème arrondissement (depuis la sortie nord du tunnel jusqu'à Vaise), en passant par le 5ème arrondissement (au-dessus du tunnel).

**Dans un premier temps, les mesures effectuées à l'aide de 2 laboratoires mobiles, ont permis de dresser un bilan réglementaire précis à proximité des 2 entrées/sorties du tunnel.** Sur l'ensemble des polluants mesurés, ce sont principalement le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) et les particules fines (PM<sub>10</sub>) qui présentent des dépassements de valeurs réglementaires.

A proximité du tunnel, la gamme de concentrations du NO<sub>2</sub> est typique d'un environnement influencé par le trafic. Les concentrations moyennes annuelles sont de 58 µg.m<sup>-3</sup> au niveau de l'entrée nord et de 60 µg.m<sup>-3</sup> à proximité de l'entrée sud. La valeur limite (fixée à 40 µg.m<sup>-3</sup>) est donc dépassée.

Pour les PM<sub>10</sub>, le seuil d'information et de recommandations (80 µg.m<sup>-3</sup> en moyenne 24h) a été dépassé sur les 2 sites étudiés. De plus, il existe un risque fort de dépasser la valeur limite qui autorise dans l'année 35 dépassements de valeur journalière 50 µg.m<sup>-3</sup>. Les mesures complémentaires par échantillonneurs passifs ont également permis de relever un dépassement de l'objectif de qualité (2 µg.m<sup>-3</sup>) pour le benzène en sortie direct du tunnel (2.8 µg.m<sup>-3</sup>).

**Dans un second temps, les mesures ont servi à valider le modèle de dispersion SIRANE dans une version spécifiquement modifiée pour l'étude des tunnels lyonnais sur l'année 2008.** Ce modèle a permis de cartographier la pollution à l'échelle de la ville avec une résolution de 10 mètres, et a fortiori d'évaluer l'impact du tunnel vis-à-vis de l'exposition des populations.

- La bande d'impact pour le NO<sub>2</sub> (zone au niveau des entrées/sorties qui ne respectent pas la valeur limite) s'étend d'environ 150 mètres de chaque côté de la voie perpendiculairement à la sortie Nord du tunnel.

- Longitudinalement à l'A6, la zone impactée par le NO<sub>2</sub> au niveau de la sortie Nord est 2 fois plus longue du côté nord-ouest, que du côté sud-est.

- La modélisation SIRANE sous-estime les valeurs maximales en sortie de tunnel. En effet, en sortie directe du tunnel, les estimations du modèle sont environ 2 fois plus faibles que les mesures. Hormis cette différence très localisée, la modélisation est cohérente avec l'ensemble des mesures (en particulier la largeur de la bande d'impact du tunnel).

- L'étendue du dépassement réglementaire est plus importante à la sortie Sud qu'à la sortie Nord. Pour la sortie Sud, l'impact du tunnel se confond avec l'influence résidentiel et trafic très marquée du centre ville.

- L'ensemble de la presqu'île est soumis à des dépassements de la valeur limite réglementaire aussi bien pour le NO<sub>2</sub> que pour les PM<sub>10</sub>.

- **24.3 %** (respectivement **97.2%**) des personnes habitant dans un rayon de 500m autour de la sortie **Nord** du tunnel (respectivement de la sortie **Sud**) étaient exposées en 2008 à des concentrations de NO<sub>2</sub> supérieures à la valeur limite.

**La nouvelle zone de Confluence a également bénéficié d'une étude approfondie.**

Ce territoire, longtemps consacré à l'industrie et aux transports, fait aujourd'hui, partie d'un important projet de réaménagement urbain. En 2008, 96 % des personnes habitant dans la zone de confluence étaient exposées à des concentrations de NO<sub>2</sub> supérieures à la valeur limite annuelle du NO<sub>2</sub> de 40 µg.m<sup>-3</sup>. Le long de l'axe A7 et la zone de Perrache avec l'important nœud autoroutier restent les zones les plus sensibles de part l'importance du trafic. Avec le réaménagement en cours et l'urbanisation grandissante de cette zone, la répartition spatiale du NO<sub>2</sub> est encore amenée à évoluer dans les prochaines années.

# Table des matières

<b>RÉSUMÉ</b> .....	<b>3</b>
<b>TABLE DES MATIÈRES</b> .....	<b>5</b>
<b>1. INTRODUCTION : PROBLÉMATIQUE DES TUNNELS LYONNAIS</b> .....	<b>7</b>
<b>2. CONTEXTE DE L'ÉTUDE</b> .....	<b>8</b>
1. GÉOMÉTRIE ET VENTILATION DU TUNNEL DU FOURVIÈRE .....	8
2. ZONE D'ÉTUDE.....	8
<b>3. MATÉRIEL ET MÉTHODE</b> .....	<b>10</b>
1. MATÉRIEL ET DATES D'ÉCHANTILLONNAGE.....	10
1. <i>Mesures en continu avec laboratoires mobiles</i> .....	10
2. <i>Échantillonnage spatial avec tubes passifs</i> .....	12
2. REPRÉSENTATIVITÉ DES MESURES.....	12
<i>Stations de référence</i> .....	12
<i>Représentativité annuelle des campagnes de mesures</i> .....	12
<b>4. BILAN SYNTHÉTIQUE ET RÉGLEMENTAIRE DE LA QUALITÉ DE L'AIR AUX ABORDS DU TUNNEL</b> .....	<b>14</b>
1. TABLEAU SYNTHÉTIQUE DES MESURES PAR LABORATOIRE MOBILE.....	14
<i>Tableau récapitulatif : Fourvière Nord</i> .....	14
<i>Tableau récapitulatif : Fourvière Sud</i> .....	15
2. L'INFLUENCE ET LA PART DU TRAFIC : LES NO <sub>2</sub> .....	15
<i>Une influence du tunnel plus visible sur le site Nord</i> .....	15
<i>Des dépassements du seuil d'information à proximité des entrées/sorties</i> .....	16
<i>La valeur limite non respectée sur une grande partie de la zone d'étude</i> .....	16
3. LES PARTICULES FINES ET TRÈS FINES : UNE FORTE CONTRIBUTION DU RÉSIDENTIEL .....	16
<i>Des concentrations plus élevées sur le site Sud en milieu très urbanisé</i> .....	16
<i>Des dépassements de valeurs réglementaires sur les 2 sites pour les PM<sub>10</sub></i> .....	17
<i>Les concentrations en PM<sub>2,5</sub> sont conformes aux valeurs réglementaires mais pas à l'objectif national du Grenelle II</i> .....	17
<i>Une importante hausse des concentrations pendant la période hivernale</i> .....	17
4. SO <sub>2</sub> : ZONE SANS INFLUENCE INDUSTRIELLE DIRECTE.....	18
5. LE MONOXYDE DE CARBONE : UN BON TRACEUR DE LA POLLUTION LIÉE AU TRAFIC.....	18
6. FAIBLES TENEURS EN MÉTAUX LOURDS (OU ÉLÉMENTS TRACES MÉTALLIQUES).....	18
7. COV/HAP : LES VALEURS RÉGLEMENTAIRES SONT RESPECTÉES SAUF PEUT-ÊTRE À L'INTÉRIEUR DU TUNNEL.....	19
<i>Benzène</i> .....	19
<i>Autres COV</i> .....	19
<i>HAP</i> .....	19
<b>5. ÉTUDE DÉTAILLÉE DE LA POLLUTION AUX ABORDS DES ENTRÉES/SORTIES : IMPACT DU TUNNEL</b> .....	<b>20</b>
1. DÉCROISSANCE DE LA POLLUTION AU NO <sub>2</sub> EN FONCTION DE L'ÉLOIGNEMENT AUX ENTRÉES/SORTIES DU TUNNEL .....	20
1. <i>Étude de 2 transects au niveau de la sortie nord</i> .....	20
2. <i>Comparaison à d'autres transects : Une bande d'impact au niveau du tunnel plus importante qu'en milieu ouvert</i> .....	22
2. UNE ESTIMATION DE LA POLLUTION EN TOUT POINT DU GRAND LYON : SIRANE V2 .....	22
3. RÉSULTATS DE LA MODÉLISATION POUR LE NO <sub>2</sub> .....	22
1. <i>Cartographique du NO<sub>2</sub> modélisée par SIRANE V2 et comparaison aux échantillonneurs passifs</i> .....	22
2. <i>Validation du modèle par les transects pour le NO<sub>2</sub></i> .....	24
3. <i>Zones supérieures à la valeur limite du NO<sub>2</sub></i> .....	24
4. <i>Densité de population des zones dépassant la valeur limite du NO<sub>2</sub></i> .....	26
5. <i>Établissements sensibles et évaluation des populations impactées</i> .....	26
4. RÉSULTATS DE LA MODÉLISATION POUR LES PM <sub>10</sub> .....	28
1. <i>Modélisation des particules fines PM<sub>10</sub> pour l'année 2008</i> .....	28

2. Zone supérieure à la valeur limite .....	28
<b>6. ZOOM SUR LA NOUVELLE ZONE DE CONFLUENCE .....</b>	<b>30</b>
<i>Influence de l'autoroute A7 sur la zone de confluence .....</i>	<i>30</i>
<i>Modélisation sur 2008, une cartographie en pleine évolution .....</i>	<i>30</i>
<b>CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES .....</b>	<b>32</b>
<b>ANNEXE 1 : DESCRIPTION TECHNIQUE DES MOYENS DE MESURES .....</b>	<b>34</b>
<b>ANNEXE 2 : LISTE DES POLLUANTS MESURÉS ET VALEURS RÉGLEMENTAIRES .....</b>	<b>37</b>
<i>Liste des polluants mesurés .....</i>	<i>37</i>
<i>Définition des valeurs réglementaires .....</i>	<i>38</i>
<i>Textes réglementaires .....</i>	<i>38</i>
<i>Valeurs réglementaires concernant le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) .....</i>	<i>39</i>
<i>Valeurs réglementaires pour les particules fines (PM<sub>10</sub>) .....</i>	<i>40</i>
<i>Valeurs réglementaires concernant les COV .....</i>	<i>41</i>
<i>Valeurs réglementaires concernant les HAP .....</i>	<i>41</i>
<i>Autres valeurs de références pour les autres COV, aldéhydes et métaux lourds .....</i>	<i>41</i>
<b>ANNEXE 3 LISTE DES SITES TUBES À DIFFUSION PASSIVE .....</b>	<b>44</b>
<b>ANNEXE 4 ÉVALUATION DE LA REPRÉSENTATIVITÉ DES CAMPAGNES DE MESURES .....</b>	<b>46</b>
1. <i>Statistiques horaires durant l'ensemble des campagnes .....</i>	<i>48</i>
2. <i>Statistiques journalières durant l'ensemble des campagnes .....</i>	<i>48</i>
<b>ANNEXE 6 TABLEAU ET CARTES DES CONCENTRATIONS DES ÉCHANTILLONNEURS PASSIFS .....</b>	<b>49</b>
<b>ANNEXE 7 : PARTICULES FINES RÉSULTATS COMPLÉMENTAIRES .....</b>	<b>51</b>
1. <i>Statistiques horaires durant l'ensemble des campagnes .....</i>	<i>51</i>
2. <i>Statistiques journalières durant l'ensemble des campagnes .....</i>	<i>51</i>
<b>ANNEXE 8 : MÉTAUX LOURDS RÉSULTATS COMPLÉMENTAIRES .....</b>	<b>52</b>
<i>Concentrations des 13 Éléments Traces métalliques mesurés .....</i>	<i>52</i>
<b>ANNEXE 9 : COV RÉSULTATS COMPLÉMENTAIRES .....</b>	<b>53</b>
<i>Concentrations de Benzène mesurés par échantillonneurs passifs sur l'ensemble de la zone d'étude .....</i>	<i>53</i>
<i>Concentrations de 41 COV mesurés par canister sur le site de Fourvière Nord .....</i>	<i>54</i>
<b>ANNEXE 10 : HAP RÉSULTATS COMPLÉMENTAIRES .....</b>	<b>55</b>
<b>ANNEXE 11 : ALDÉHYDES RÉSULTATS COMPLÉMENTAIRES .....</b>	<b>56</b>
<b>ANNEXE 12 : MODÉLISATION PM<sub>10</sub> (SIRANE V2) EN MOYENNE ANNUELLE SUR LA ZONE D'ÉTUDE .....</b>	<b>57</b>

# 1. Introduction : Problématique des tunnels lyonnais

Depuis 2006, COPARLY, en partenariat avec le Grand Lyon, intègre dans sa stratégie de surveillance de la qualité de l'air la problématique des tunnels du centre ville lyonnais.

En 2006-2007, une première étude a été menée autour du tunnel de la Croix-Rousse. La combinaison de mesures ponctuelles et d'une modélisation à fine échelle (modèle SIRANE) a permis de présenter aux élus et aux riverains l'état de la qualité de l'air sur l'ensemble du quartier de la Croix-Rousse. A l'horizon 2013, certains polluants (comme le dioxyde d'azote et les particules fines) ne respecteraient toujours pas les valeurs réglementaires. Suite à cette étude, une station de mesure de qualité de l'air a été mise en place par COPARLY, à proximité de la tête du tunnel côté Rhône, dans l'enceinte de l'école Michel Servet, pour 4 ans, durant les travaux de rénovation engagés par le Grand Lyon.

En 2007-2008, une deuxième étude a été réalisée sur l'ensemble du territoire de l'ouest lyonnais, concerné notamment par le projet de contournement « Tronçon Ouest Périphérique ». La zone couverte par cette étude s'étendait depuis le carrefour du Valvert au nord, jusqu'à la zone de Pierre-Bénite au sud, en passant par Francheville. Les résultats des mesures ont été exploités et ont montré que certaines zones étaient plus impactées que d'autres : en particulier le long des grands axes autoroutiers au nord et au sud de la zone, sur des zones avec des carrefours ou des rues canyon, mais aussi plusieurs points situés dans l'agglomération Lyonnaise.

En 2010, COPARLY a proposé d'étudier, en troisième volet, l'impact du tunnel de Fourvière sur une zone s'étendant du 2ème arrondissement de Lyon (depuis la sortie sud du tunnel jusqu'aux quartiers de Perrache et Presqu'île), jusqu'au 9ème arrondissement (depuis la sortie nord du tunnel jusqu'à Vaise), en passant par le 5ème arrondissement (au-dessus du tunnel). Les mesures effectuées au cours de l'année 2010 et 2011 aux abords du tunnel ont été complétées par une nouvelle version du modèle de qualité de l'air SIRANE, dont le rendu cartographique s'étend à l'ensemble du Grand Lyon.

Après avoir décrit le contexte et la méthodologie utilisée, ce présent rapport présente dans une première partie une synthèse réglementaire des polluants mesurés aux abords du tunnel. Dans une deuxième partie, l'impact du tunnel est étudié. Enfin, une dernière partie s'intéresse à la zone de Confluence, territoire historiquement consacré aux industries et aux transports, qui fait aujourd'hui partie d'un des plus importants projets lyonnais de réaménagement urbain.

## 2. Contexte de l'étude

### 1. Géométrie et ventilation du tunnel du Fourvière

Les tunnels routiers sont des acteurs particuliers des problématiques dites « trafic » de la qualité de l'air.

De par leur nature, ils participent à l'optimisation des déplacements. En effet, ils réduisent le temps et la distance parcourue et ne produisent pas intrinsèquement de pollution. En contre partie, ils concentrent la pollution en certaines zones en fonction de leur géométrie et de leur système de ventilation.

Le tunnel de Fourvière, long de 1860 mètres, est composé de deux tubes indépendants, chacun composé d'un trafic unidirectionnel sur 2 voies. Le système de ventilation est transversal (contrairement au tunnel de la Croix Rousse, qui est équipé de cheminées).

Chaque tube est équipé d'un système de ventilation à ses 2 extrémités.

Les ventilateurs sont connectés à des gaines de ventilation :

- Une sous la chaussée dédiée au soufflage d'air frais
- Une autre en hauteur dédiée à l'extraction d'air pollué

Les gaines sont séparées au milieu du tunnel par un mur, de telle sorte qu'il existe 2 zones de ventilations indépendantes pour chaque tube.

En exploitation courante, la ventilation est assurée par les effets physiques de pistonement générés par le trafic. L'air frais rentre par les têtes d'entrées, se charge en pollution lors de son passage longitudinal dans le tunnel et ressort chargé en pollution. Des capteurs d' monoxyde de Carbone (CO) et d'oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>) situés aux sorties du tunnel permettent de contrôler les concentrations. En cas de dépassement de seuils prédéfinis, la ventilation mécanique est activée. Le régime de ventilation dépend des seuils de concentrations atteints en sortie de tunnel.

### 2. Zone d'étude

COPARLY a étudié la qualité de l'air aux environs du tunnel de Fourvière sur une zone s'étendant du 2ème arrondissement de Lyon (depuis la sortie sud du tunnel jusqu'aux quartiers de Perrache et Presqu'île), jusqu'au 9ème arrondissement (depuis la sortie nord du tunnel jusqu'à Vaise), en passant par le 5ème arrondissement (au-dessus du tunnel).

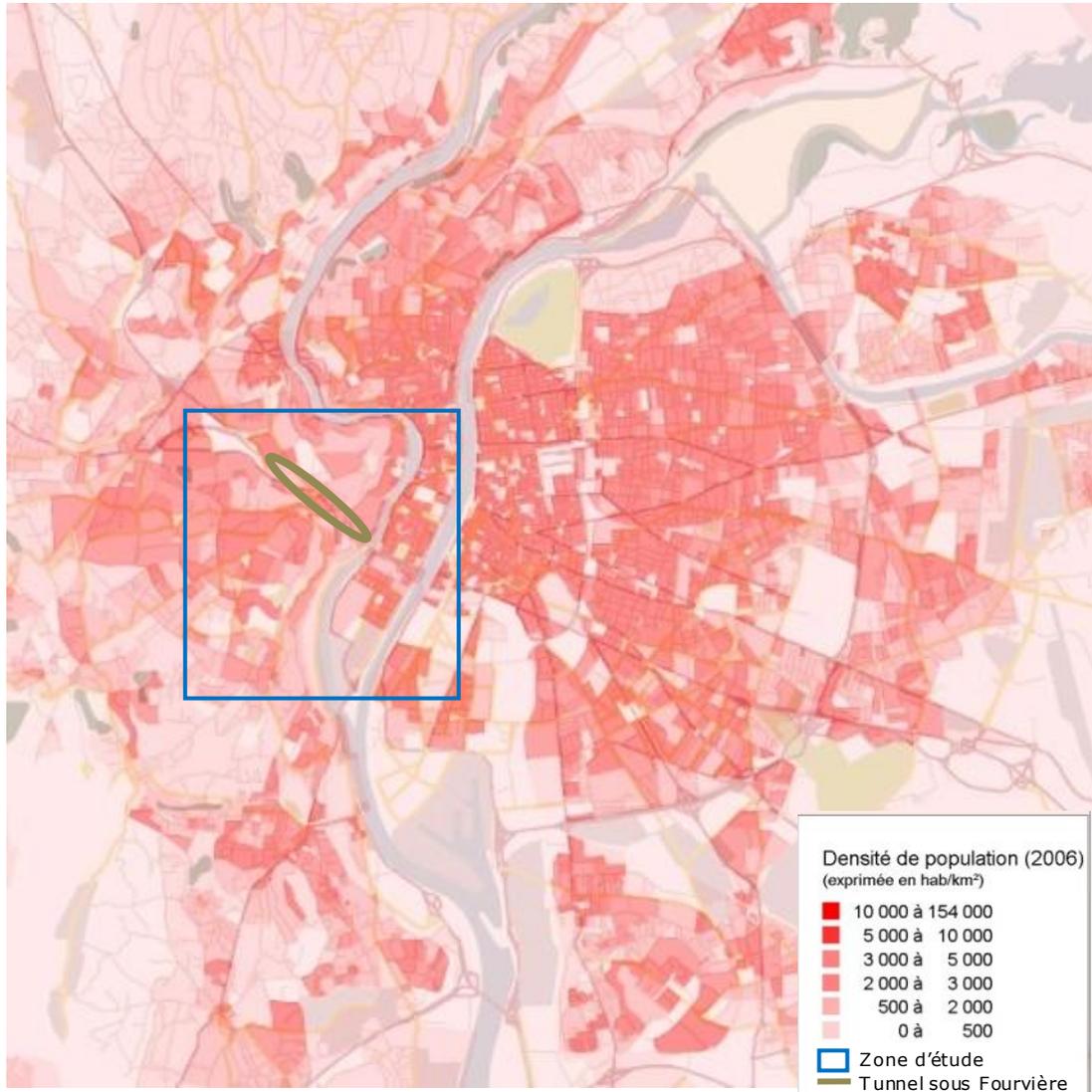


Figure 1 : Densité de population sur la zone d'étude

### 3. Matériel et méthode

#### 1. Matériel et Dates d'échantillonnage

La description des méthodes de mesures utilisées est détaillée en **annexe 1**.

##### 1. Mesures en continu avec laboratoires mobiles

Deux laboratoires mobiles équipés d'analyseurs ont permis de suivre l'évolution des principaux polluants réglementés sur quatre campagnes de deux semaines, réparties sur l'année et chacune représentative d'une saison. Les concentrations mesurées sont déclinées sur un pas de temps horaire ou journalier, tout comme les stations fixes de surveillance de la qualité de l'air.

Les deux sites retenus pour cette étude se trouvent à proximité des deux sorties du tunnel de Fourvière.

Au nord, le site a été implanté au 143 bis avenue Sidoine Apollinaire (ancienne école primaire de la Vallonière), à environ 100 mètres de la sortie de tunnel et légèrement en hauteur par rapport à cette dernière. Des prélèvements ponctuels de Métaux Lourds, d'Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP), de COV et d'aldéhydes, sont venus compléter les mesures de polluants classiques pour ce site.

Au sud, le site investigué se trouvait de l'autre côté de la Saône sur la place Genoul dans le 2ème arrondissement, à environ 330 mètres de la sortie du tunnel.

Le détail des 2 sites de mesures est présenté page suivante.



L'**annexe 2** reprend la liste détaillée des polluants mesurés, ainsi que les différentes **valeurs réglementaires** à respecter.

##### Dates des campagnes de mesures avec le laboratoire mobile

Afin d'être représentatif de l'année complète, la réglementation préconise une période minimale de mesure de 14% du temps. Ainsi plus de 8 semaines de mesures (4 campagnes de 2 semaines environ) ont été réalisées au cours de l'année 2010.

n°	Saison	Date de début	Date de fin	Durée en jours	Commentaire
1	Hiver	03/03/2010	19/03/2010	16	
2	Printemps	21/05/2010	28/06/2010	38	
3	Été	17/08/2010	02/09/2010	16	Pas de SO2
4	Automne	04/11/2010	22/11/2010	18	Pas de SO2

Figure 2 : Calendrier des mesures par remorque laboratoire

Présentation des sites de mesure par laboratoire mobile

**Laboratoire mobile : Entrée/Sortie Nord du tunnel**



Vue aérienne globale



Vue aérienne détail  
Importance de la topographie

**Typologie du site**

Urbaine avec influence  
Trafic  
(100 m : Sortie Nord  
du Tunnel de  
Fourvière)

**Polluants mesurés**

Oxydes d'azote (NO, NO<sub>2</sub>)  
Poussières (PM10, PM2,5)  
Dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>)  
Monoxyde d'azote (CO)  
HAP (dont BaP)  
COV (dont Benzène et 1,3-butadiène)  
Aldéhydes (dont formaldéhyde et acroléine)  
Métaux Lourds (dont nickel, cadmium, arsenic, plomb)



**Laboratoire mobile : Entrée/Sortie Sud du tunnel**



Vue aérienne globale



Vue aérienne détail  
Importance de la topographie et de l'influence locale

**Typologie du site**

Centre urbain avec  
influence Trafic  
(330 m : Sortie Sud du  
Tunnel de Fourvière)

**Polluants mesurés**

Oxydes d'azote (NO, NO<sub>2</sub>)  
Poussières (PM10, PM2,5)  
Dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>)  
Monoxyde d'azote (CO)



## 2. Échantillonnage spatial avec tubes passifs

Le dispositif a été complété avec 35 sites de mesures par échantillonneurs à diffusion passive, permettant d'étudier la répartition spatiale des concentrations en NO<sub>2</sub> (dioxyde d'azote), et BTX (Benzène, Toluène, Xylènes), dans différents environnements (fond urbain, influencé trafic ou proximité directe automobile), et d'évaluer les moyennes annuelles de ces polluants sur l'ensemble de la zone d'étude.

Les emplacements exacts de ces mesures par échantillonneurs passifs sont présentés sur les cartes de la page suivante.

Le tableau récapitulatif de l'ensemble des sites à diffusion passive est présentée en **Annexe 3**.

### Dates des campagnes d'échantillonnage par échantillonneurs passifs :

Les échantillonneurs passifs ont été exposés sur 4 campagnes de 2 semaines chacune (périodes identiques au laboratoire mobile), couvrant l'ensemble des saisons, offrant généralement les conditions optimales pour mesurer les valeurs maximales et minimales.

N°	Saison	Date de début	Date de fin	Durée d'exposition (en jours)
1a	Hiver	25/02/2010	04/03/2010	14
1b	Hiver	04/03/2010	11/03/2010	14
2a	Printemps	20/05/2010	27/05/2010	14
2b	Printemps	27/05/2010	03/06/2010	14
3a	Été	11/08/2010	18/08/2010	14
3b	Été	18/08/2010	25/08/2010	14
4a	Automne	03/11/2010	10/11/2010	14
4b	Automne	10/11/2010	17/11/2010	14

Figure 3 : Calendrier des campagnes par tubes à diffusion passive

## 2. Représentativité des mesures

### Stations de référence

Les mesures effectuées par les laboratoires mobiles sont comparées à celles des stations fixes du réseau de COPARLY dont les statistiques sont connues pour l'ensemble d'une année et servent de référence. Cette comparaison, en fonction de la typologie et/ou de la situation géographique, permet d'évaluer au mieux les concentrations de polluants mesurées sur le site d'étude choisi par rapport au reste du territoire.

### Représentativité annuelle des campagnes de mesures

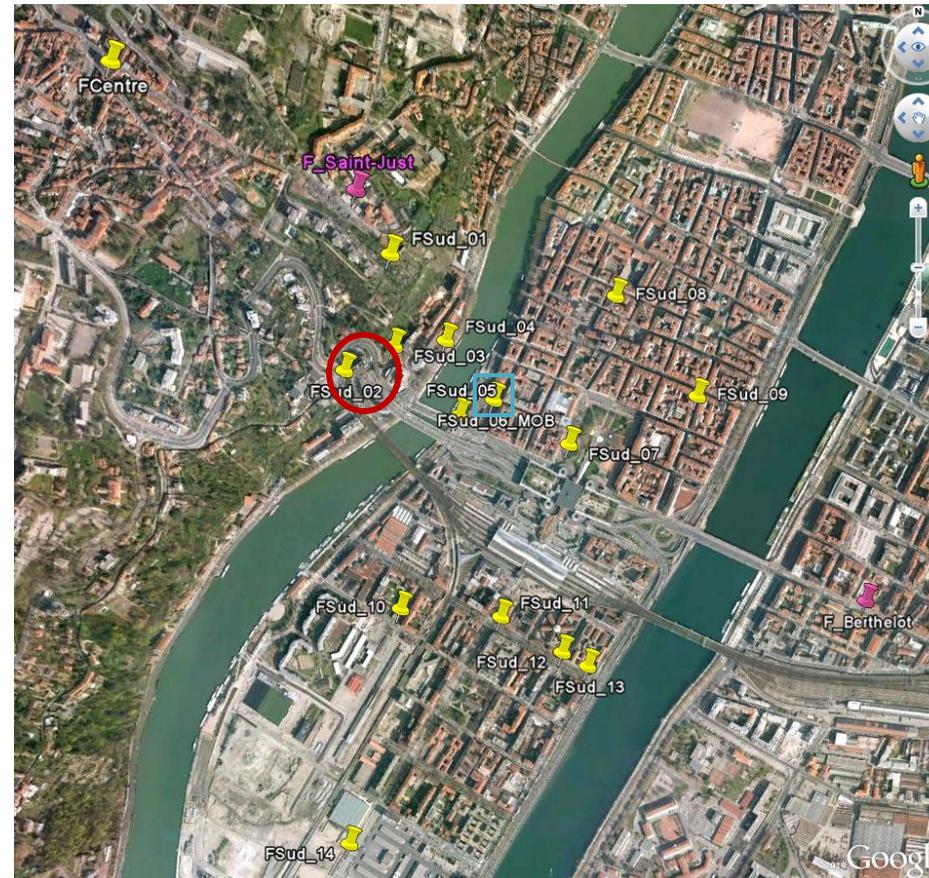
Avant de pouvoir comparer les niveaux aux valeurs réglementaires annuelles, il est nécessaire de vérifier que les mesures effectuées sur l'ensemble des campagnes de mesures sont représentatives de l'année complète.

Cette vérification est réalisée avec les stations fixes de référence de COPARLY, en comparant la moyenne pour la période de mesures (moyenne partielle) à la moyenne annuelle (moyenne sur une année de mesures, d'août 2010 à juillet 2011). Cette comparaison est présentée en **annexe 4** pour l'ensemble des polluants.

Au vu de cette comparaison, les moyennes des 4 campagnes de mesures ont été corrigées pour le NO<sub>2</sub>, les PM<sub>10</sub>, les PM<sub>2,5</sub>, et le CO ainsi que pour les données NO<sub>2</sub> mesurées par échantillonneurs passifs, afin d'être représentatif de l'année complète.

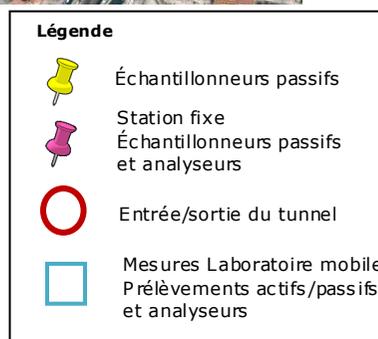


Zone Fourvière Nord



Zone Fourvière Sud

Figure 4 : Emplacements des échantillonneurs à diffusion passive



## 4. Bilan synthétique et réglementaire de la qualité de l'air aux abords du tunnel

Cette partie présente une synthèse des résultats des polluants mesurés sur les laboratoires mobiles implantés à proximité des entrées/sorties du tunnel.

Pour chaque polluant, les niveaux sont commentés et comparés aux valeurs réglementaires existantes (valeur limite, objectif de qualité, seuils d'information ou d'alerte,...), cf. **Annexe 2**.

Pour certains polluants (le dioxyde d'azote et le benzène), l'analyse est complétée avec les mesures des autres sites grâce aux échantillonneurs passifs. Ces résultats permettent d'analyser plus précisément les variations spatiales des concentrations et donc, d'apporter une information représentative de l'ensemble de la zone d'étude.

### 1. Tableau synthétique des mesures par laboratoire mobile

Dans cette première partie, les mesures sont comparées aux valeurs réglementaires sous forme d'un tableau synthétique. Les indicateurs (rouge, jaune, vert) ont été choisis pour visualiser rapidement les niveaux de tous les polluantes face à certaines valeurs réglementaires (objectifs de qualité, valeurs limite, seuil d'information) sur le court, moyen et long terme.

#### Explication des tableaux :

**Moyennes annuelles** : Valeur de la concentration en moyenne annuelle pour chaque polluant.

Le pictogramme à côté de la valeur indique si cette moyenne dépasse ou non les valeurs réglementaires de chaque polluant concerné :

- feu vert : objectif de qualité respecté
- feu orange : moyenne mesurée entre l'objectif de qualité et la valeur limite
- feu rouge : moyenne mesurée supérieure ou égale à la valeur limite

**Nombre de dépassements – VL journalière / horaire** : Nombre de dépassements observés durant les campagnes de mesures vis-à-vis des valeurs limites (en moyenne journalière / en moyenne horaire), ces dernières ne devant pas être dépassées plus d'un certain nombre de jours / d'heures dans l'année.

Le pictogramme à côté de la valeur indique le risque de dépasser la valeur limite réglementaire pour chaque polluant concerné :

- feu vert : pas de risque ou risque faible (nb de dépassements < 50% du nombre maximum fixé par la valeur limite)
- feu orange : risque moyen à fort (nb de dépassements >= 50% et < 100% du nombre fixé par la valeur limite)
- feu rouge : valeur limite non respectée (nb de dépassements >= nombre maximum fixé par la valeur limite)

NB : le tiret «-» indique qu'il n'y a pas de valeur limite sur le pas de temps concerné (horaire ou journalier)

**Nombre de dépassements – seuil information** : Nombre de dépassements observés du seuil d'information et de recommandation pour les personnes sensibles pour chaque polluant (lorsqu'il existe).

Le pictogramme à côté de la valeur indique si le seuil a été respecté, approché ou atteint :

- feu vert : aucun risque (a priori) de dépassement du seuil d'information
- feu orange : aucun dépassement observé, mais des valeurs proches du seuil d'information (valeur max >= 90% du seuil horaire ou journalier)
- feu rouge : 1 ou plusieurs dépassement(s) observé(s)

#### Tableau récapitulatif : Fourvière Nord

	Site	FOURVIERE Nord	FOURVIERE Nord	FOURVIERE Nord	FOURVIERE Nord	FOURVIERE Nord
	Typologie	[Labo mobile]	[Labo mobile]	[Labo mobile]	[Labo mobile]	[Labo mobile]
<b>Laboratoire mobile</b>	<b>Polluant</b>	SO2	NO2	PM10	PM2,5	CO
Long terme	Base de calcul	<b>Moy. an.</b>	<b>Moy. an.</b>	<b>Moy. an.</b>	<b>Moy. an.</b>	<b>Moy. an.</b>
	Moyenne mesurée durant l'étude	3	58	30	24	346
	Base de calcul	-	<b>Moy. an. NOx</b>	-	-	-
Moyen terme	Moyenne mesurée durant l'étude	-	126	-	-	-
	Base de calcul	<b>Moy. J</b>	<b>Moy. J</b>	<b>Moy. J</b>	<b>Moy. J</b>	<b>Max J de mg8h</b>
	Maximum mesuré durant l'étude	7	118	77	67	1094
Court terme	Nb de dépass. de la VL durant l'étude	0	-	3	-	0
	Base de calcul	<b>Max. H</b>	<b>Max. H</b>	<b>Max. H</b>	<b>Max. H</b>	<b>Max. H</b>
	Maximum mesuré durant l'étude	11	299	103	89	1466
Arrêtés préfectoraux	Nb de dépass. de la VL durant l'étude	0	13	-	-	-
	Base de calcul	<b>Max. H</b>	<b>Max. H</b>	<b>Max. sur 24h</b>	-	-
	Maximum mesuré durant l'étude	11	299	85	-	-
	Nb de J avec dépass. du niv. d'alerte	0	0	0	-	-
Nb de J avec dépass. du niv. d'information	0	5	1	-	-	

## Tableau récapitulatif : Fourvière Sud

	Site	FOURVIERE Sud	FOURVIERE Sud	FOURVIERE Sud	FOURVIERE Sud
	Typologie	[Labo mobile]	[Labo mobile]	[Labo mobile]	[Labo mobile]
<b>Laboratoire mobile</b>	Polluant	SO2	NO2	PM10	CO
Long terme	Base de calcul	Moy. an.	Moy. an.	Moy. an.	Moy. an.
	Moyenne mesurée durant l'étude	2	60	34	451
	Base de calcul	-	Moy. an. NOx	-	-
	Moyenne mesurée durant l'étude	-	107	-	-
Moyen terme	Base de calcul	Moy. J	Moy. J	Moy. J	Max J de mg8h
	Maximum mesuré durant l'étude	4	120	78	1560
	Nb de dépass. de la VL durant l'étude	0	-	5	0
Court terme	Base de calcul	Max. H	Max. H	Max. H	Max. H
	Maximum mesuré durant l'étude	25	202	115	1969
	Nb de dépass. de la VL durant l'étude	0	2	-	-
Arrêtés préfectoraux	Base de calcul	Max. H	Max. H	Max. sur 24h	-
	Maximum mesuré durant l'étude	25	202	84	-
	Nb de J avec dépass. du niv. d'alerte	0	0	0	-
	Nb de J avec dépass. du niv. d'information	0	1	1	-

## 2. L'influence et la part du trafic : les NO<sub>2</sub>

### Une influence du tunnel plus visible sur le site Nord

Les gammes de concentrations du NO<sub>2</sub> pour les 2 laboratoires mobiles sont typiques d'un environnement influencé par le trafic. Les concentrations moyennes annuelles sur les 2 sites sont de 58 µg.m<sup>-3</sup> au niveau de l'entrée nord et de 60 µg.m<sup>-3</sup> au niveau de l'entrée sud. Sur ces 2 sites la valeur limite (fixée à 40 µg.m<sup>-3</sup>) est donc dépassée. Pour comparaison, la moyenne annuelle en fond urbain est comprise entre 32 et 35 µg.m<sup>-3</sup>.

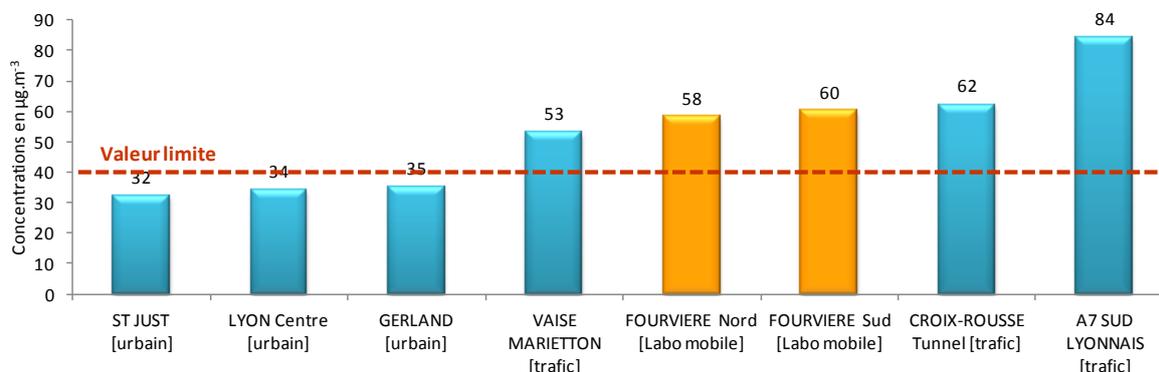
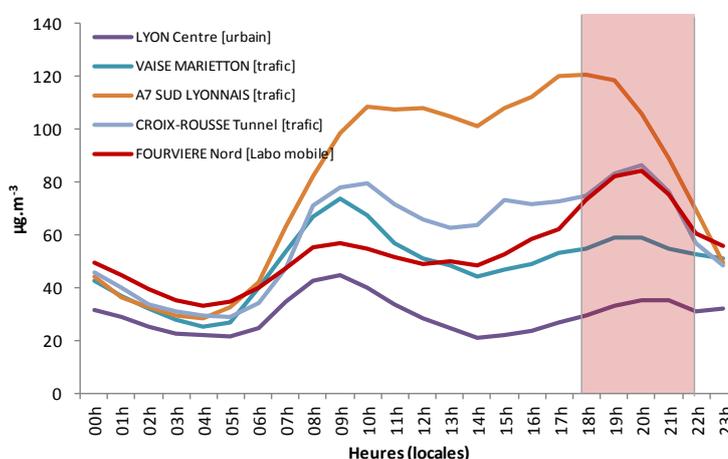


Figure 5 : Évaluation des moyennes annuelles de NO<sub>2</sub> à proximité du tunnel

Les concentrations moyennes annuelles sont légèrement plus élevées sur le site Fourvière Sud (écart de 2µg.m<sup>-3</sup>). En revanche, les valeurs maximales sont atteintes pour le site Fourvière Nord (299 µg.m<sup>-3</sup> en moyenne horaire) et sont comparables à celles mesurées sur le site de Croix-Rousse tunnel. Les profils journaliers de ces deux sites montrent un comportement similaire lors de la hausse des concentrations entre 18h et 22h dû au trafic pendulaire de fin de journée.



Le site Fourvière Nord était situé à proximité directe de la sortie du tunnel (100 mètres) alors que le site Fourvière Sud était situé à 300 mètres de la sortie du tunnel et en zone beaucoup plus urbanisée. Cette différence peut expliquer le fait que l'impact du tunnel est plus visible sur le site Fourvière Nord en particulier lors de faibles vents de secteur sud.

### Des dépassements du seuil d'information à proximité des entrées/sorties

Le seuil d'information et de recommandations a été dépassé pendant la période d'étude. Le site de Fourvière Sud a atteint la valeur de  $202 \mu\text{g.m}^{-3}$  le 01/09 à 9h, dépassant le seuil réglementaire de  $200 \mu\text{g.m}^{-3}$  sur une heure. Ce même seuil a été dépassé 5 fois sur le site de Fourvière Nord. La valeur maximale de  $299 \mu\text{g.m}^{-3}$  a été atteinte le 24/06 à 21h.

### La valeur limite non respectée sur une grande partie de la zone d'étude

Les résultats des autres sites sondés par échantillonneurs passifs montrent que la valeur limite ( $40 \mu\text{g.m}^{-3}$  en moyenne annuelle) n'est pas respectée pour 20 sites (soit 60% des 35 sites sondés avec échantillonneurs passifs).

Plus précisément, les concentrations moyennes sont élevées et homogènes sur la presqu'île et le quartier de Perrache, où la plupart des sites dépassent la valeur limite. La zone d'étude Nord présentent des concentrations très élevées aux abords de la sortie du tunnel mais diminuent en s'éloignant de cette dernière en raison du relief présent sur cette zone (sortie du tunnel entre 2 collines). Une carte plus précise des concentrations mesurées par échantillonneurs passifs est présentée en **annexe 6**.

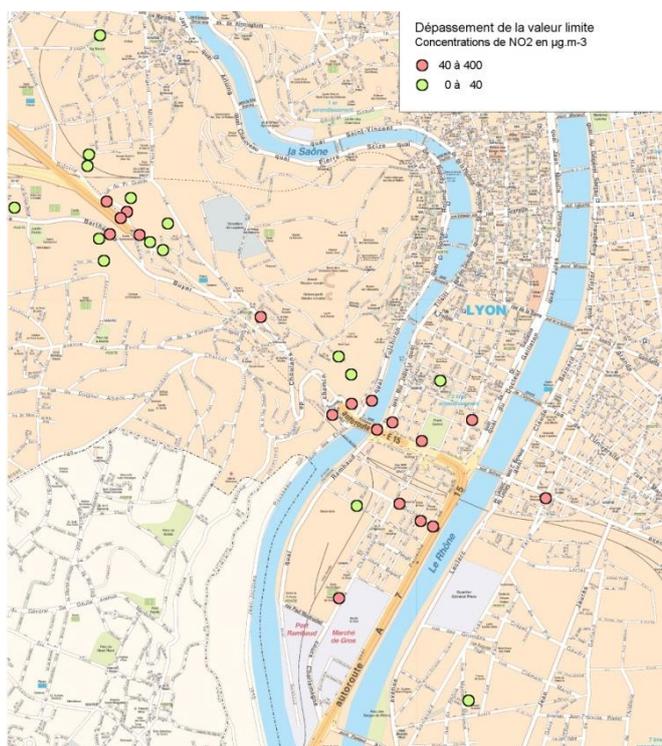


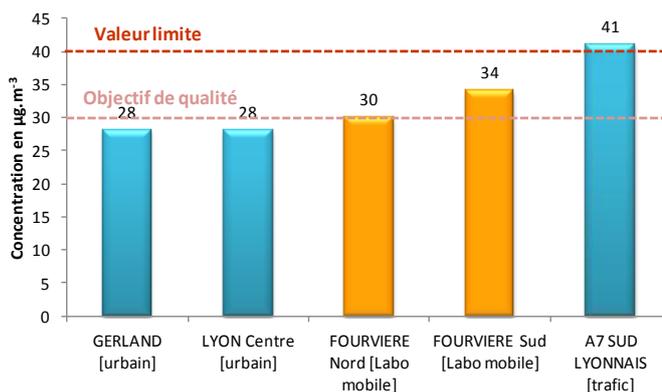
Figure 6 : Dépassement de la valeur limite du NO<sub>2</sub> pour les échantillonneurs passifs

## 3. Les particules fines et très fines : Une forte contribution du résidentiel

### Des concentrations plus élevées sur le site Sud en milieu très urbanisé

La moyenne annuelle pour les PM<sub>10</sub> sur le site de l'entrée Nord du tunnel est égale à  $30 \mu\text{g.m}^{-3}$ . Elle est de  $34 \mu\text{g.m}^{-3}$  sur le site de l'entrée Sud du tunnel.

Ces deux valeurs respectent donc la valeur limite qui est fixée à  $40 \mu\text{g.m}^{-3}$  en moyenne annuelle.



Néanmoins l'objectif de qualité fixé à  $30 \mu\text{g.m}^{-3}$  est atteint ou dépassé sur ces 2 sites. La moyenne en fond urbain est proche de cette valeur d'objectif, mais ne l'atteint pas. Le site A7 Sud lyonnais enregistre la plus forte valeur avec  $41 \mu\text{g.m}^{-3}$ , dépassant ainsi la valeur limite en moyenne annuelle.

La valeur plus élevée sur le site de Fourvière Sud peut s'expliquer, d'une part, par l'influence du trafic très dense au niveau du site de mesures et, d'autre part, par l'influence des émissions liées au chauffage étant donné la typologie très urbaine.

### Des dépassements de valeurs réglementaires sur les 2 sites pour les PM<sub>10</sub>

La valeur limite journalière autorise 35 dépassements, sur l'année complète, de la valeur  $50 \mu\text{g.m}^{-3}$  en moyenne journalière. A proximité de l'entrée Nord du tunnel, cette valeur a été dépassée 3 fois. Sur le site de l'entrée Sud elle a été dépassée 5 fois. Les stations de Gerland, Lyon Centre et A7 Sud Lyonnais ont respectivement dépassé cette valeur 4, 4 et 12 fois pendant les campagnes de mesures.

Le seuil d'information et de recommandations ( $80 \mu\text{g.m}^{-3}$  en moyenne 24h calculée entre 17h et 16h) a été dépassé le 13 mars 2010 sur les 2 sites étudiés. Ces dépassements ont eu lieu pendant un important épisode de pollution qui a impacté plusieurs sites de la région.

Le seuil d'alerte n'a jamais été franchi sur les 2 sites étudiés au cours de l'année 2010. Néanmoins il convient de préciser que depuis début 2011, ces seuils réglementaires ont été abaissés : le seuil d'information et de recommandations est passé à  $50 \mu\text{g.m}^{-3}$  et le seuil d'alerte à  $80 \mu\text{g.m}^{-3}$ .

### Les concentrations en PM<sub>2.5</sub> sont conformes aux valeurs réglementaires mais pas à l'objectif national du Grenelle II

Les PM<sub>2.5</sub> ont été mesurées uniquement sur le site de Fourvière Nord. La moyenne annuelle est estimée à  $24 \mu\text{g.m}^{-3}$ . La valeur limite fixée à  $29 \mu\text{g.m}^{-3}$  en 2010 et celle visée en 2015 ( $25 \mu\text{g.m}^{-3}$ ) sont donc respectées.

Néanmoins, la moyenne estimée dépasse le seuil de  $15 \mu\text{g.m}^{-3}$  visé comme objectif national dans la loi du Grenelle II de l'environnement.

Les PM<sub>2.5</sub> sont essentiellement émises par la combustion du carburant alors que les particules à plus gros diamètre sont liées à la remise en suspension des particules lors du passage des véhicules.

### Une importante hausse des concentrations pendant la période hivernale

Les concentrations en particules fines PM<sub>10</sub> et très fines PM<sub>2.5</sub> sont environ 1.7 fois plus élevées en hiver que pendant le reste de l'année. Pendant la période hivernale, deux facteurs expliquent la hausse des concentrations.

D'une part, la baisse des températures favorise les émissions dues au chauffage. D'autre part, les mauvaises conditions de dispersion permettent l'accumulation des particules : en situation de forte stabilité atmosphérique (temps sec et froid avec inversion de températures), les particules se retrouvent piégées dans les basses couches de l'atmosphère et s'accumulent, augmentant ainsi leurs concentrations.

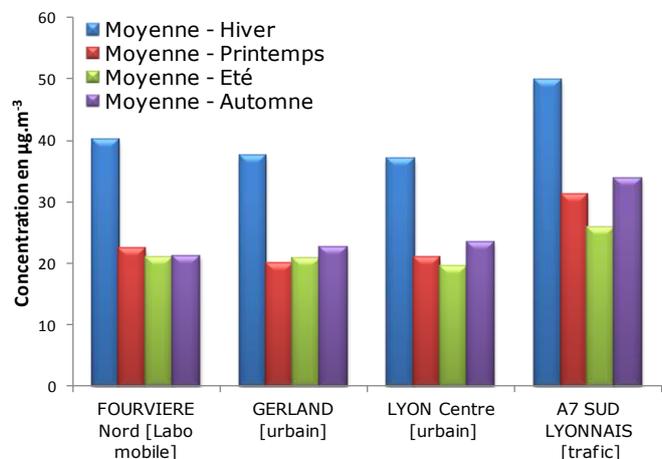


Figure 7 : Hausse des concentrations hivernales en PM<sub>10</sub>

#### 4. SO<sub>2</sub> : Zone sans influence industrielle directe

Le dioxyde de soufre est un polluant essentiellement émis par le secteur industriel. Sur la zone d'étude, les concentrations en SO<sub>2</sub> sont minimales et n'ont pas dépassé les valeurs réglementaires sur les deux premières campagnes. Pour des raisons techniques, la mesure de ce polluant a été arrêtée pour les 2 dernières campagnes.

#### 5. Le monoxyde de carbone : un bon traceur de la pollution liée au trafic

Les concentrations moyennes annuelles en CO mesurées sur les sites Fourvière Nord et Fourvière Sud (346 et 451 µg.m<sup>-3</sup>) dépassent celle de la station trafic Vaise Marietton (329 µg.m<sup>-3</sup>). Par ailleurs, la moyenne annuelle mesurée à proximité de la sortie sud, en milieu très urbanisé, dépassent également la concentration annuelle de la station fixe A7 Sud Lyonnais. Les niveaux restent néanmoins conformes à la valeur réglementaire annuelle (10 000 µg.m<sup>-3</sup>).

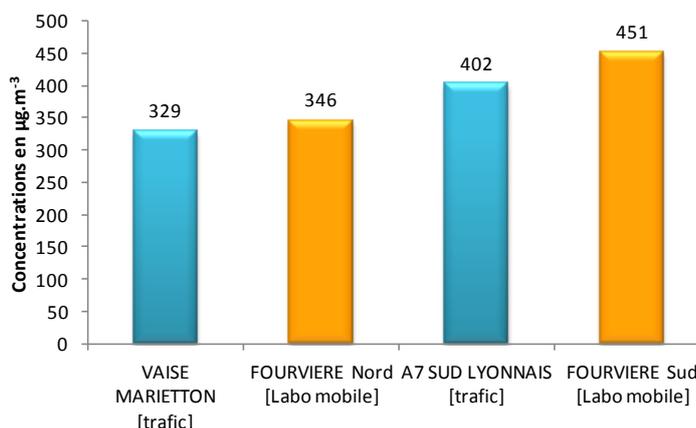


Figure 8 : Évaluation des concentrations annuelles en CO

#### 6. Faibles teneurs en Métaux lourds (ou éléments traces métalliques)

Pour les 4 composés possédant des valeurs réglementaires (valeur cible de la directive européenne), les moyennes annuelles sont faibles et largement conformes aux valeurs à respecter.

Polluant	Moyenne annuelle sur le site Fourvière Nord (µg.m <sup>-3</sup> )	Valeur réglementaire (µg.m <sup>-3</sup> )
Arsenic (As)	0.4	6 (valeur cible)
Cadmium (Cd)	0.1	5 (valeur cible)
Nickel (Ni)	2.0	20 (valeur cible)
Plomb (Pb)	6.3	500 (valeur limite)

Figure 9 : Comparaison des concentrations mesurées aux valeurs réglementaires des Métaux lourds

Les analyses réalisées sur les échantillons prélevés ont permis de mesurer les concentrations pour dix autres Métaux Lourds (**Annexe 8**). Les niveaux mesurés pour ces métaux ne présentent pas de valeurs atypiques, et restent dans la gamme de concentrations d'un milieu urbain. Elles sont conformes aux valeurs guides préconisées par l'Organisation Mondiale de la Santé.

La concentration en Manganèse est de 7.8 µg.m<sup>-3</sup> en moyenne annuelle (valeur guide : 150 µg.m<sup>-3</sup>) et la concentration journalière maximale du vanadium est de 1.3 ng.m<sup>-3</sup> (valeur guide : 1000 ng.m<sup>-3</sup> sur 24h).

## 7. COV/HAP : les valeurs réglementaires sont respectées sauf peut-être à l'intérieur du tunnel

### Benzène

Sur le site Fourvière Nord, la moyenne annuelle du benzène varie entre  $1.4 \mu\text{g.m}^{-3}$  et  $1.0 \mu\text{g.m}^{-3}$  selon le moyen de mesure (échantillonneur passif ou actif). L'objectif de qualité ( $2 \mu\text{g.m}^{-3}$ ) et la valeur limite ( $5 \mu\text{g.m}^{-3}$ ) sont donc respectés. Néanmoins, le site sondé par échantillonneur passif situé à proximité immédiate de la sortie Nord du tunnel (5 mètres) atteint  $2.8 \mu\text{g.m}^{-3}$ . Parmi les 35 sites sondés de la zone d'étude, **il est le seul à ne pas respecter l'objectif de qualité.**

### Autres COV

Les mesures par canister ont permis de mesurer 41 autres COV sur le site du laboratoire mobile Fourvière nord. Les niveaux ne présentent rien d'atypique, excepté une hausse légère de n-pentane (polluant non réglementé) pendant la campagne estivale.

La moyenne du 1,3-Butadiène est de  $0.13 \mu\text{g.m}^{-3}$  et respecte donc également l'objectif de qualité du Royaume-Uni fixée à  $2.25 \mu\text{g.m}^{-3}$  en moyenne annuelle.

Pour le tétrachloroéthylène, le 1,2-dichloroéthane et le toluène, les niveaux sont nettement inférieurs aux valeurs préconisées par l'OMS.

En ce qui concerne le formaldéhyde, il n'existe aucune réglementation en air extérieur. La concentration moyenne mesurée à proximité du tunnel  $3.2 \mu\text{g.m}^{-3}$  respecte la valeur guide en **air intérieur** fixée à  $10 \mu\text{g.m}^{-3}$ .

### HAP

La concentration annuelle pour le benzo(a)pyrène sur le site de Fourvière Nord est de  $0.3 \text{ng.m}^{-3}$ . La valeur cible de 2012 fixée à  $1 \text{ng.m}^{-3}$  est donc respectée.

## 5. Etude détaillée de la pollution aux abords des entrées/sorties : Impact du tunnel

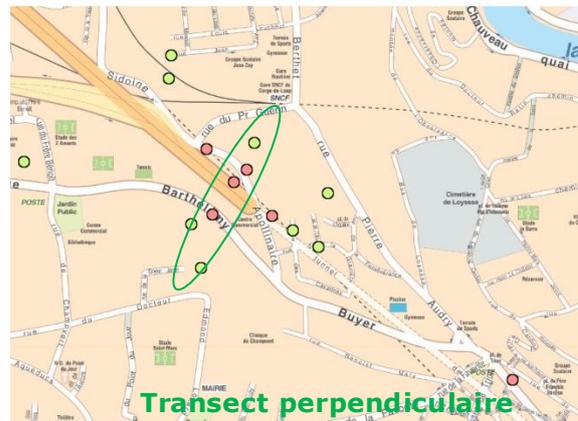
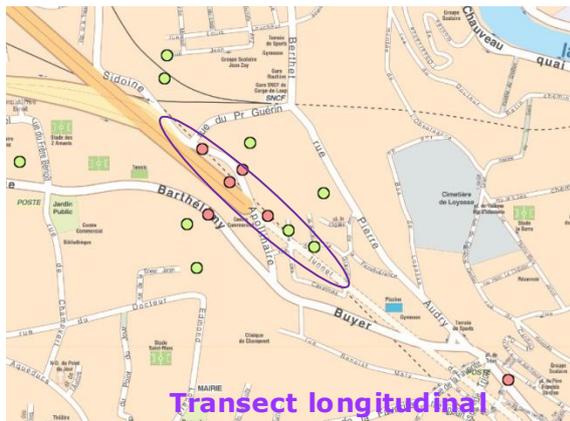
Le principal objectif de cette section est de quantifier l'impact du tunnel. Les mesures, étudiées plus précisément dans cette partie, ont permis de sonder les concentrations exactes en certains points judicieusement sélectionnés.

Ces mesures ont également servi à valider le modèle de dispersion SIRANE dans une version modifiée spécifiquement pour l'étude des tunnels lyonnais. Ce modèle permet de cartographier la pollution à l'échelle d'une ville avec une résolution de 10 mètres, et a fortiori d'évaluer l'impact du tunnel et d'identifier les zones sensibles, soumis à des dépassements de valeurs réglementaires.

### 1. Décroissance de la pollution au NO<sub>2</sub> en fonction de l'éloignement aux entrées/sorties du tunnel

#### 1. Etude de 2 transects au niveau de la sortie nord

Grace aux échantillonneurs passifs, la décroissance des concentrations du NO<sub>2</sub> aux abords de la sortie Nord du tunnel est étudiée suivant deux axes, appelés transects. Ces transects permettent d'estimer **selon un axe prédéfini** la décroissance théorique des concentrations en fonction de l'éloignement à une source de pollution.

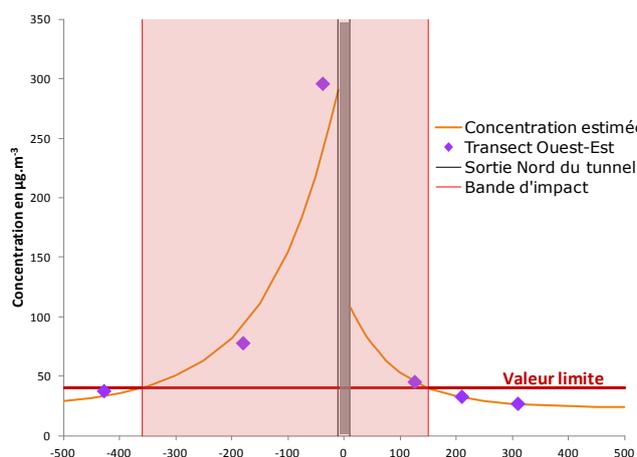


#### Transect longitudinal

Le transect longitudinal longe parallèlement l'A6 et met en évidence la hausse des concentrations à la sortie directe du tunnel.

La décroissance des concentrations, visible sur la figure suivante, est en effet, dissymétrique par rapport à la sortie. Sur la base des 6 mesures, il est estimé que la bande d'impact (zone sur laquelle la valeur limite n'est pas respectée) s'étend à environ 350 mètres du côté nord-ouest, elle s'étend jusqu'à 150 mètres du côté sud-est. La topographie du lieu (hausse d'altitude au dessus du tunnel) justifie également cette dissymétrie des concentrations. Les concentrations maximales relevées à la sortie du tunnel s'élève à plus de 295  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  en moyenne annuelle.

### Transect longitudinal



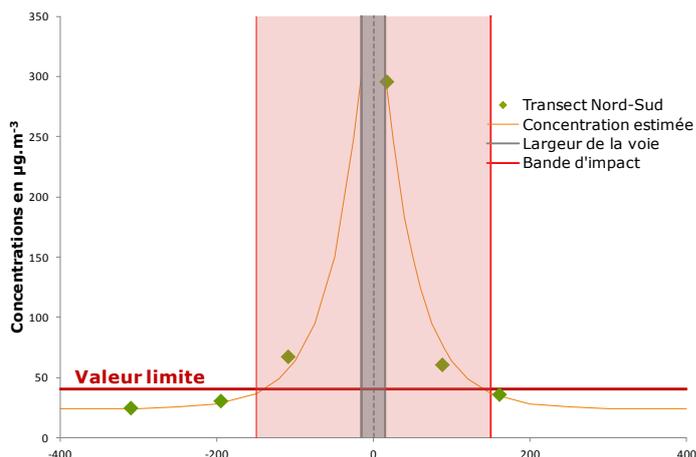
La bande d'impact correspond à la bande exposée à une concentration de  $\text{NO}_2$  supérieure à la valeur limite ( $40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )

### Transect perpendiculaire

Le transect perpendiculaire coupe l'A6 orthogonalement. Il est situé à une dizaine de mètres à l'ouest de la sortie du tunnel. Il permet d'étudier la décroissance du  $\text{NO}_2$  en fonction de l'éloignement à la voie.

La décroissance des concentrations est symétrique par rapport à la voie. La bande d'impact est d'environ de 150 mètres de part et d'autre de la voie.

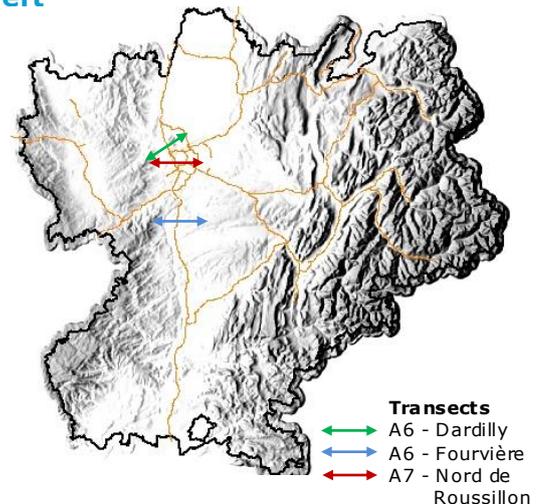
### Transect perpendiculaire



## 2. Comparaison à d'autres transects : Une bande d'impact au niveau du tunnel plus importante qu'en milieu ouvert

Des transects perpendiculaires à l'axe A6/A7, exploités dans le cadre de précédentes études, peuvent servir de comparaison aux résultats obtenus en sortie de tunnel. Un premier transect a été mis en place sur l'A7 dans le nord de Roussillon (TMJA<sup>1</sup> : 69 000 véh./jour), un second sur l'A6 au niveau de Dardilly (TMJA : 87 000 véh./jour). Dans les 2 cas, il s'agit de transects sur des zones complètement ouvertes (pas de tunnel) et moins urbanisées.

Sur Dardilly, la bande d'impact s'étale d'environ 80 mètres à l'ouest de l'axe et de 25 mètres à l'est. Sur le site du Nord Roussillon, la bande d'impact s'étale de 80 mètres environ de part et d'autre de la voie.



La bande d'impact est donc largement plus importante au niveau de la sortie du tunnel de Fourvière (TMJA : 101 500 véh./jour) qu'en milieu complètement ouvert non urbanisé : **la surface impactée est quasiment doublée de chaque côté de la voie.**

## 2. Une estimation de la pollution en tout point du Grand Lyon : SIRANE V2

Les transects permettent d'étudier la décroissance selon un axe prédéfini. Dans un second temps, la modélisation permet d'appréhender les phénomènes de variation surfacique propres à la sortie du tunnel et d'estimer précisément les concentrations en tous points.

La modélisation SIRANE développée par l'École Centrale de Lyon permet de cartographier la pollution du dioxyde d'azote et des poussières en suspension. Sous sa forme opérationnel, SIRANE permet de calculer heure par heure la répartition de la concentration des polluants au sein des rues en tenant compte de la typologie des voies (rue canyon ou rue ouverte), et des échanges entre les carrefours et au dessus des toits.

La version V2 de cette modélisation SIRANE (développée entre 2009 et 2011) prend en compte un domaine plus grand que la version V1, et en particulier la zone du tunnel du Fourvière. Elle permet ainsi d'étudier la répartition de la pollution, et de déterminer précisément quelles sont les zones ne respectant pas la valeur guide réglementaire.

Le modèle présente l'avantage de pouvoir estimer la répartition des polluants sur une surface entière et pas seulement selon un axe précis comme pour les transects.

## 3. Résultats de la modélisation pour le NO<sub>2</sub>

### 1. Cartographique du NO<sub>2</sub> modélisée par SIRANE V2 et comparaison aux échantillonneurs passifs

Note : la modélisation concerne l'année 2008 (année de validation de la modélisation SIRANE V2) alors que les mesures ont été faites en 2010.

<sup>1</sup> TMJA : Trafic moyen journalier annuel, s'exprime en nombre de véhicules par jour.

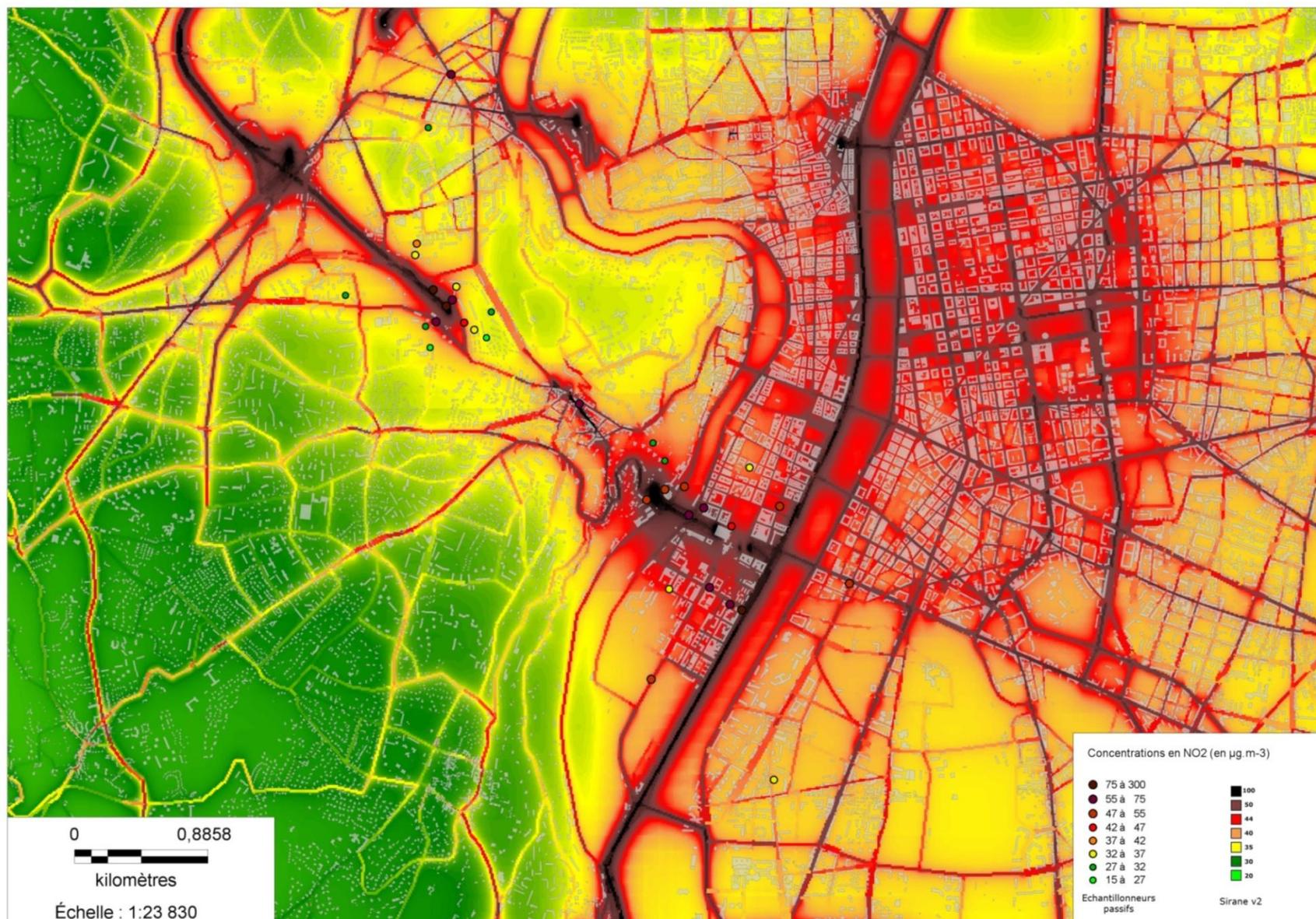
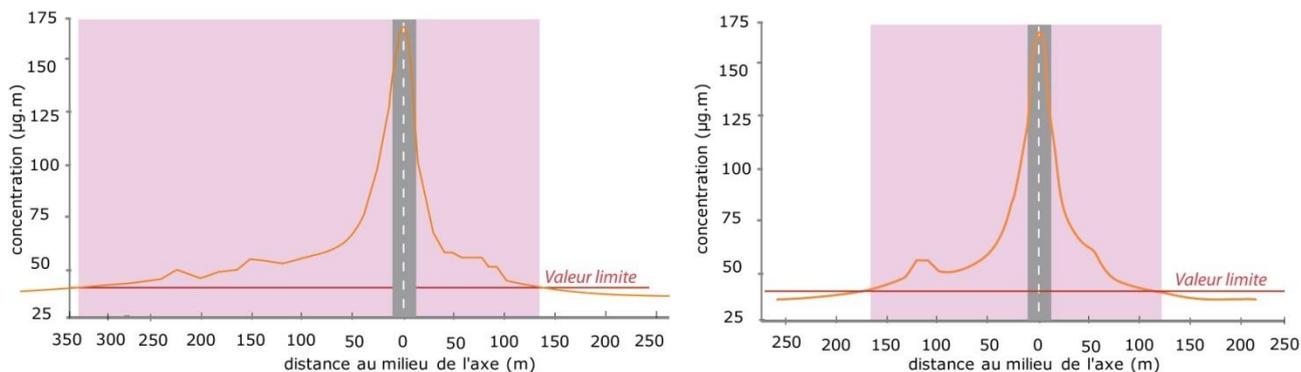


Figure 10 : Carte de modélisation du NO<sub>2</sub> pour l'année 2008 (SIRANE V2). Comparaison aux mesures par échantillonneurs passifs 2010

## 2. Validation du modèle par les transects pour le NO<sub>2</sub>

La décroissance des concentrations suivant les mêmes transects que précédemment a été étudiée à partir des concentrations issues du modèle SIRANE. La comparaison entre les 2 estimations permet de valider le modèle et d'apporter une précision quant aux variations très locales (qui sont difficilement visibles par les mesures ponctuelles).

Les graphes ci-dessous représentent les concentrations issues du modèle SIRANE suivant les 2 axes étudiés précédemment.



**Figure 11 : Concentrations de NO<sub>2</sub> estimées par le modèle SIRANE V2 en fonction de l'éloignement par rapport à la sortie Nord du tunnel.** A Gauche : transect longitudinal. A droite : transect perpendiculaire. La bande d'impact (en rose) correspond à la bande exposée à une concentration de NO<sub>2</sub> supérieure à la valeur limite (40 µg.m<sup>-3</sup>).

Les profils de décroissance du modèle sont comparables avec les mesures. Le profil selon l'axe longitudinal est bien dissymétrique avec une décroissance plus rapide sur la partie couverte du tunnel. Le profil selon l'axe perpendiculaire est bien symétrique.

	Distance max d'impact coté Est	Distance max d'impact coté Ouest	Concentration max	Distance max d'impact coté Sud	Distance max d'impact coté Nord	Concentration max
<b>Mesures</b>	150 m	350 m	300 µg.m <sup>-3</sup>	150 m	150 m	300 µg.m <sup>-3</sup>
<b>SIRANE</b>	140 m	340 m	175 µg.m <sup>-3</sup>	160 m	120 m	175 µg.m <sup>-3</sup>

**Figure 12 : Différence de la bande d'impact entre les mesures et la modélisation SIRANE V2**

Les bandes d'impact calculées avec SIRANE sont également comparables aux mesures. Au maximum, une différence de 30 mètres est notable entre les 2 estimations. En revanche, la modélisation SIRANE sous-estime les concentrations maximales mesurées à la sortie directe du tunnel (175 µg.m<sup>-3</sup> estimée contre 300 µg.m<sup>-3</sup> mesuré en sortie de tunnel).

Hormis cette divergence très localisée, la modélisation peut donc permettre d'établir une estimation valable des zones du territoire dépassant la valeur limite annuelle en NO<sub>2</sub>.

## 3. Zones supérieures à la valeur limite du NO<sub>2</sub>

**L'étendue du dépassement réglementaire est plus important à la sortie Sud qu'à la sortie Nord.** Au niveau de la sortie Nord, et transversalement à l'axe de circulation, la valeur limite est dépassée sur environ 300 mètres (bande d'impact de 150m environ de part et d'autre de l'axe, cf. flèches vertes sur la figure suivante). Au niveau de la sortie Sud, la valeur limite est dépassée sur environ 1100 mètres transversalement à la sortie du tunnel : la bande d'impact est d'environ 550 mètres de part et d'autre de la sortie du

tunnel. Pour ce deuxième cas, l'impact du tunnel se confond avec l'influence résidentielle et trafic du centre ville. En effet, la proximité de la gare de Perrache, d'un important nœud routier et l'environnement très urbanisé de la zone favorisent la hausse des concentrations, l'homogénéisation de la pollution et l'étendue de la zone impactée. Au nord, les concentrations en sortie de tunnel décroissent beaucoup plus rapidement et la zone dépassant la valeur limite est, a fortiori, moins étendue.

**Les axes urbains sont également soumis à des dépassements de la valeur limite.**

Les zones situées le long des axes régulièrement fréquentés (tels que la rue de Trion, la rue du commandant Charcot, le chemin des Choulans ou la rue Pierre Audry) présentent des concentrations supérieures à  $40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  avec une bande d'impact variable en fonction de type de la voie (rue canyon ou ouverte) et de sa fréquentation (trafic moyen journalier annuel).

**La quasi-totalité de la presqu'île présente des concentrations annuelles homogènes et supérieures à la valeur limite annuelle.** Les concentrations modélisées sont principalement comprises entre  $40$  et  $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Certains secteurs présentent des concentrations supérieures à  $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  et peuvent être qualifiés de zones sensibles. Il s'agit principalement des quais très fréquentés (quai du Docteur Gailleton, quai Jean Moulin, quai Tilsit et Quai Fulchiron) et de la gare de Perrache.

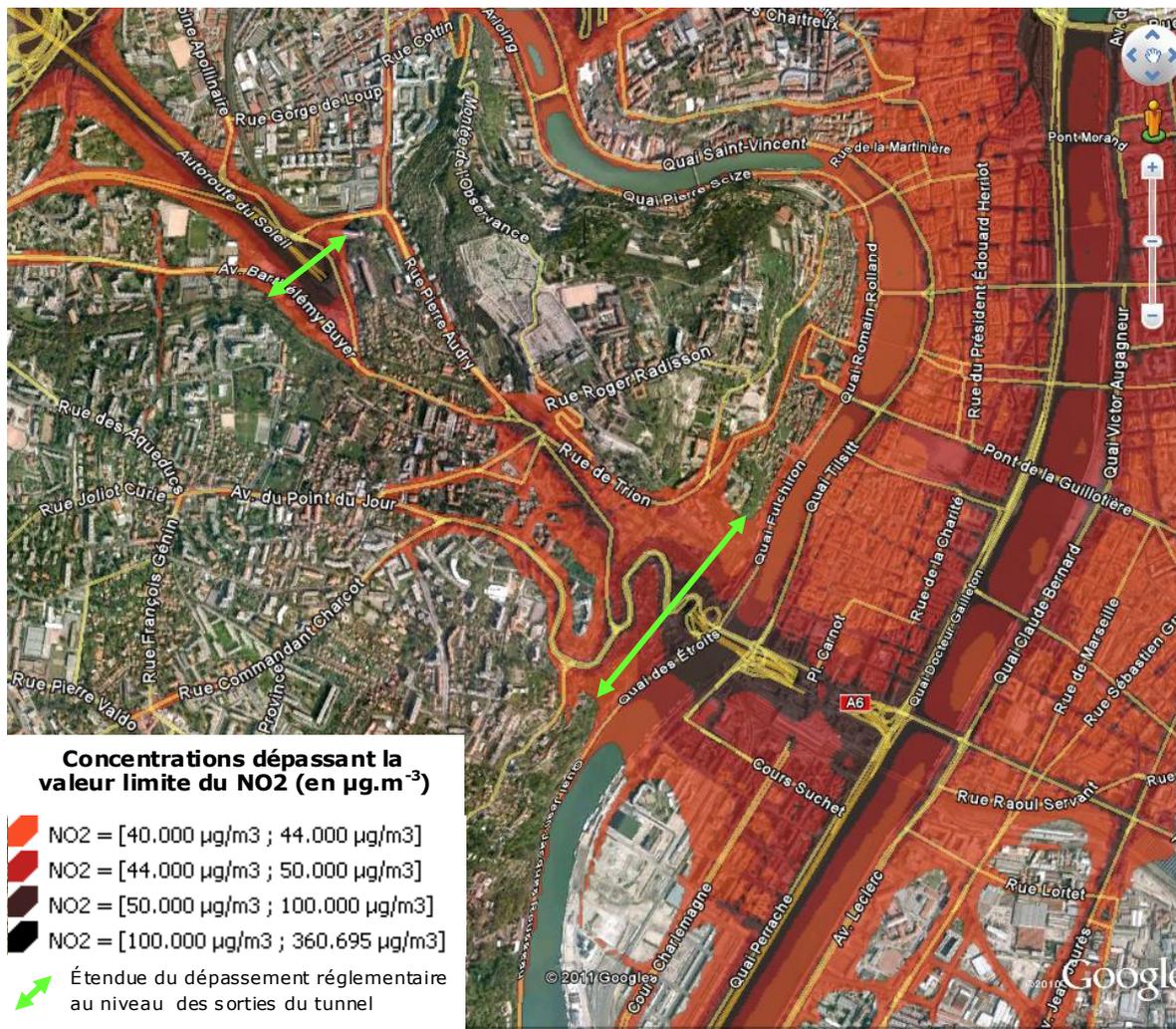


Figure 13 : Zone soumise à des dépassements de la valeur limite ( $40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ) du NO<sub>2</sub>.

Source : modélisation SIRANE V2

#### 4. Densité de population des zones dépassant la valeur limite du NO<sub>2</sub>



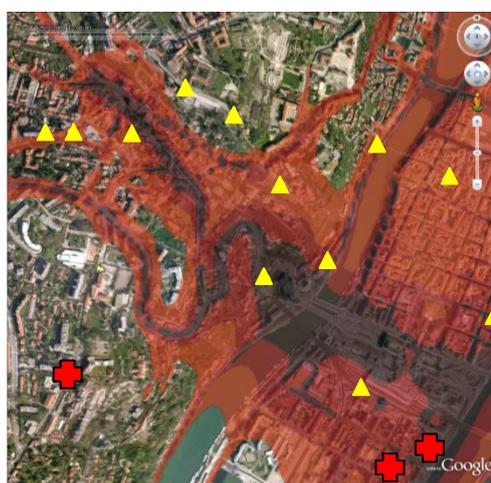
Figure 14 : Cartographie de la densité de population sur les zones soumises à des dépassements de la valeur limite annuelle du NO<sub>2</sub>

La valeur limite annuelle ( $40\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ) est dépassée sur une large zone du territoire, et particulièrement sur les zones les plus densément peuplées : principalement sur la presqu'île et à l'est de Lyon. A proximité de la sortie Sud du tunnel, la densité de population soumise à un dépassement de valeur limite atteint 40 000 habitants au km<sup>2</sup>. Au niveau de la sortie Nord, la densité de population est plus faible (maximum de 13 000 habitants au km<sup>2</sup>).

#### 5. Établissements sensibles et évaluation des populations impactées

Certains établissements sont définis comme sensibles. Il s'agit principalement des écoles et des hôpitaux dont les occupants sont particulièrement sensibles à la pollution.

Aucun hôpital situé dans un périmètre de 500 mètres autour des entrées/sorties du tunnel n'est soumis à un dépassement de la valeur limite du dioxyde d'azote. En revanche, 6 établissements scolaires dont 2 à proximité immédiate de la sortie du tunnel se situent dans la zone de dépassement du seuil réglementaire du NO<sub>2</sub>.



- ▲ Écoles
- ✝ Centres hospitaliers

## Modélisation des particules fines PM<sub>10</sub> pour l'année 2008

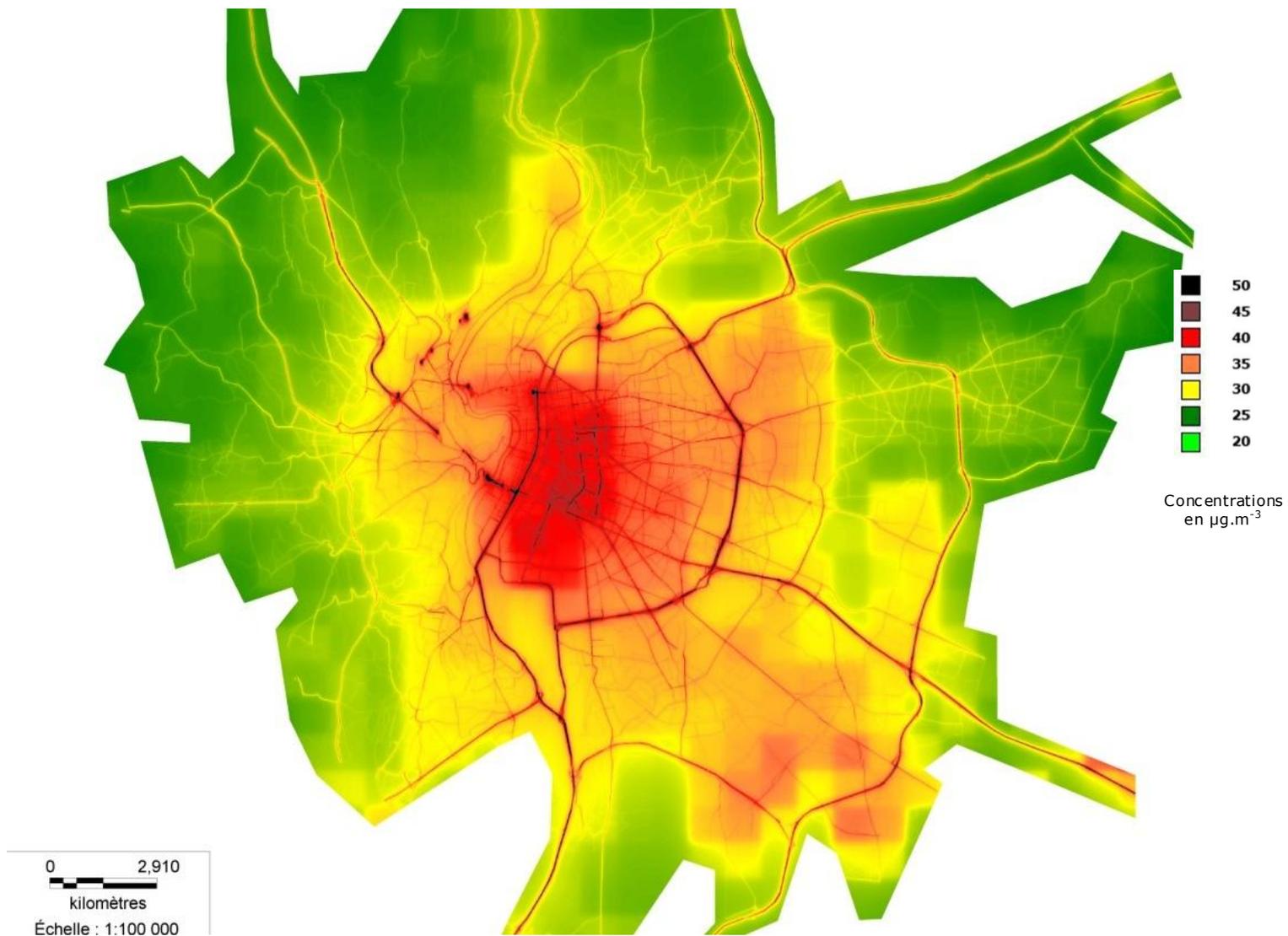


Figure 15 : Modélisation des particules fines pour l'année 2008 - Source SIRANE V2

## 4. Résultats de la modélisation pour les PM<sub>10</sub>

### 1. Modélisation des particules fines PM<sub>10</sub> pour l'année 2008

Voir carte page précédente.

Les émissions de PM<sub>10</sub> émises par les axes routiers s'ajoutent aux émissions urbaines pour créer un niveau de fond relativement élevé et homogène. La répartition des PM<sub>10</sub> est de ce fait beaucoup plus homogène que celle du NO<sub>2</sub>.

### 2. Zone supérieure à la valeur limite

Deux valeurs limites réglementent les poussières PM<sub>10</sub> :

- Valeur limite en moyenne annuelle :  $40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$
- Valeur limite en moyenne journalière :  $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  à ne pas dépasser plus de 35 jours par an

La valeur limite la plus critique des deux est celle qui concerne les 35 jours de dépassement (valeur limite journalière). La carte suivante met en avant les zones ne respectant pas cette valeur limite. Elles sont représentées en rouge (entre 35 et 45 dépassements sur l'année) et en noir (plus de 45 dépassements par an).

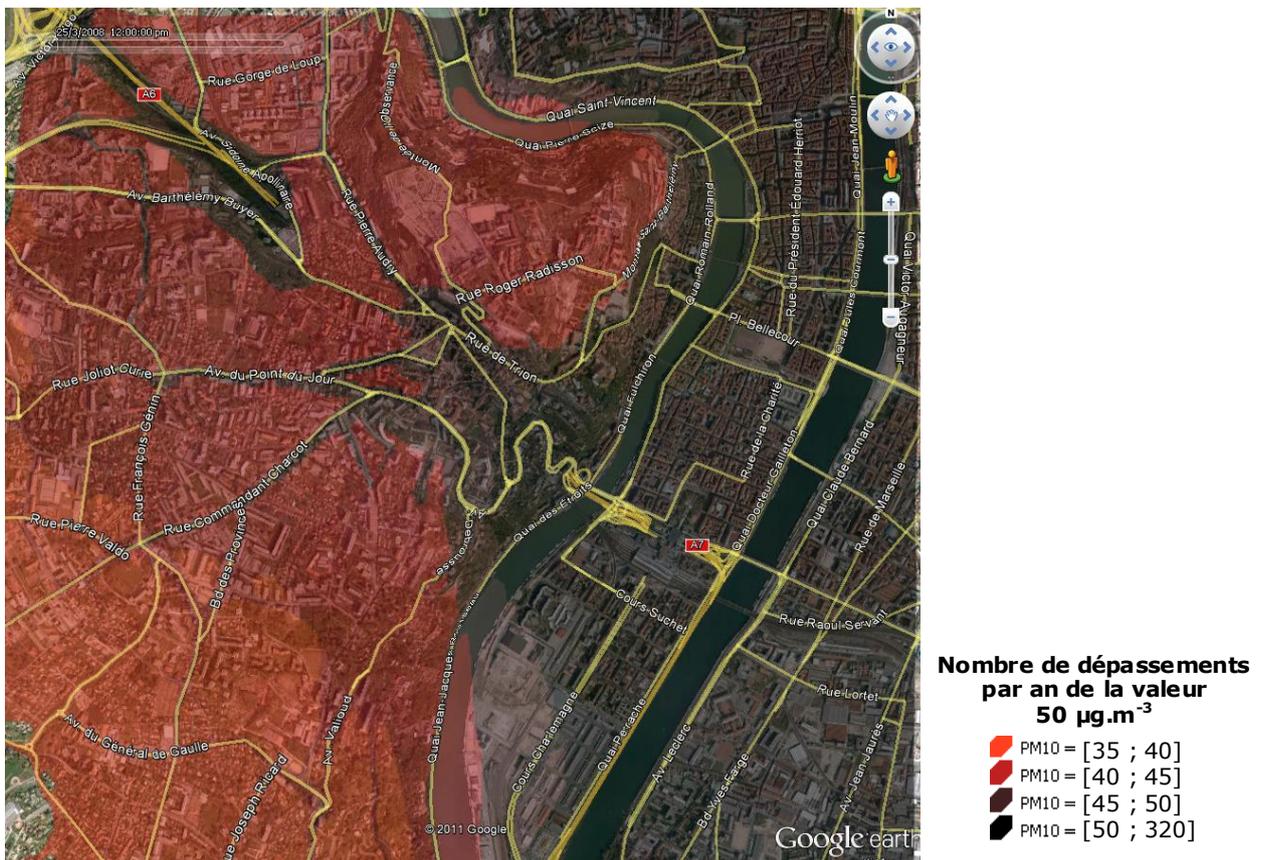
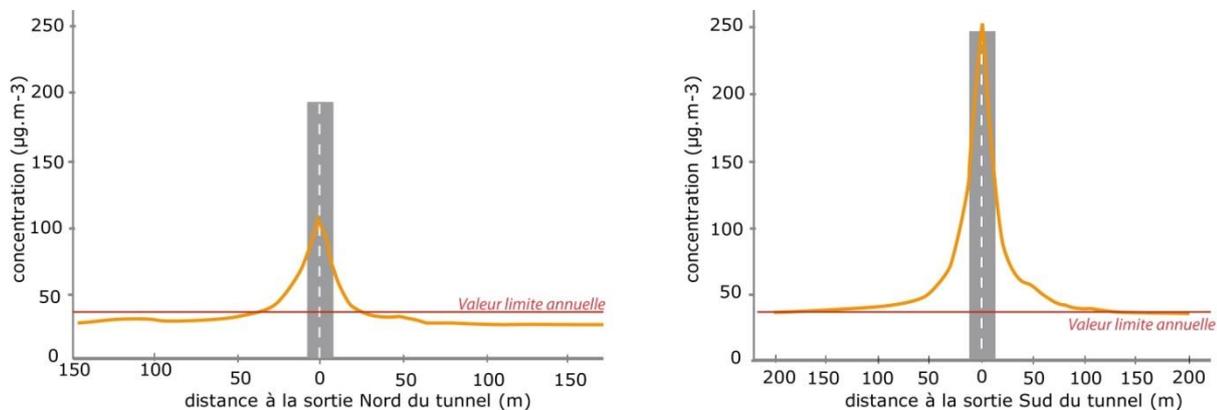


Figure 16 : Cartographie du nombre annuel de dépassements de la valeur seuil  $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  en moyenne journalière pour les PM<sub>10</sub>. Source SIRANE V2. Une cartographie des concentrations moyenne de PM<sub>10</sub> sur l'année 2008 est disponible en [annexe 12](#).

La valeur limite journalière est dépassée sur une zone très étendue de l'agglomération. Sur la plupart de la presqu'île et aux abords direct du tunnel, un minimum de 35 jours de dépassements de la valeur  $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  est estimé pour l'année 2008. Les sources

d'émissions urbaines, et plus particulièrement le chauffage en hiver, favorisent la hausse des concentrations en tout point du territoire. Le tunnel n'en reste pas moins une source importante d'émission de  $PM_{10}$  comme le montre le profil de décroissance annuel au niveau des sorties du tunnel.



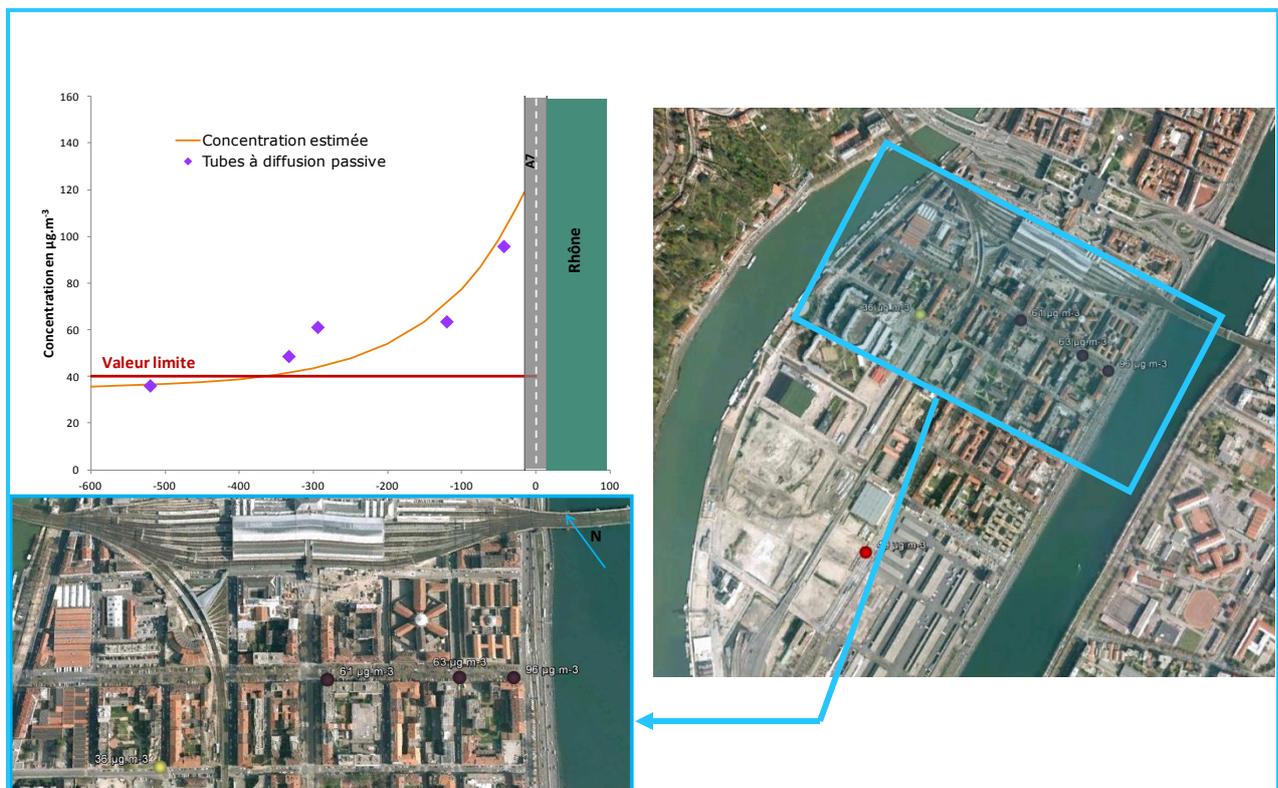
**Figure 17 : Concentrations de  $PM_{10}$  estimées par le modèle SIRANE V2 en fonction de l'éloignement par rapport aux sorties du tunnel.** A Gauche : transect perpendiculaire à la sortie Nord du tunnel. A droite : transect perpendiculaire à la sortie Sud du tunnel.

## 6. Zoom sur la nouvelle zone de Confluence

Ce territoire situé au Sud de la presqu'île, a longtemps été consacré à l'industrie et aux transports. Aujourd'hui, il fait partie d'un important projet de réaménagement urbain dont l'objectif est de doubler la superficie de l'hypercentre de l'agglomération.

### Influence de l'autoroute A7 sur la zone de confluence

Au niveau de la Confluence, la rive est de la presqu'île (côté Rhône) est bordée par l'autoroute A7. En parallèle des mesures faites aux abords du tunnel en 2010, un transect de mesures de NO<sub>2</sub> a été mis en place au nord de ce territoire, sur une des zones actuellement le plus densément peuplée (le long du cours Suchet). Comme précédemment, ce transect de tubes à diffusion passive permet d'étudier la décroissance de la pollution en fonction de l'éloignement à l'A7.



Au bord de l'A7, la concentration mesurée atteint quasiment  $100 \mu\text{g.m}^{-3}$  en moyenne annuelle. Étant donné que le transect suit le cours Suchet : ces niveaux mesurés sont représentatifs des niveaux maximum (influence trafic du cours Suchet). Les niveaux de fond sur toute la zone de Confluence ( $35 \mu\text{g.m}^{-3}$ ) restent malgré tout relativement élevés.

### Modélisation sur 2008, une cartographie en pleine évolution

En 2008, une grande partie de la zone de Confluence était soumise à un dépassement de la valeur limite annuelle du NO<sub>2</sub> de  $40 \mu\text{g.m}^{-3}$  (en rouge sur la carte suivante) : principalement les zones urbanisées (partie nord de confluence) et le long des axes fréquentés (cours Charlemagne, Quai Rambaud, et A7). Le long de l'axe A7 et la zone de Perrache avec l'important nœud autoroutier restent les zones les plus sensibles de part l'importance du trafic.

Seule la zone sud, entre les quais de Saône et le cours Charlemagne (maintenant nouvelle place aquatique et Sucrière) ainsi que le marché-gare, très peu urbanisés présentaient en 2008 des concentrations inférieures à la valeur limite. En 2008, 96 % des personnes habitant dans la zone Confluence étaient exposées à des concentrations de NO<sub>2</sub> supérieures à la valeur limite.

Rappelons que la modélisation concerne l'année 2008. Depuis, d'importants travaux ont eu lieu et la zone de Confluence est encore en cours de transformation. Avec le réaménagement en cours et l'urbanisation grandissante de cette zone, la répartition spatiale du NO<sub>2</sub> est amenée à évoluer dans les prochaines années.

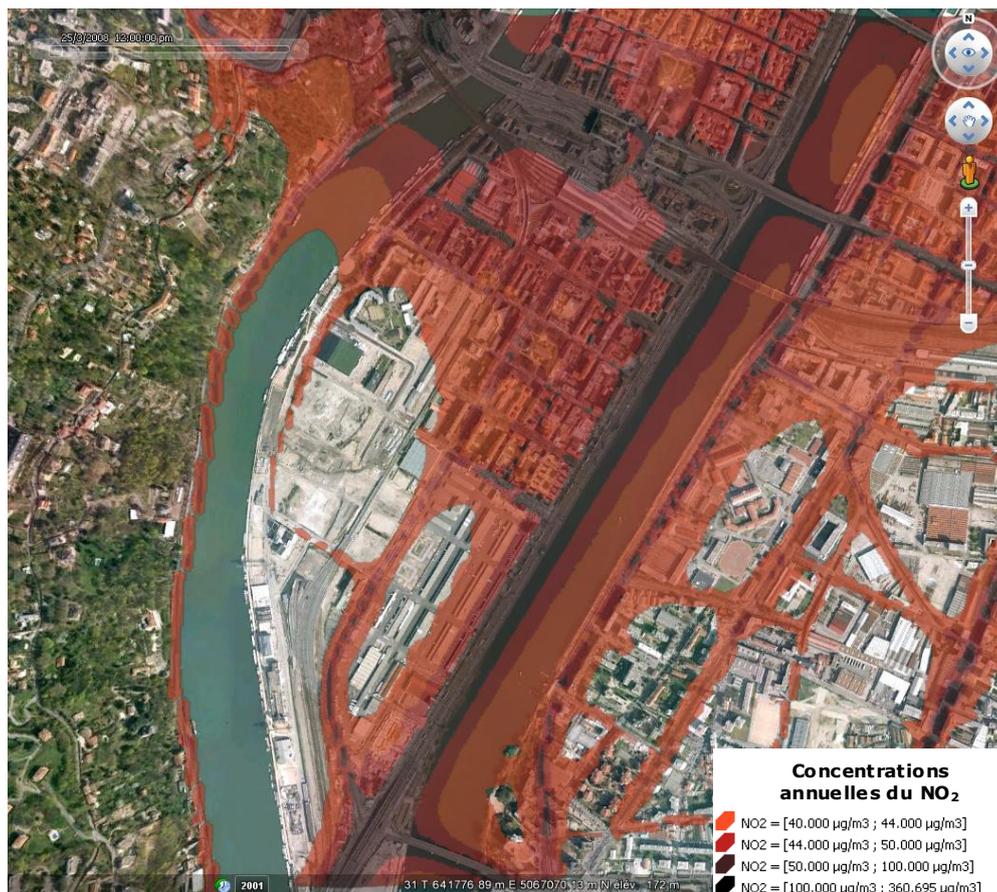


Figure 18 : Zones de dépassements de la valeur limite annuelle du NO<sub>2</sub> sur la zone de Confluence. Source : SIRANE V2

## Conclusions et Perspectives

A proximité du tunnel, la qualité de l'air est typique d'un environnement influencé par le trafic. Sur l'ensemble des polluants mesurés, ce sont principalement les particules fines (PM) et le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) qui présentent des dépassements de valeurs réglementaires.

Les concentrations moyennes annuelles, mesurées à l'aide de remorques laboratoire, sont de 58 µg.m<sup>-3</sup> au niveau de l'entrée nord et de 60 µg.m<sup>-3</sup> à proximité de l'entrée sud. La valeur limite (fixée à 40 µg.m<sup>-3</sup>) est donc dépassée.

Pour les PM<sub>10</sub>, le seuil d'information et de recommandations en vigueur en 2010 (80 µg.m<sup>-3</sup> en moyenne 24h) a été dépassé sur les 2 sites étudiés. De plus, il existe un risque fort de dépasser la valeur limite qui autorise dans l'année 35 dépassements de valeur journalière 50 µg.m<sup>-3</sup>.

Les mesures complémentaires du NO<sub>2</sub> et benzène par échantillonneurs passifs ont permis de sonder 35 sites et d'appréhender la répartition spatiale de ces polluants. Ils révèlent un dépassement de l'objectif de qualité (2 µg.m<sup>-3</sup>) pour le benzène en sortie directe du tunnel (2.8 µg.m<sup>-3</sup>).

La modélisation SIRANE développée par l'École Centrale de Lyon permet de cartographier la pollution du dioxyde d'azote et des poussières en suspension.

La nouvelle version, spécialement modifiée pour l'étude des tunnels lyonnais a été développée afin de déterminer précisément quelles sont les zones ne respectant pas la valeur guide réglementaire pour ces 2 polluants et d'acquérir une meilleure connaissance des zones jouxtant les entrées/sorties du tunnel :

- La bande d'impact pour le NO<sub>2</sub> (zone au niveau des entrées/sorties qui ne respectent pas la valeur limite) s'étend d'environ 150 mètres de chaque côté de la voie perpendiculairement à la sortie Nord du tunnel.

- Suivant l'axe A6, la bande d'impact du NO<sub>2</sub> est 2 fois plus longue en sortie du tunnel qu'au dessus de la partie couverte du tunnel

- La modélisation SIRANE sous estime les valeurs maximales en sortie de tunnel. En sortie directe du tunnel, les estimations par SIRANE sont environs 2 fois plus faibles que les mesures. Hormis cette différence très localisée, la modélisation est cohérente avec l'ensemble des mesures (en particulier la largeur de la bande d'impact du tunnel).

- L'étendue du dépassement réglementaire est plus importante à la sortie Sud qu'à la sortie Nord. Pour la sortie Sud, l'impact du tunnel se confond avec l'influence résidentiel et trafic très marquée du centre ville.

- L'ensemble de la presqu'île est soumis à des dépassements de la valeur limite réglementaire aussi bien pour le NO<sub>2</sub> que pour les PM<sub>10</sub>.

La modélisation SIRANE V2 a également permis de calculer le taux d'exposition<sup>2</sup> au NO<sub>2</sub> de la population aux deux entrées/sorties du tunnel de Fourvière :

- **24.3 %** des personnes habitant dans un rayon de 500m autour de la sortie **Nord** du tunnel étaient exposées en 2008 à des concentrations de NO<sub>2</sub> supérieures à la valeur limite

- **97.2%** des personnes habitant dans un rayon de 500m autour de la sortie **Sud** du tunnel étaient exposées en 2008 à des concentrations de NO<sub>2</sub> supérieures à la valeur limite

---

<sup>2</sup> Taux d'exposition calculé à partir de la modélisation SIRANE V2 2008 (concentrations NO<sub>2</sub>) et des données INSEE 2007 (population)

La nouvelle zone de Confluence a également bénéficiée d'une étude approfondie. Ce territoire longtemps été consacré à l'industrie et aux transports fait aujourd'hui partie d'un important projet de réaménagement urbain dont l'objectif est de doubler la superficie de l'hypercentre de l'agglomération. Tout comme le nord de la presqu'île, en 2008, une grande partie de la zone de Confluence était soumise à un dépassement de la valeur limite annuelle du NO<sub>2</sub> de 40 µg.m<sup>-3</sup>. Avec le réaménagement en cours et l'urbanisation grandissante de cette zone, la répartition spatiale des polluants est amenée à évoluer dans les prochaines années.

# Annexe 1 : Description technique des moyens de mesures

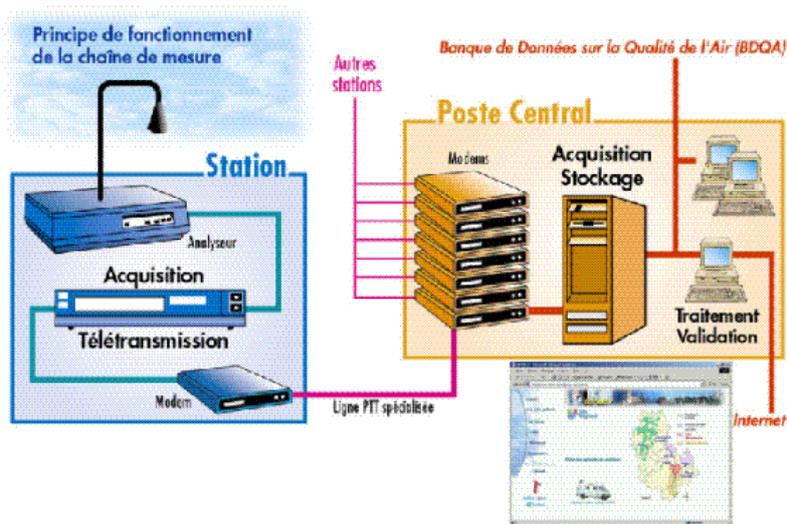
## Analyseurs

Afin d'estimer l'importance des dépassements de valeurs réglementaires, il est indispensable de disposer de données précises, déclinées dans la mesure du possible sur un pas de temps horaire, comme les mesures réalisées en continu par les analyseurs dans les stations fixes de surveillance de la qualité de l'air.

Pour effectuer des contrôles ponctuels de la qualité de l'air dans le cadre d'une étude, les associations agréées de surveillance de qualité de l'air de la région Rhône-Alpes disposent de **laboratoires mobiles** (remorques ou camions), équipés du même type d'analyseurs que ceux utilisés dans les stations fixes et gérés de la même façon (étalonnage, contrôles qualité, transmission et validation quotidienne des données).

Ces analyseurs permettent de suivre l'évolution des 4 **principaux polluants réglementés** : les oxydes d'azote, le dioxyde de soufre, les particules (PM<sub>10</sub>) et l'ozone.

Les résultats sont transmis quotidiennement au poste central informatique via liaison téléphonique et enregistrés dans la banque de données de qualité de l'air.



## Prélèvements

Les laboratoires mobiles permettent également d'accueillir le matériel nécessaire pour réaliser des prélèvements ponctuels de Métaux Lourds, HAP, COV et Aldéhydes.

Au total, **81 composés** ont été ciblés dans le cadre de cette étude :

- 14 Métaux Lourds, dont 4 composés possédant des valeurs réglementaires (Arsenic, Cadmium, Nickel et Plomb).
- 19 HAP, dont le Benzo(a)pyrène.
- 41 COV : 32 composés précurseurs de l'ozone (dont le Benzène, le Toluène, le 1,3-Butadiène) et 9 composés chlorés.
- 8 Aldéhydes, dont le Formaldéhyde et l'Acroléine.

Polluants mesurés	Durée du prélèvement	Type de prélèvement	Nombre de prélèvements
<b>14 Métaux Lourds (ML)</b>	7 jours	Filtres (Préleveur bas débit)	2 par campagne (Total : 8)
<b>19 Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)</b>	24h	Filtres + Mousses (Préleveur haut débit)	6 par campagne (Total : 24)
<b>40 Composés Organiques Volatils (COV)</b>	24h	Prélèvement actif par canister	6 par campagne (Total : 24)
<b>8 Aldéhydes (ALD)</b>	8h (10h-18h heure locale)	Prélèvement actif sur cartouches (DNPH)	6 par campagne (Total : 24)

Après prélèvement, les analyses sont sous-traitées à des laboratoires agréés. Ce type de prélèvements présente l'avantage de pouvoir analyser un grand nombre de polluants simultanément sur une journée de 24h ou bien sur quelques heures, ce qui peut permettre de caractériser des fortes concentrations (périodes de pointe, jours de semaine sensibles,...).



*Prélèvement de COV par Canister*



*Prélèvement d'aldéhydes par cartouches DNPH*



*Préleveur de HAP*



*Préleveur de métaux lourds*

## Tubes passifs

Si les laboratoires mobiles permettent d'étudier précisément les variations temporelles horaires en **un site représentatif donné**, les mesures par tubes passifs sont plus faciles à mettre en œuvre (puisque sans raccordement électrique) et permettent d'étudier la **répartition spatiale de la pollution moyenne** sur la totalité de la zone d'étude.

Cette méthode, par rapport aux analyseurs, donne des 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 afin d'obtenir une vision spatiale (cartographie).

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.



**Matériel utilisé pour les Tubes BTX ou Aldéhydes**



**Matériel utilisé pour les Tubes NO<sub>2</sub>**

Ces mesures donnent une valeur moyenne sur une semaine. **Quatre campagnes de mesure de 2 fois 2 semaines** ont été effectuées en parallèle des analyseurs. Elles permettent d'avoir une vision quantitative de certains polluants primaires (dioxyde d'azote, benzène, toluène).

## Annexe 2 : Liste des polluants mesurés et valeurs réglementaires

### Liste des polluants mesurés

En jaune : les polluants faisant l'objet de valeurs réglementaires à respecter.

En violet : les polluants possédant des valeurs guides, mais non réglementées.

Polluants historiquement réglementés	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)	Aldéhydes (ALD)	Métaux Lourds (ML ou ETM)
Dioxyde soufre (SO <sub>2</sub> )	2-méthylfluoranthène	Formaldéhyde	Antimoine
Monoxyde d'azote (NO)	2-méthylnaphthalène	Acétaldéhyde	Arsenic
Dioxyde d'azote (NO <sub>2</sub> )	Acénaphthène	Propionaldéhyde	Baryum
Monoxyde de carbone (CO)	Anthracène	Butyraldéhyde	Cadmium
PM10	Benzo(a)anthracène	Benzaldéhyde	Chrome
PM2,5	Benzo(a)pyrène	Isovaléraldéhyde	Cobalt
	Benzo(b)fluoranthène	Valéraldéhyde	Cuivre
	Benzo(e)pyrène	Acroléine	Manganèse
	Benzo(g,h,i)pérylène		Mercure
	Benzo(j)fluoranthène		Nickel
	Benzo(k)fluoranthène		Plomb
	Chrysène		Thallium
	Dibenzo(a,h)anthracène		Vanadium
	Fluoranthène		Zinc
	Fluorène		
	Indéno(1,2,3-cd)pyrène		
	Naphthalène		
	Phénanthrène		
	Pyrène		

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

## Définition des valeurs réglementaires

Les niveaux mesurés sur les différents sites de cette étude sont comparés aux valeurs fixées par la réglementation française et européenne (voir document sur les polluants et la réglementation disponible sur le site Internet : <http://www.atmo-rhonealpes.org>). Les seuils fixés par ces textes réglementaires sont définis ci-dessous :

**Seuil d'information et de recommandations** : niveau de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine des groupes particulièrement sensibles, et à partir duquel des informations actualisées doivent être diffusées à la population.

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

**Valeur limite pour la protection de la santé** : niveau maximal de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère, fixé sur la base des connaissances scientifiques, dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs de ces substances pour la santé humaine ou pour l'environnement. En cas de dépassement, la réglementation prévoit la mise en place de plans d'actions (PDU<sup>3</sup>, PPA,...) afin d'essayer de réduire les émissions et de respecter ces valeurs, dans une période donnée.

**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. Il s'agit d'une valeur de confort (valeur guide ou valeur cible), ou d'un objectif de qualité de l'air à atteindre, si possible, dans une période donnée.

## Textes réglementaires

Le **décret n°2008-1152 du 7 novembre 2008** est la transcription en droit français des directives européennes **2002/3/CE du 12 février 2002** relative à l'ozone, **2004/107/CE du 15 décembre 2004** concernant l'arsenic, le cadmium, le mercure, le nickel et les hydrocarbures aromatiques polycycliques ainsi que **2008/50/CE du 21 mai 2008** concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe.

---

<sup>3</sup> PDU : Plan de Déplacements Urbains ; PPA : Plan de Protection de l'Atmosphère

## Valeurs réglementaires pour le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>)

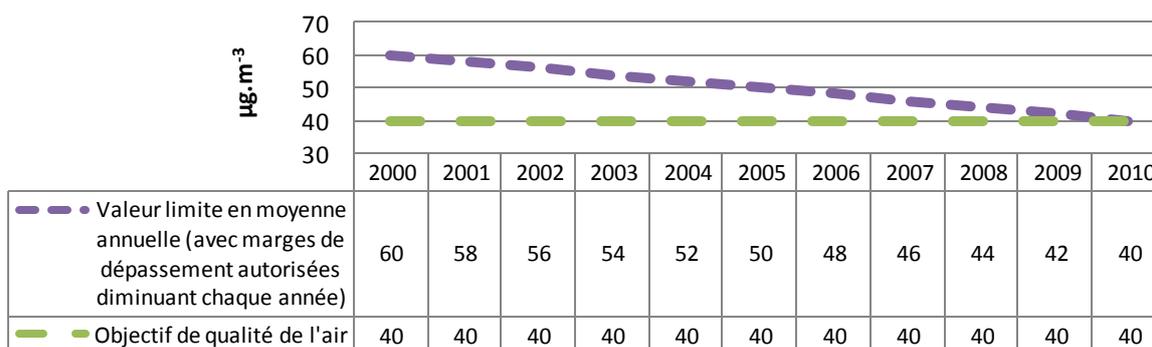
Seuils réglementaires	Valeur à respecter en µg .m <sup>-3</sup>	Période de calcul
Seuil d'information et de recommandations	300 (sur 1h)	Maximum horaire
Seuil d'alerte	500 (sur 3h)	Maximum horaire (sur 3h consécutives)
Valeurs limites pour la protection de la santé humaine	350	Maximum horaire
	125	Maximum journalier
Objectif de qualité	50	Moyenne annuelle
Valeur limite pour la protection de la végétation	20	Moyenne annuelle

## Valeurs réglementaires concernant le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>)

La réglementation définit pour le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) plusieurs valeurs à respecter :

- un **objectif de qualité** à 40 µg.m<sup>-3</sup> en moyenne annuelle
- une **valeur limite pour la protection de la santé** qui devra correspondre au seuil de 40 µg.m<sup>-3</sup> défini pour l'objectif de qualité en 2010. (avant cette date des marges de dépassement de la valeur limite sont autorisées).

	Valeur à respecter en µg .m <sup>-3</sup>	Période de calcul
Seuil d'information et de recommandations	200 (sur 1h)	Maximum horaire
Seuil d'alerte	400 (sur 1h)	Maximum horaire
Valeurs limites pour la protection de la santé humaine en moyennes horaires	200 (en 2010)	Centile 98 des moy. horaires (< 18 heures/an)
	220 (en 2008)	
Valeurs limites pour la protection de la santé humaine en moyenne annuelle	44 (en 2008)	Moyenne annuelle
	40 (en 2010)	
Objectif de qualité	40	Moyenne annuelle
Valeurs limites pour la protection de la végétation	30	Moyenne annuelle en oxydes d'azote (NO <sub>2</sub> + NO en équiv. NO <sub>2</sub> )



### Évolution des valeurs réglementaires concernant le dioxyde d'azote entre 2000 et 2010

**NB 1:** Pour le monoxyde d'azote (NO), il n'existe pas de valeurs réglementaires. Concernant ce polluant, il n'y a qu'une valeur limite en moyenne annuelle pour les oxydes d'azote (NO<sub>2</sub> + NO en équivalent NO<sub>2</sub>).

**NB 2:** Les valeurs de tous les seuils réglementaires sont régulièrement réévaluées pour prendre en compte des résultats d'études médicales et/ou épidémiologiques.

## Valeurs réglementaires pour les particules fines (PM<sub>10</sub>)

Seuils réglementaires	Valeur à respecter en $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$	Période de calcul
Seuil d'information et de recommandations	50 (sur 24h)	Moyenne sur 24h
Seuil d'alerte	80 (sur 24h)	Moyenne sur 24h
Valeur limite pour la protection de la santé humaine	50	Moyenne journalière à ne pas dépasser plus de 35 jours par an
	(< 35 jours/an)	
	40	Moyenne annuelle
Objectif de qualité	30	Moyenne annuelle

Pour la **valeur limite pour la protection de la santé**, la moyenne journalière est calculée à partir des 24 mesures horaires de la journée.

Concernant les **seuils d'information et de recommandations** ainsi que le **seuil d'alerte**, la moyenne sur 24h est calculée chaque jour (J) à 16h, à partir des 24 mesures horaires entre (J-1) 17h et (J) 16h (règles de déclenchement fixées par arrêté préfectoral).

## Valeurs réglementaires pour les particules très fines (PM<sub>2,5</sub>)

La surveillance des particules PM<sub>2,5</sub> est soumise à des valeurs réglementaires depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2008.

Seuils réglementaires	Valeur à respecter en $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$	Période de calcul
Valeur limite pour la protection de la santé	30 (en 2008)	Moyenne annuelle
	29 (en 2009)	
	29 (en 2010)	
	28 (en 2011)	
	27 (en 2012)	
	26 (en 2013)	
	26 (en 2014)	
	25 (en 2015)	
Valeur cible	25	Moyenne annuelle

La valeur limite pour la protection de la santé à respecter en 2020 est fixée pour l'instant à  $20 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$  en moyenne annuelle. Cette valeur sera réexaminée par la Commission Européenne en 2013. Par ailleurs, la Loi Grenelle prévoit de fixer un objectif de qualité au niveau français, fixé à  $15 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$  en moyenne annuelle.

## Valeurs réglementaires pour l'ozone (O<sub>3</sub>)

Seuils réglementaires	Valeur à respecter en $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$	Période de calcul
Seuil d'information et de recommandations	180 (sur 1h)	Maximum horaire
Seuil d'alerte	240 (sur 3h)	Maximum horaire
	300 (sur 3h)	
	360 (sur 1h)	
Objectif de qualité (protection de la végétation)	200	Maximum horaire
Objectif de qualité (protection de la santé humaine)	120 (< 25 jours/an)	Maximum de la moyenne glissante sur 8h à ne pas dépasser plus de 25 jours par an
Valeur limite pour la protection de la végétation	65	Maximum journalier
Valeur limite pour la protection des matériaux	40	Moyenne annuelle
Valeur limite pour la protection des matériaux	<b>18 000 (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>).h</b> <b>6 000 (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>).h</b>	<b>AOT40<sup>4</sup> (valeur cible)</b> <b>AOT40 (Obj. de qualité)</b>

<sup>4</sup> AOT40 (exprimé en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  par heure) signifie le cumul de surcharge en ozone : somme des différences entre les concentrations horaires supérieures à  $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (= 40 ppb) et  $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$  durant une période donnée en utilisant uniquement les valeurs sur 1 heure mesurées quotidiennement entre 8 heures et 20 heures.

## Valeurs réglementaires concernant les COV

Seul le **benzène** possède des valeurs réglementaires :

- ✓ **Valeur limite** à  $5 \mu\text{g.m}^{-3}$  en moyenne annuelle
- ✓ **objectif de qualité** à  $2 \mu\text{g.m}^{-3}$  en moyenne annuelle

## Valeurs réglementaires concernant les HAP

Sur l'ensemble des 19 HAP mesurés, seul le **Benzo(a)pyrène** possède une valeur réglementaire :

- ✓ **valeur cible** fixée à  $1 \text{ ng.m}^{-3}$  en moyenne annuelle

## Autres valeurs de références pour les autres COV, aldéhydes et métaux lourds

Parmi ces nombreux polluants, seuls quelques composés possèdent des valeurs de références :

Sur l'ensemble des 41 COV mesurés, seul le **Benzène** est réglementé au niveau européen.

Pour 4 autres COV, il existe quelques valeurs de références dans d'autres pays ou des valeurs guides recommandées par l'OMS<sup>5</sup>, établies pour des expositions à plus ou moins long terme :

- ✓ **1,3 Butadiène** : **Objectif de qualité** au Royaume-Uni fixé à  $2,25 \mu\text{g.m}^{-3}$  en moyenne annuelle
- ✓ **Tétrachloroéthylène** : **Valeur guide** préconisée par l'OMS de  $250 \mu\text{g.m}^{-3}$  en moyenne annuelle
- ✓ **Toluène** : **Valeur guide** préconisée par l'OMS de  $260 \mu\text{g.m}^{-3}$  en moyenne sur 7 jours
- ✓ **1,2-Dichloroéthane** : **Valeur guide** préconisée par l'OMS de  $700 \mu\text{g.m}^{-3}$  en moyenne sur 24h

Pour les Aldéhydes, il n'existe aucune valeur réglementaire en air ambiant.

En revanche, pour le **Formaldéhyde**, il existe deux **valeurs guides en air intérieur** recommandées par l'AFSSET<sup>6</sup>, correspondant respectivement à des expositions à court et long termes :

- ✓  $50 \mu\text{g.m}^{-3}$  pour une exposition sur 2 heures
- ✓  $10 \mu\text{g.m}^{-3}$  pour une exposition en moyenne annuelle

Pour les Métaux Lourds (ou Éléments Traces Métalliques), il existe des valeurs réglementaires dans l'air ambiant pour certains d'entre eux :

- ✓ **Arsenic** : **valeur cible** fixée à  $6 \text{ ng.m}^{-3}$  en moyenne annuelle
- ✓ **Cadmium** : **valeur cible** fixée à  $5 \text{ ng.m}^{-3}$  en moyenne annuelle
- ✓ **Nickel** : **valeur cible** fixée à  $20 \text{ ng.m}^{-3}$  en moyenne annuelle
- ✓ **Plomb** : **valeur limite** de  $500 \text{ ng.m}^{-3}$  en moyenne annuelle

Pour les autres métaux lourds, en l'absence de seuils réglementaires, les valeurs prises pour référence sont les **valeurs guides** recommandées par l'OMS à plus ou moins long terme, pour quelques composés :

- ✓ **Manganèse** :  $150 \text{ ng.m}^{-3}$  en moyenne annuelle
- ✓ **Vanadium** :  $1000 \text{ ng.m}^{-3}$  sur 24h.

<sup>5</sup> OMS Organisation Mondiale de la Santé

<sup>6</sup> AFSSET : Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail

**Tableau résumé des valeurs réglementaires ou des valeurs guides<sup>7</sup> :**

Légende des valeurs de références		
Valeur limite		
Valeur cible		
Objectif de qualité de l'air		
Valeur guide (OMS)		
Valeur guide air intérieur (AFFSET)		

Unité	Famille	Polluant	Valeurs de références			
			Long terme	Moyen et court terme		
			1 an	7j	24h	2h
µg.m-3	COV	Benzène	5 - 2			
		1,3-Butadiène	2,25			
		1,2-Dichloroéthane			700	
		Tétrachloroéthylène	250			
		Toluène		260		
	Aldéhydes	Formaldéhyde	10			50
ng.m-3	Métaux Lourds	Arsenic	6			
		Cadmium	5			
		Nickel	20			
		Plomb	500			
		Manganèse	150			
	Vanadium			1000		
HAP	Benzo (a)pyrène	1				

**Tableau résumé des valeurs réglementaires existantes pour les COV, ALD, HAP, ML**

<sup>7</sup> Directives Européennes 1999/30/CE et 2008/50/CE (reprises en droit français par le décret n°2008-1152 du 7 novembre 2008) et 4<sup>ème</sup> Directive fille européenne 2004/107/CE (reprise en droit français par le Décret du 12 octobre 2007 n°2007-1479).

OMS : Organisation Mondiale de la Santé.

AFSSET : Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail.

**Indicateurs réglementaires retenus pour établir les tableaux de synthèse vis-à-vis de la réglementation :**

Valeurs réglementaires de référence	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	PM10	PM2,5	CO	Benzène
Unité	µg.m <sup>-3</sup>					
<b>Long terme (1 an)</b>	Moy (1 an)	Moy (1 an)	Moy (1 an)	Moy (1 an)	-	Moy (1 an)
seuil rouge	50	40	40	25	-	5
seuil orange	20	30	30	15	-	2
<b>Moyen terme (1 j)</b>	125J (<3 dép)	-	50J (<35 dép)	-	10000Max J8H	-
seuil J	125	-	50	-	10000	-
Nb dép rouge	3	-	35	-	2	-
Nb dép orange	1	-	17	-	1	-
<b>Court terme (1 h)</b>	350H (<24 dép)	200H (<18 dép)	-	-	-	-
Seuil H	350	200	-	-	-	-
Nb dép rouge	24	18	-	-	-	-
Nb dép orange	12	9	-	-	-	-
<b>Seuil d'information</b>	300H	200H	80J	-	-	-
Seuil rouge (seuil atteint)	300	200	80	-	-	-
Seuil orange (90% du seuil atteint)	270	180	72			

Valeurs réglementaires de référence	B(a)P	As	Cd	Ni	Pb
Unité	ng.m <sup>-3</sup>				
<b>Long terme (1 an)</b>	Moy (1 an)				
seuil rouge	1	6	5	20	250
seuil orange	0,75	4,5	3,75	15	125

## Annexe 3

### Liste des sites tubes à diffusion passive

Nom du site	Type d'installation	X (UTM 31)	Y (UTM31)	Adresse
<b>FSud_01</b>	Tubes	641636	5068357	Résidence les hauts de St-Just (prendre l'Accès privé depuis la rue de Tron)
<b>FSud_02</b>	Tubes	641516	5068101	Montée de Choulans / Montée St-Laurent
<b>FSud_03</b>	Tubes	641636	5068170	36 place Pierre BOSSAN
<b>FSud_04</b>	Tubes	641765	5068188	Quai de Sâone face École Maternelle
<b>FSud_05</b>	Tubes	641796	5068003	Pont Kitchener / croisement avec quai Rambaud
<b>FOURVIERE_SUD_MOB</b>	Tubes, MOB	641895	5068050	Place Gensoul (face n°2)
<b>FSud_07</b>	Tubes	642078	5067929	Place Camot (Extrémité Sud-Ouest; à côté entrée Métro)
<b>FSud_08</b>	Tubes	642198	5068313	5 rue des Remparts d'Ainay
<b>FSud_09</b>	Tubes	642397	5068060	rue de la Charité / entre rues Franklin et de Condé
<b>FSud_10</b>	Tubes	641664	5067517	Rue Bichat / Croisement avec rue Denuzière
<b>FSud_11</b>	Tubes	641934	5067527	Cours Suchet / Croisement avec Cours Charlemagne
<b>FSud_12</b>	Tubes	642068	5067416	Cours Suchet / Croisement avec rue Delandine
<b>FSud_13</b>	Tubes	642145	5067380	Cours Suchet / Croisement avec Quai Perrache
<b>FSud_14</b>	Tubes	641546	5066926	Cours Charlemagne / devant future Place Nautique
<b>FCentre</b>	Tubes	641069	5068732	207 chemin de Choulans
<b>FNord_01</b>	Tubes	640455	5069164	21 rue de la Gravière / croisement avec Allée de l'Observatoire
<b>FNord_02</b>	Tubes	640374	5069217	4 allée des Cavatines (accès en voiture uniquement par la rue de la Gravière)
<b>FNord_03</b>	Tubes	640308	5069264	157-171 rue Sidoine Apollinaire - Résidence la Vallonnière (SACVL bât. 2 et 3)
<b>FNord_04</b>	Tubes	640487	5069335	60-62 rue Pierre Audry (Le clos des Accacias)
<b>FNord_05</b>	Tubes	640254	5069499	129 résidence la Vallonnière bât. 1
<b>FOURVIERE_NORD_MOB</b>	Tubes, MOB	640229	5069413	143 bis rue Apollinaire
<b>FNord_07</b>	Tubes	640188	5069373	Sortie Nord du tunnel de Fourvière
<b>FNord_08</b>	Tubes	640119	5069270	av. Barthelemy Buyer (devant 107-111 Le Gai Vallon)
<b>FNord_09</b>	Tubes	640051	5069240	107-111 Le Gai Vallon (av. B.Buyer)
<b>FNord_10</b>	Tubes	640081	5069100	Rue Sœur Janin (au bout)

Nom du site	Type d'installation	X (UTM 31)	Y (UTM31)	Adresse
<b>FNord_11</b>	Tubes	639520	5069444	176 av Barthelmy Buyer - Fondation Rambaud
<b>FNord_12</b>	Tubes	640102	5069480	Rue Sidoine Apollinaire / croisement avec rue Prof Guérin
<b>FNord_13</b>	Tubes	639983	5069707	Résidence Gorge de Loup (rue J.Zay)
<b>FNord_14</b>	Tubes	639992	5069781	Rue Jean Zay / rue Louis Loucheur (Groupe scolaire J.Zay)
<b>FNord_15</b>	Tubes	640069	5070543	Square Montel (entrée : 50 rue du Bourbonnais ou )
<b>F_A7_Sud_Lyonnais</b>	Tubes	641486	5064578	(Site Fixe La Mulatière) Face au 25 ter Quai Pierre Séward / niveau rue G.Péri au bord de l'A7
<b>F_Berthelot</b>	Tubes			(Site Fixe Berthelot)
<b>F_Gerland</b>	Tubes			(Site Fixe Gerland)
<b>F_Saint-Just</b>	Tubes	641557	5068474	(Site Fixe St-Just) Place Abbé Larue
<b>F_Vaise_Marietton</b>	Tubes	640220	5070891	(Site Fixe Vaise-Marietton) Théâtre TNG, rue de Bourgogne / croisement rue Chinard

## Annexe 4

# Évaluation de la représentativité des campagnes de mesures

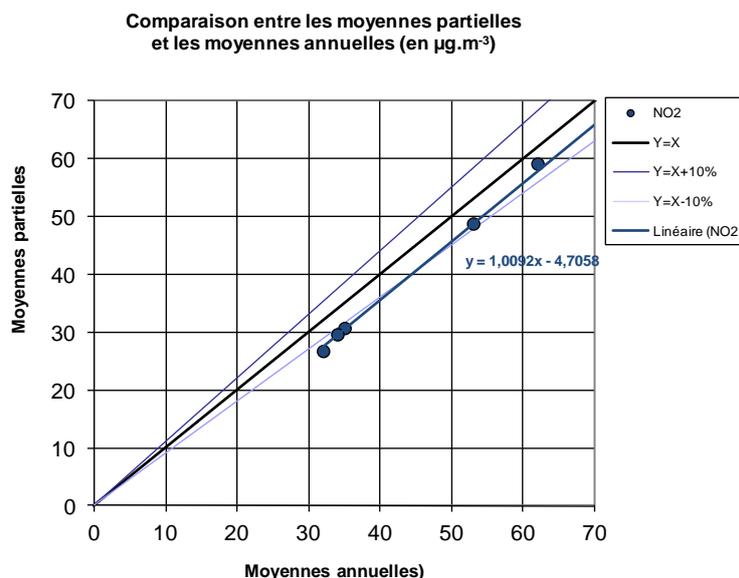
Cette annexe présente la méthode de réajustement utilisée pour redresser la moyenne annuelle des polluants mesurés en continu.

Les sites fixes des réseaux de surveillance de la qualité de l'air, par rapport aux laboratoires mobiles, offrent des mesures en continu tout au long de l'année. Or, comme le montrent les tableaux et graphes ci-dessous, la comparaison entre la moyenne sur les périodes de mesures de l'étude (moyenne partielle des 4 campagnes) et la moyenne annuelle réelle (sur 365 jours) met en évidence une sous estimation des moyennes partielles par rapport à la moyenne annuelle.

### Redressement de la moyenne annuelle en NO<sub>2</sub> mesurée par analyseur

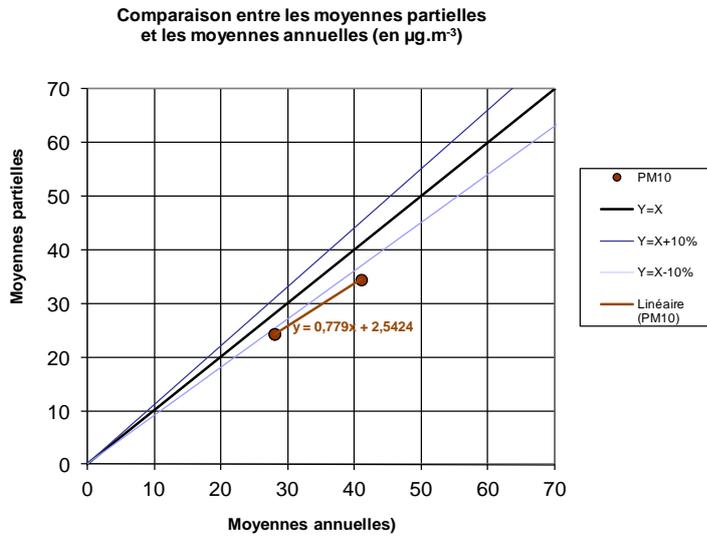
Site	ST JUST	GERLAND	LYON Centre	VAISE MARIETTON	A7 SUD LYONNAIS	CROIX-ROUSSE Tunnel
<b>Typologie</b>	[urbain]	[urbain]	[urbain]	[trafic]	[trafic]	[trafic]
<b>Moyennes partielles</b>	27	31	30	49	79	59
<b>Moyennes annuelles</b>	32	35	34	53	84	62

De ce tableau est déduit le graphique suivant, qui permet de calculer la droite de régression à utiliser pour le redressement de la moyenne sur le site d'étude.

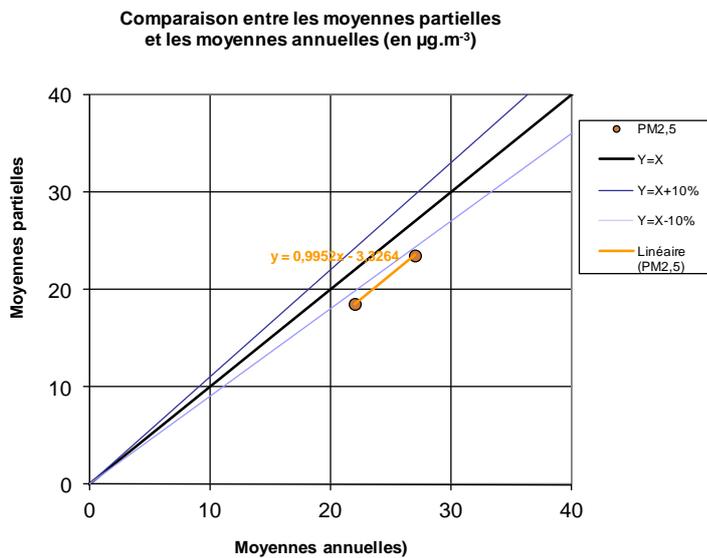


L'estimation de la concentration moyenne annuelle pour le NO<sub>2</sub> sur le site mobile Fourvière Nord passe ainsi de 54  $\mu\text{g.m}^{-3}$  à 58  $\mu\text{g.m}^{-3}$  et le site de Fourvière Sud de 56  $\mu\text{g.m}^{-3}$  à 60  $\mu\text{g.m}^{-3}$ .

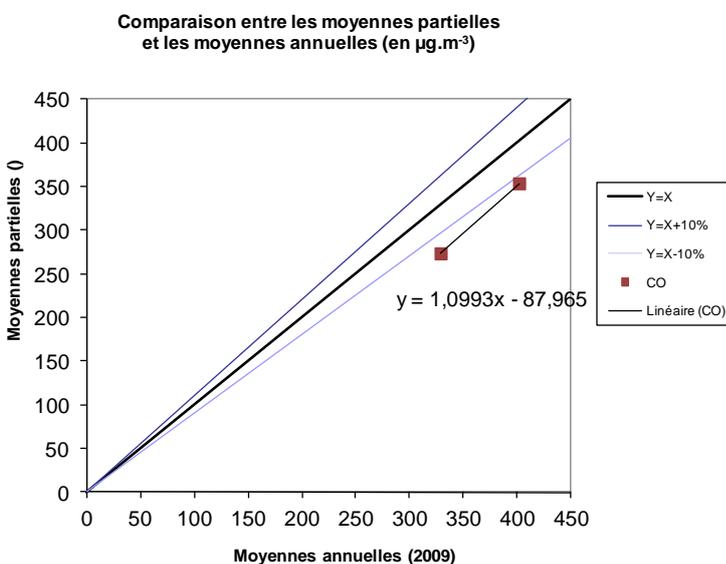
La même méthode a été utilisée sur les autres polluants qui nécessitaient un redresseage de la moyenne annuelle.



L'estimation de la concentration moyenne annuelle pour les  $\text{PM}_{10}$  sur le site mobile Fourvière Nord passe ainsi de  $26 \mu\text{g.m}^{-3}$  à  $30 \mu\text{g.m}^{-3}$  et le site de Fourvière Sud de  $29 \mu\text{g.m}^{-3}$  à  $34 \mu\text{g.m}^{-3}$ .



L'estimation de la concentration moyenne annuelle pour les  $\text{PM}_{2,5}$  sur le site mobile Fourvière Nord passe ainsi de  $21 \mu\text{g.m}^{-3}$  à  $24 \mu\text{g.m}^{-3}$ .



L'estimation de la concentration moyenne annuelle pour le CO sur le site mobile Fourvière Nord passe ainsi de  $292 \mu\text{g.m}^{-3}$  à  $346 \mu\text{g.m}^{-3}$  et sur le site de Fourvière Sud de  $408 \mu\text{g.m}^{-3}$  à  $451 \mu\text{g.m}^{-3}$ .

# Annexe 5 : NO<sub>2</sub>

## Résultats complémentaires

### 1. Statistiques horaires durant l'ensemble des campagnes

Nom du site	FOURVIERE Nord	FOURVIERE Sud	ST JUST	GERLAND	LYON Centre	A7 SUD LYONNAIS	CROIX-ROUSSE Tunnel
Maximum horaire	299	202	123	124	119	250	300
Date du Maxi horaire (Heure locale)	24/06/10 21:00	01/09/10 09:00	12/03/10 22:00	16/03/10 09:00	12/11/10 22:00	16/03/10 10:00	05/06/10 21:00
2ème plus grande valeur H	263	202	114	119	111	231	292
3ème plus grande valeur H	260	196	111	116	107	224	291
4ème plus grande valeur H	240	185	110	114	106	219	287
5ème plus grande valeur H	237	177	107	113	105	219	282
Percentile 98 H	147	135	78	86	84	179	197
Percentile 75 H	67	74	37	41	40	114	73
Percentile 50 ou Médiane H	48	51	22	26	24	75	47
Percentile 25 H	33	32	12	16	15	39	29
Écart-type H	32	31	19	20	20	47	45

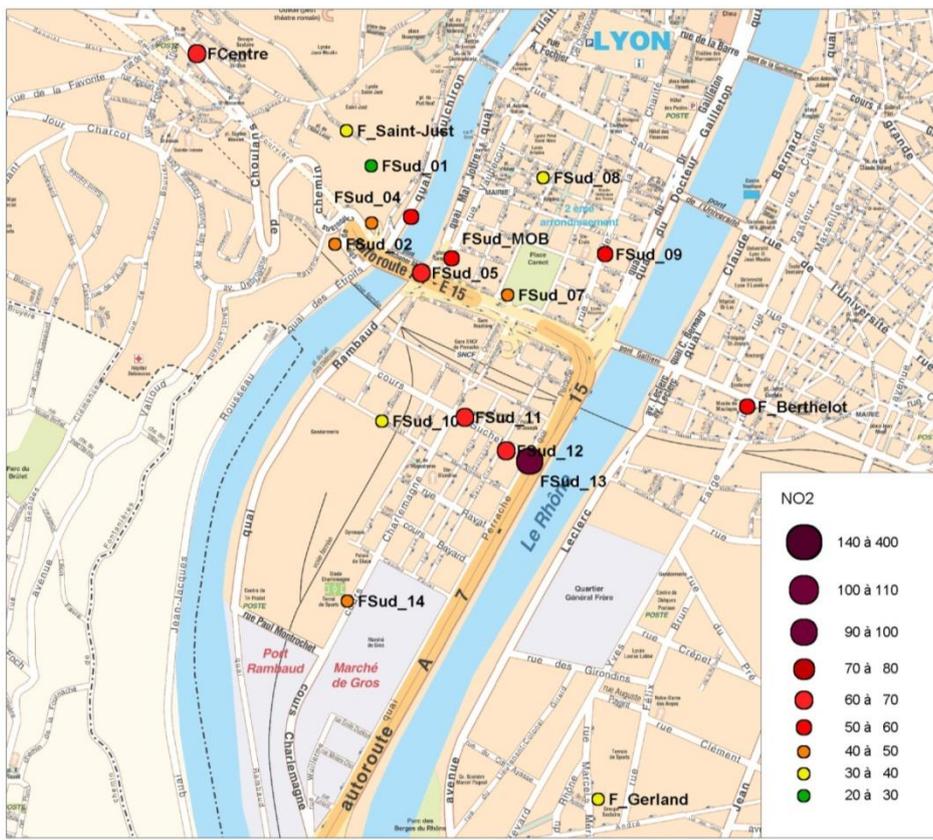
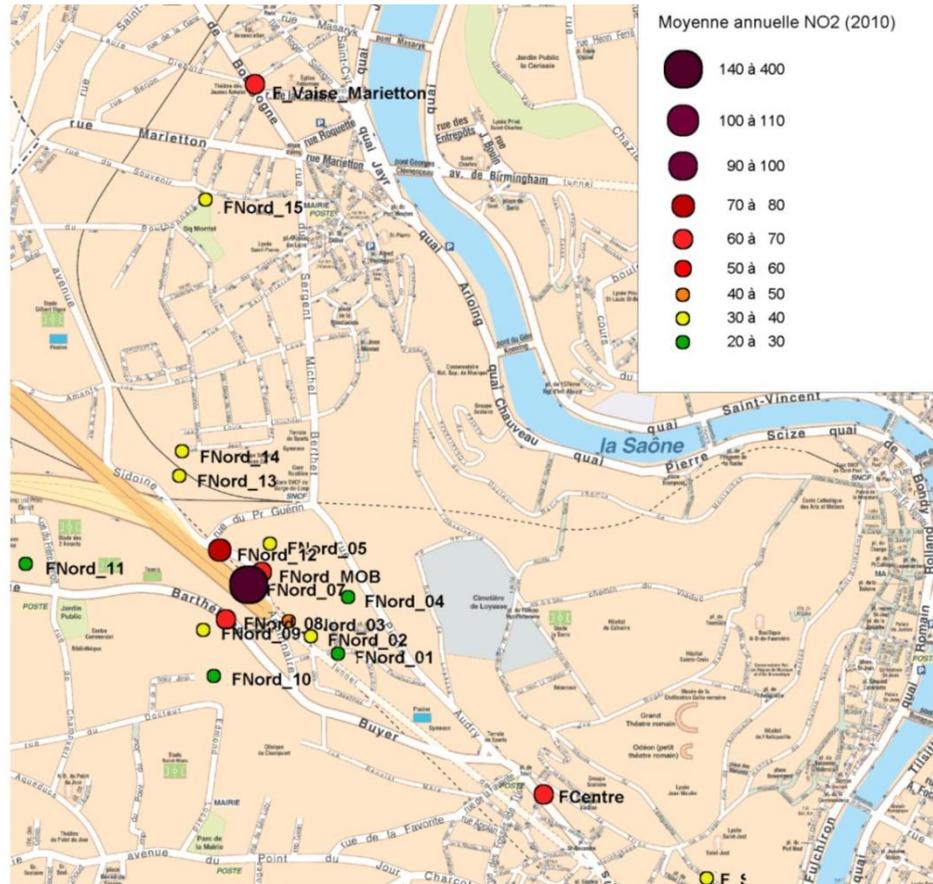
### 2. Statistiques journalières durant l'ensemble des campagnes

Nom du site	FOURVIERE Nord	FOURVIERE Sud	ST JUST	GERLAND	LYON Centre	A7 SUD LYONNAIS	CROIX-ROUSSE Tunnel
Maximum journalier	118	120	64	63	73	132	161
Date du Maximum journalier	24/06/2010	04/11/2010	18/11/2010	16/03/2010	18/11/2010	05/11/2010	05/06/2010
2ème plus grande valeur J	106	97	61	59	64	129	136
3ème plus grande valeur J	104	91	56	55	58	122	131
Percentile 98 J	104	92	56	56	59	122	132
Percentile 75 J	60	71	33	38	37	92	73
Percentile 50 ou Médiane J	52	54	25	30	28	79	53
Percentile 25 J	42	41	18	22	19	66	39
Écart-type J	19	20	13	12	13	22	29

## Annexe 6

### Tableau et Cartes des concentrations des échantillonneurs passifs

Site	Hiver	Printemps	été	Automne	Moyenne 4 campagnes	Moyenne corrigée représentative de l'année complète
F_A7_Sud_Lyonnais	81,6	107,3	98,6	78,5	91,5	100,08
F_Berthelot	47,8	40,2	43,7	51,8	45,9	50,16
F_Gerland	30,2	24,7	30,1	40,3	31,3	34,28
F_Saint-Just	30,0	20,6	22,8	38,0	27,9	30,48
F_Vaise_Marietton	57,3	50,0	52,1	65,1	56,1	61,39
FCentre	64,3	55,7	52,6	61,5	58,5	64,03
FNord_01	28,5	18,4	22,2	27,1	24,0	26,30
FNord_02	34,4	24,5	25,2	33,7	29,4	32,21
FNord_03	44,3	40,2	40,2	38,4	40,8	44,58
FNord_04	29,2	21,5	22,1	32,0	26,2	28,66
FNord_05	35,6	25,9	30,9	37,5	32,5	35,54
FOURVIERE_NORD_MOB	64,4	59,6	51,3	45,0	55,0	60,21
FNord_07	290,0	337,3	244,4	208,3	270,0	295,34
FNord_08	59,9	60,9	59,8	64,1	61,2	66,92
FNord_09	29,7	21,9	25,9	32,7	27,6	30,15
FNord_10	25,4	16,8	19,6	27,1	22,2	24,30
FNord_11	28,6	18,1	22,9	29,6	24,8	27,13
FNord_12	69,4	68,9	67,2	76,9	70,6	77,22
FNord_13	32,6	26,8	35,7	40,0	33,8	36,96
FNord_14	37,6	27,5	34,9	45,3	36,3	39,72
FNord_15	31,7	20,0	25,6	33,9	27,8	30,43
FSud_01	27,4	18,0	17,2	37,2	26,1	28,51
FSud_02	48,4	39,8	42,0	51,1	45,3	49,56
FSud_03	47,0	38,4	39,7	56,2	45,3	49,57
FSud_04	47,8	45,1	43,6	54,1	47,7	52,15
FSud_05	60,0	68,3	63,8	62,8	63,7	69,73
FOURVIERE_SUD_MOB	48,4	47,0	48,4	60,8	51,1	55,94
FSud_07	41,3	31,8	36,0	54,0	40,8	44,59
FSud_08	34,8	22,4	28,6	43,1	32,2	35,25
FSud_09	50,9	39,3	43,8	56,3	47,6	52,03
FSud_10	35,9	26,4	28,7	40,3	32,8	35,92
FSud_11	52,2	52,1	52,8	65,9	55,7	60,98
FSud_12	53,2	56,8	63,4	58,3	57,9	63,36
FSud_13	71,2	83,7	97,9	97,0	87,4	95,65
FSud_14	40,4	37,2	47,3	52,5	44,3	48,51



# Annexe 7 : Particules fines

## Résultats complémentaires

### 1. Statistiques horaires durant l'ensemble des campagnes

Nom du site	FOURVIERE Nord	FOURVIERE Sud	GERLAND	LYON Centre	A7 SUD LYONNAIS
Maximum horaire	103	115	102	122	377
Date du Maxi horaire (Heure locale)	12/03/10 21:00	04/11/10 11:00	04/11/10 12:00	21/05/10 17:00	17/03/10 09:00
2ème plus grande valeur H	102	115	97	114	178
3ème plus grande valeur H	101	108	97	103	168
4ème plus grande valeur H	98	107	96	95	153
5ème plus grande valeur H	97	107	95	91	149
Percentile 98 H	62	79	68	67	98
Percentile 75 H	32	36	30	31	46
Percentile 50 ou Médiane H	23	26	22	22	32
Percentile 25 H	16	18	15	16	19
Écart-type H	14	16	14	14	23

### 2. Statistiques journalières durant l'ensemble des campagnes

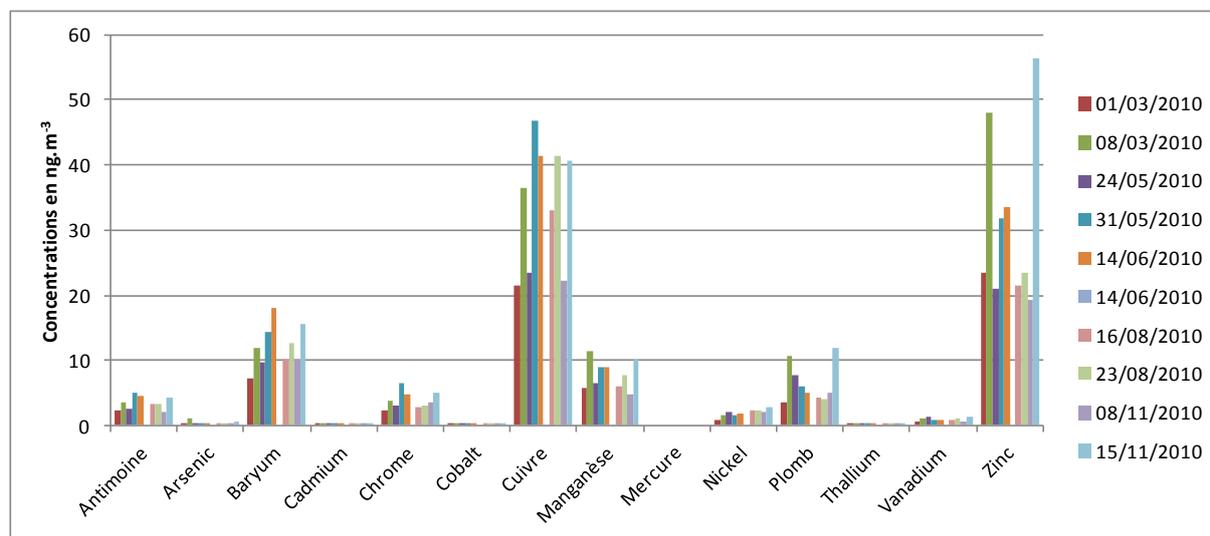
Nom du site	FOURVIERE Nord	FOURVIERE Sud	GERLAND	LYON Centre	A7 SUD LYONNAIS
Maximum journalier	77	78	73	70	88
Date du Maximum journalier	12/03/2010	12/03/2010	12/03/2010	12/03/2010	04/11/2010
2ème plus grande valeur J	68	76	63	61	87
3ème plus grande valeur J	59	67	62	58	74
Percentile 98 J	60	69	62	58	75
Percentile 75 J	30	35	30	31	43
Percentile 50 ou Médiane J	24	28	23	23	34
Percentile 25 J	18	19	16	17	26
Écart-type J	12	13	12	11	15

# Annexe 8 : Métaux Lourds Résultats complémentaires

## Concentrations des 13 Éléments Traces métalliques mesurés

Les mesures ont consisté en 9 prélèvements (2 en hiver, 3 au printemps, 2 en été, et 2 en automne) de 7 jours chacun.

Date de début de prélèvement	Date de fin de prélèvement	Antimoine	Arsenic	Baryum	Cadmium	Chrome	Cobalt	Cuivre	Manganèse	Mercur	Nickel	Plomb	Thallium	Vanadium	Zinc
01/03/2010	08/03/10	2,3	0,2	7,2	0,1	2,3	0,1	21,6	5,7	NA	0,9	3,5	0,1	0,5	23,4
08/03/2010	15/03/10	3,6	1,1	12,0	0,3	3,8	0,2	36,5	11,4	NA	1,7	10,8	0,1	1,1	47,9
24/05/2010	31/05/10	2,6	0,4	9,6	0,1	3,1	0,1	23,4	6,6	NA	2,0	7,8	0,1	1,3	21,0
31/05/2010	07/06/10	5,1	0,3	14,4	0,1	6,6	0,1	46,7	9,0	NA	1,6	6,0	0,1	1,0	31,8
14/06/2010	21/06/10	4,6	0,5	18,0	0,1	4,8	0,1	41,3	9,0	NA	1,9	5,1	0,1	0,8	33,5
16/08/2010	23/08/10	3,3	0,4	10,2	0,1	2,8	0,1	32,9	6,0	NA	2,3	4,3	0,1	0,9	21,6
23/08/2010	30/08/10	3,3	0,3	12,6	0,1	3,0	0,1	41,3	7,8	NA	2,4	4,1	0,1	1,1	23,4
08/11/2010	15/11/10	2,1	0,3	10,2	0,1	3,5	0,2	22,2	4,7	NA	2,2	5,2	0,1	0,7	19,2
15/11/2010	22/11/10	4,3	0,6	15,6	0,3	5,0	0,3	40,7	10,2	NA	2,8	12,0	0,1	1,3	56,3



# Annexe 9 : COV

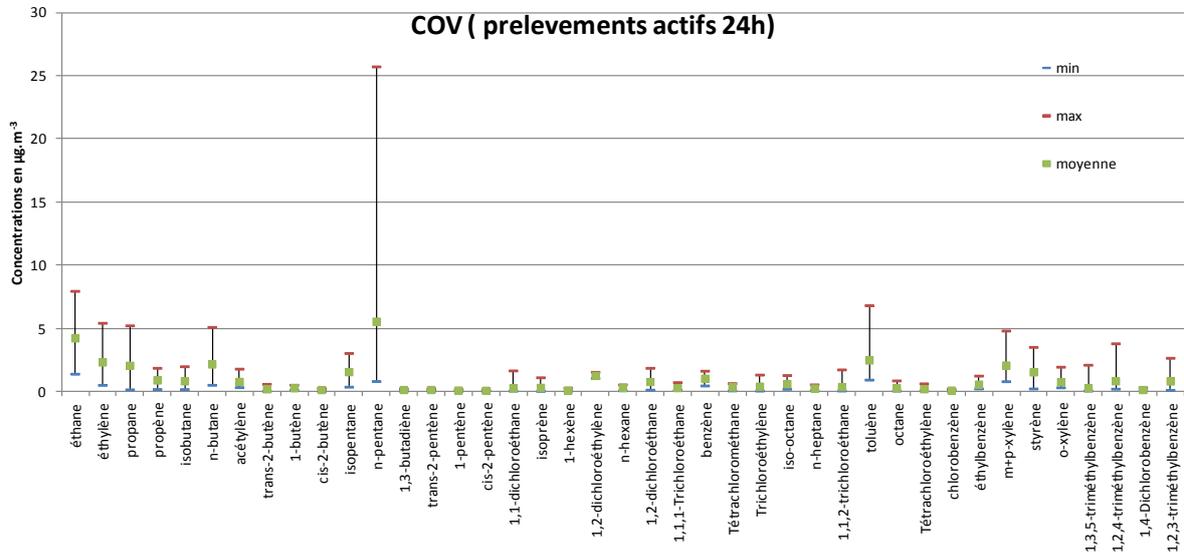
## Résultats complémentaires

Concentrations de Benzène mesurés par échantillonneurs passifs sur l'ensemble de la zone d'étude

	Hiver	Printemps	Été	Automne	Moyenne annuelle
F_A7_Sud_Lyonnais	1,6	1,1	1,1	1,9	1,4
F_Berthelot	1,9	1,0	1,2	2,2	1,6
F_Gerland	1,6	0,6	0,9	2,4	1,2
F_Saint-Just	1,5	1,0	0,9	2,4	1,3
F_Vaise_Marjetton	1,8	1,0	1,2	2,5	1,6
FCentre	1,8	1,4	1,6	2,0	1,7
FNord_01	1,2	0,7	0,8	1,6	1,1
FNord_02	1,2	0,7	0,9	1,5	1,1
FNord_03	1,2	0,8	1,2	1,7	1,2
FNord_04	1,3	0,8	0,9	1,6	1,1
FNord_05	1,2	0,8	1,2	1,6	1,2
FOURVIERE_NORD_MOB	1,5	1,1	1,1	1,8	1,4
FNord_07	2,6	3,2	2,6	2,9	2,8
FNord_08	1,5	1,3	1,5	2,3	1,6
FNord_09	1,1	0,6	0,8	1,4	1,0
FNord_10	1,1	0,6	0,8	1,2	0,9
FNord_11	1,1	0,6	0,9	1,4	1,0
FNord_12	1,6	1,0	1,2	2,2	1,5
FNord_13	1,2	0,7	1,0	1,6	1,1
FNord_14	1,5	0,8	1,1	1,9	1,3
FNord_15	1,2	0,7	0,9	1,8	1,1
FSud_01	1,1	0,6	0,9	1,3	1,0
FSud_02	1,6	1,0	1,1	1,9	1,4
FSud_03	1,3	0,8	1,1	2,2	1,2
FSud_04	1,5	0,9	1,2	2,0	1,4
FSud_05	1,6	1,2	1,4	2,1	1,6
FOURVIERE_SUD_MOB	1,6	0,9	1,2	2,1	1,4
FSud_07	1,2	0,7	1,1	1,9	1,2
FSud_08	1,3	0,9	1,1	1,9	1,3
FSud_09	1,7	1,1	1,1	2,3	1,5
FSud_10	1,2	0,7	1,0	1,6	1,1
FSud_11	1,3	1,1	1,4	2,5	1,6
FSud_12	1,6	1,0	1,4	1,9	1,5
FSud_13	1,9	1,3	1,7	2,6	1,9
FSud_14	1,4	0,9	1,1	2,0	1,3

## Concentrations de 41 COV mesurés par canister sur le site de Fourvière Nord

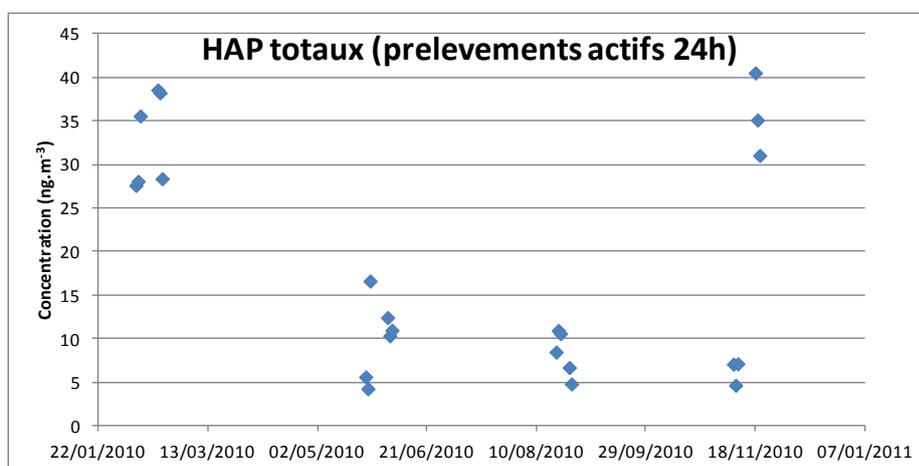
Les mesures ont consisté en 24 prélèvements de 24 heures (6 prélèvements pour chaque saison).



## Annexe 10 : HAP

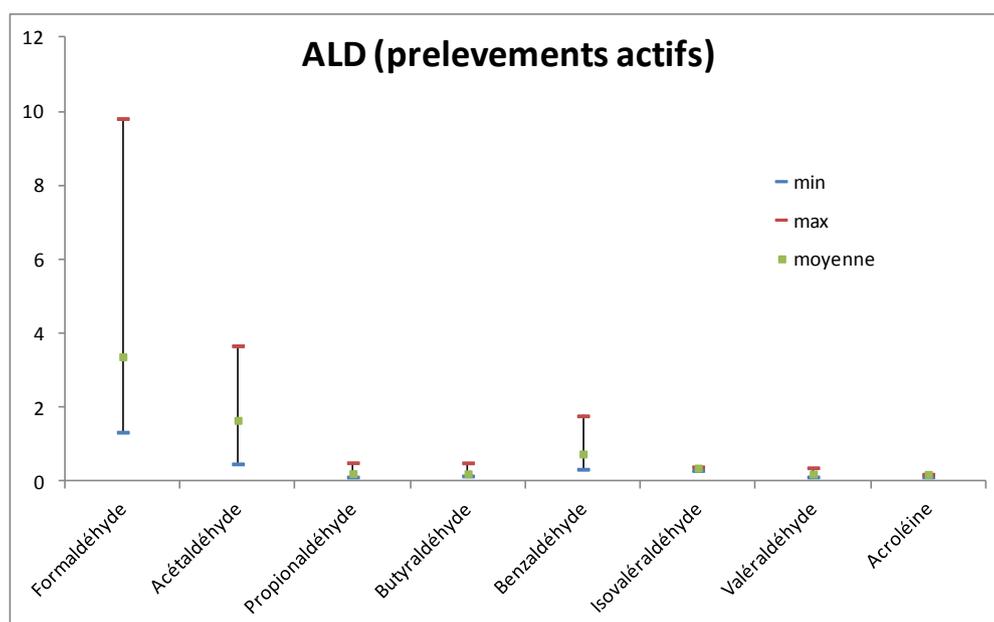
### Résultats complémentaires

Date du prélèvement	2-méthylfluoranthène	2-méthylnaphthalène	Acénaphthène	Anthracène	Benzo(a)anthracène	Benzo(a)pyrène	Benzo(b)fluoranthène	Benzo(e)pyrène	Benzo(g,h,i)pérylène	Benzo(j)fluoranthène	Benzo(k)fluoranthène	Chrysène	Dibenzo(a,h)anthracène	Fluoranthène	Fluorène	Indéno(1,2,3-cd)pyrène	Naphthalène	Phénanthrène	Pyrène
08/02/2010	0,06	1,61	4,82	0,49	0,31	0,35	0,53	0,33	0,48	0,31	0,22	0,52	0,03	2,58	2,47	0,38	0,86	9,06	2,19
09/02/2010	0,06	1,00	4,53	0,54	0,35	0,42	0,60	0,39	0,52	0,37	0,24	0,57	0,03	2,89	2,24	0,42	0,74	9,76	2,41
10/02/2010	0,09	0,45	5,04	0,74	0,45	0,54	0,85	0,58	0,70	0,49	0,34	0,82	0,04	3,90	2,76	0,56	0,76	13,38	3,08
18/02/2010	0,11	1,01	7,84	0,62	0,61	0,65	1,15	0,69	0,80	0,66	0,47	1,03	0,08	4,01	3,66	0,65	1,06	10,41	3,06
19/02/2010	0,10	1,30	7,60	0,64	0,57	0,61	0,98	0,57	0,64	0,56	0,39	0,91	0,06	3,82	3,33	0,53	1,36	11,33	2,94
20/02/2010	0,09	0,71	3,40	0,79	0,36	0,41	0,67	0,42	0,47	0,41	0,27	0,64	0,04	3,59	1,62	0,37	0,93	10,30	2,86
24/05/2010	0,01	0,12	0,46	0,03	0,04	0,05	0,16	0,10	0,11	0,07	0,05	0,16	0,01	1,23	0,27	0,13	0,12	1,80	0,70
25/05/2010	0,01	0,08	0,34	0,03	0,03	0,03	0,06	0,03	0,06	0,02	0,02	0,08	0,01	0,90	0,22	0,03	0,12	1,67	0,52
26/05/2010	0,03	0,23	0,71	0,12	0,08	0,03	0,15	0,06	0,07	0,04	0,03	0,25	0,01	2,29	0,59	0,06	3,63	5,18	3,07
03/06/2010	0,05	0,31	0,36	0,19	0,15	0,06	0,12	0,03	0,11	0,06	0,03	0,25	0,01	2,82	0,31	0,05	0,63	3,59	3,32
04/06/2010	0,03	0,33	0,77	0,18	0,08	0,04	0,11	0,05	0,12	0,05	0,03	0,19	0,01	1,73	0,58	0,06	0,24	4,42	1,33
05/06/2010	0,02	0,57	0,59	0,03	0,04	0,02	0,26	0,10	0,08	0,06	0,04	0,25	0,01	2,27	0,40	0,06	1,80	3,04	1,33
19/08/2010	0,02	0,12	0,62	0,11	0,05	0,03	0,21	0,10	0,09	0,04	0,04	0,21	0,01	1,74	0,45	0,04	0,16	3,47	0,98
20/08/2010	0,02	0,22	1,55	0,10	0,06	0,05	0,23	0,13	0,09	0,04	0,06	0,20	0,01	1,75	0,95	0,05	0,21	4,29	0,94
21/08/2010	0,04	0,30	1,19	0,09	0,11	0,06	0,21	0,08	0,11	0,06	0,06	0,23	0,01	1,99	0,68	0,05	0,27	3,65	1,37
25/08/2010	0,01	0,30	1,01	0,04	0,04	0,03	0,23	0,11	0,08	0,04	0,05	0,18	0,01	0,80	0,58	0,04	0,27	2,37	0,50
26/08/2010	0,01	0,13	0,44	0,02	0,05	0,04	0,20	0,11	0,09	0,04	0,06	0,17	0,01	1,09	0,22	0,04	0,15	1,29	0,64
27/08/2010																			
08/11/2010	0,03	0,15	0,81	0,08	0,07	0,10	0,24	0,16	0,17	0,12	0,09	0,20	0,05	0,87	0,41	0,11	0,12	2,63	0,67
09/11/2010	0,01	0,06	0,51	0,05	0,04	0,08	0,14	0,09	0,09	0,07	0,06	0,11	0,01	0,55	0,27	0,09	0,08	1,89	0,43
10/11/2010	0,02	0,12	0,57	0,08	0,11	0,08	0,26	0,15	0,15	0,13	0,09	0,23	0,01	1,10	0,47	0,12	0,06	2,48	0,90
18/11/2010	0,12	2,70	2,63	0,94	1,09	1,24	2,33	1,67	0,94	0,95	0,78	1,84	0,11	4,02	1,70	0,79	2,05	11,03	3,57
19/11/2010	0,14	1,08	3,31	0,97	0,83	1,14	1,39	1,01	0,96	0,83	0,59	1,12	0,11	3,54	2,16	0,80	1,10	11,02	3,01
20/11/2010	0,11	1,78	0,84	0,29	0,90	1,32	3,23	2,35	1,25	1,15	0,98	1,68	0,21	4,03	0,60	0,92	0,86	5,59	2,96



## Annexe 11 : Aldéhydes Résultats complémentaires

début d'exposition	fin d'exposition	Formaldéhyde	Acétaldéhyde	Propionaldéhyde	Butyraldéhyde	Benzaldéhyde	Isovaléraldéhyde	Valéraldéhyde	Acroléine
01/03/10 09:00	01/03/10 17:00	3,0	1,4	0,2	0,2	0,5	0,4	0,2	0,2
02/03/10 09:00	02/03/10 17:00	2,9	1,3	0,2	0,2	0,5	0,3	0,2	0,2
03/03/10 09:00	03/03/10 17:00	3,6	1,7	0,2	0,2	0,6	0,4	0,2	0,2
11/03/10 09:00	11/03/10 17:00	2,8	1,8	0,2	0,2	0,4	0,4	0,2	0,2
12/03/10 09:00	12/03/10 17:00	2,9	1,7	0,1	0,2	0,4	0,3	0,2	0,2
13/03/10 09:00	13/03/10 17:00	2,8	1,8	0,2	0,2	0,4	0,3	0,2	0,2
24/05/10 10:00	24/05/10 18:00	5,9	2,6	0,2	0,2	1,0	0,4	0,2	0,2
25/05/10 10:00	25/05/10 18:00	3,3	1,5	0,2	0,2	0,7	0,4	0,2	0,2
26/05/10 10:00	26/05/10 18:00	9,8	3,7	0,5	0,5	1,4	0,4	0,4	0,2
03/06/10 10:00	03/06/10 18:00	3,2	2,0	0,3	0,2	1,0	0,4	0,2	0,1
04/06/10 10:00	04/06/10 18:00	2,8	1,9	0,2	0,2	1,8	0,4	0,2	0,2
05/06/10 10:00	05/06/10 18:00	4,2	1,7	0,2	0,2	1,5	0,3	0,1	0,2
19/08/10 10:00	19/08/10 18:00	3,2	1,4	0,2	0,2	0,6	0,3	0,2	0,2
20/08/10 10:00	20/08/10 18:00	2,4	0,8	0,2	0,2	0,6	0,3	0,2	0,2
21/08/10 10:00	21/08/10 18:00	2,9	-	0,2	0,2	0,7	0,4	0,2	0,2
25/08/10 10:00	25/08/10 18:00	2,5	-	0,2	0,2	0,7	0,4	0,2	0,2
26/08/10 10:00	26/08/10 18:00	3,9	-	0,2	0,2	0,7	0,3	0,2	0,2
27/08/10 10:00	27/08/10 18:00	2,4	-	0,2	0,2	0,8	0,4	0,2	0,2
08/11/10 09:00	08/11/10 17:00	1,3	0,5	0,2	0,2	0,4	0,4	0,2	0,2
09/11/10 09:00	09/11/10 17:00	1,6	0,7	0,2	0,2	0,3	0,4	0,2	0,2



## Annexe 12 : Modélisation PM<sub>10</sub> (SIRANE V2) en moyenne annuelle sur la zone d'étude

