

**Étude de la qualité de l'air
sur la colline de la Croix-Rousse**
Rapport complet des mesures

2007-2008



Juillet 2008

SOMMAIRE

1	CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE	5
2	ZONE GEOGRAPHIQUE DE L'ETUDE	6
3	MATERIELS ET METHODE	10
3.1	MATERIELS MIS EN ŒUVRE	10
3.2	METHODOLOGIE POUR LES MESURES	12
3.2.1	<i>Choix des sites</i>	12
3.2.2	<i>Choix des polluants mesurés</i>	16
3.2.3	<i>Périodes, durées et représentativité des mesures</i>	17
3.3	MATERIEL ET METHODE POUR LA MODELISATION	18
3.3.1	<i>Calcul des émissions</i>	18
3.3.2	<i>Modélisation en tête de tunnel et dans les cheminées du tunnel</i>	19
3.3.3	<i>Modélisation de l'impact du tunnel sur la pollution atmosphérique</i>	19
3.4	SEUILS REGLEMENTAIRES A RESPECTER	21
4	REPRESENTATIVITE DES MESURES	23
4.1	TAUX DE FONCTIONNEMENT ET DE REPRESENTATIVITE ANNUELLE	23
4.2	REPRESENTATIVITE VIS-A-VIS DES CONDITIONS METEOROLOGIQUES	24
4.2.1	<i>Températures, précipitations et normales saisonnières</i>	24
4.2.2	<i>Roses des vents</i>	25
4.2.3	<i>Représentativité des mesures vis-à-vis des variations saisonnières</i>	27
4.2.4	<i>Liste de dates de fermetures du tunnel</i>	30
5	RESULTATS DES MESURES PAR TUBES PASSIFS	31
5.1	DIOXYDE D'AZOTE (NO ₂)	31
5.2	BENZENE, TOLUENE ET ALDEHYDES	35
6	RESULTATS DES MESURES EN CONTINU	40
6.1	DIOXYDE DE SOUFRE (SO ₂)	41
6.1.1	<i>Emissions</i>	41
6.1.2	<i>Synthèse des résultats</i>	41
6.1.3	<i>Comparaison des niveaux avec la réglementation</i>	43
6.1.4	<i>Tendances à l'horizon 2013</i>	44
6.2	OXYDE D'AZOTE (NO, NO ₂)	45
6.2.1	<i>Emissions</i>	45
6.2.2	<i>Synthèse des résultats</i>	45
6.2.3	<i>Comparaison des niveaux avec la réglementation</i>	49
6.2.4	<i>Tendances à l'horizon 2013</i>	49
6.3	PARTICULES EN SUSPENSION (PM ₁₀)	50
6.3.1	<i>Emissions</i>	50
6.3.2	<i>Synthèse des résultats</i>	50
6.3.3	<i>Comparaison des niveaux avec la réglementation</i>	53
6.3.4	<i>Tendances à l'horizon 2013</i>	54
6.4	OZONE (O ₃)	54
6.4.1	<i>Emissions</i>	54
6.4.2	<i>Synthèse des résultats</i>	54
6.4.3	<i>Comparaison des niveaux avec la réglementation</i>	56
6.4.4	<i>Tendances à l'horizon 2013</i>	56
6.5	MESURES DANS LE TUNNEL ET EN SORTIE DE CHEMINEE	57
7	RESULTATS DES PRELEVEMENTS	59
7.1	METAUX LOURDS (ML)	60
7.1.1	<i>Emissions</i>	60
7.1.2	<i>Résultats et valeurs réglementaires</i>	61

7.1.3	<i>Tendances à l'horizon 2013</i>	63
7.2	HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES (HAP)	69
7.2.1	<i>Emissions</i>	69
7.2.2	<i>Comparaison aux valeurs réglementaires</i>	69
7.2.3	<i>Tendances à l'horizon 2013</i>	72
7.3	COMPOSES ORGANIQUES VOLATILS (COV)	73
7.3.1	<i>Emissions</i>	73
7.3.2	<i>Résultats et valeurs réglementaires</i>	73
7.3.3	<i>Tendances à l'horizon 2013</i>	77
8	RESULTATS DE LA MODELISATION	79
8.1	CARTOGRAPHIES DU QUARTIER EN 2007	79
8.2	TENDANCES A L'HORIZON 2013 : 2 SCENARII	79
9	CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES	87
	ANNEXE 1 : ADRESSES ET COORDONNEES DES SITES	90
	ANNEXE 2 : RESULTATS DES TUBES PASSIFS PAR SITE ET PAR CAMPAGNE – DIOXYDE D'AZOTE (NO₂)	92
	ANNEXE 3 : RESULTATS DES TUBES PASSIFS PAR SITE ET PAR CAMPAGNE – BENZENE (C₆H₆)	94
	ANNEXE 4 : REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES RECENSEES SUR LE THEME DES TUNNELS ROUTIERS	96

1 Contexte et objectifs de l'étude

L'étude de la qualité de l'air à Lyon ne peut s'envisager aujourd'hui sans prendre en compte la problématique des tunnels du centre ville. Ces axes de transit incontournables induisent en effet, de par leurs configurations spécifiques, des phénomènes complexes de concentration et de dispersion des émissions automobiles.

Par ailleurs, la demande d'information de la population sur la qualité de l'air est croissante et les riverains interrogent les autorités et les élus sur l'incidence environnementale de ces tunnels (pollutions sonore et atmosphérique).

Ces différents éléments ont amené COPARLY à intégrer cette spécificité lyonnaise dans la surveillance globale de la qualité de l'air.

Pour 2007, les travaux concernaient en priorité la colline de Croix-Rousse et l'étude programmée s'est appuyé dans un premier temps sur des mesures en air extérieur et à l'intérieur du tunnel de la Croix-Rousse.

Dans un second temps, les résultats ont servi à alimenter et valider un modèle de dispersion à l'échelle de la rue (SIRANE) dont les améliorations techniques pour prendre en compte les contraintes liées au relief (vent, émissions,...) ont été confiées à l'Ecole Centrale de Lyon. Ce modèle incluait également les résultats d'une autre étude de modélisation spécifique au tunnel, qui a été confiée à un bureau d'étude spécialisé (Fluid'Alp), pour quantifier la pollution émise dans l'environnement au niveau des entrées/sorties de tunnel et des cheminées d'extraction.

Au final, ces travaux combinant ainsi mesures et modélisation ont permis de cartographier la pollution atmosphérique sur l'ensemble de la colline de la Croix-Rousse. Le modèle SIRANE amélioré a également été utilisé de manière prospective pour évaluer la qualité de l'air à l'horizon 2013.

L'approche exhaustive en termes de polluants suivis et de méthodologies mises en œuvre, combinant résultats de mesures et évaluations par modélisation, devrait permettre d'élaborer une méthode de référence utilisable pour étudier les autres tunnels lyonnais.

Le présent rapport technique présente le matériel et la méthodologie mis en œuvre par COPARLY pour cette étude, ainsi que les principaux résultats des concentrations de polluants mesurées, comparées à des stations de référence et aux valeurs réglementaires en vigueur.

Les méthodologies et résultats des travaux de modélisation font l'objet de deux rapports spécifiques, rédigés l'un par l'Ecole Centrale de Lyon et l'autre par Fluid'Alp.

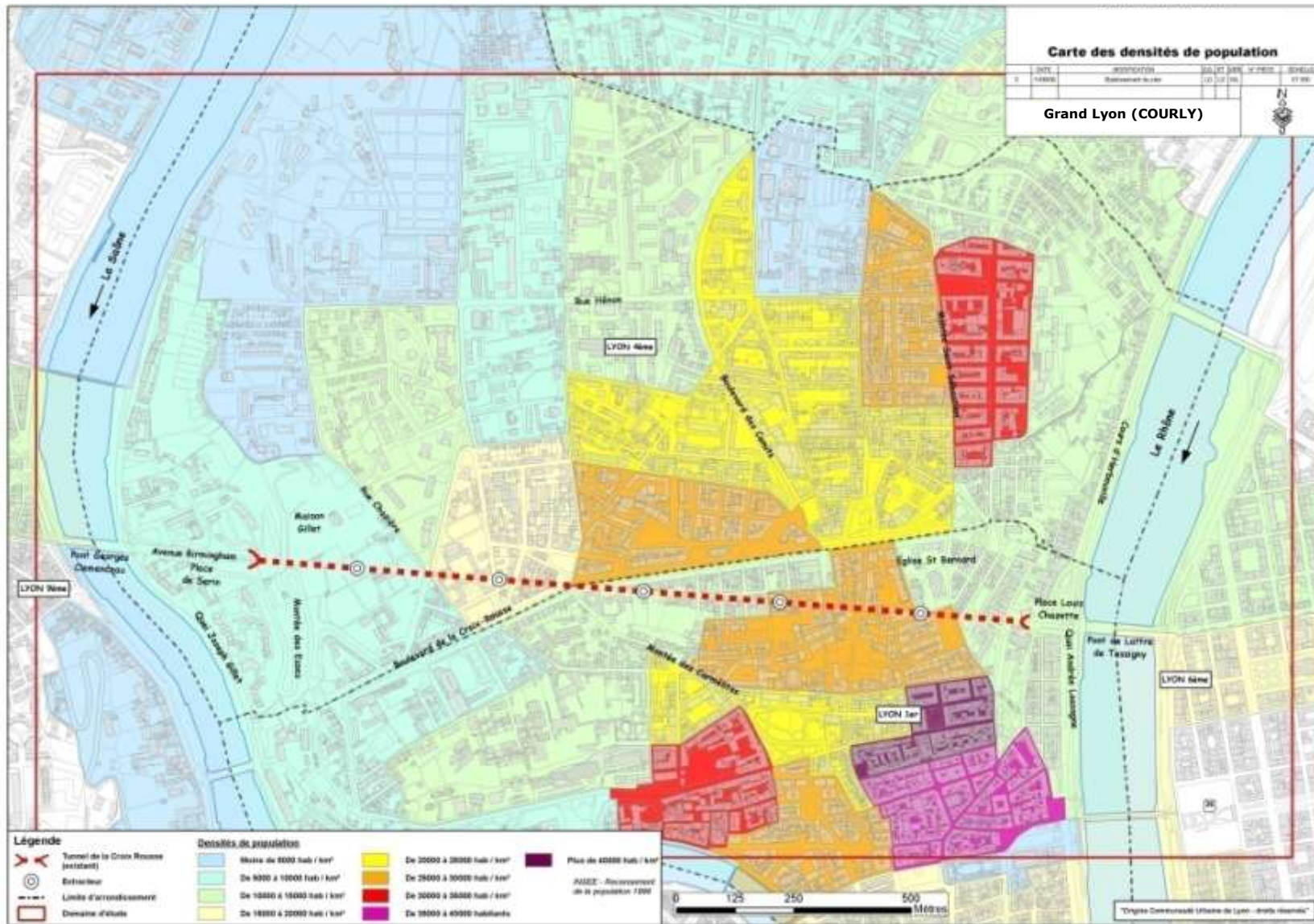
COPARLY prévoit de réaliser une synthèse des tous ces résultats pour une communication destinée au grand public dans le courant de l'automne 2008.

2 Zone géographique de l'étude

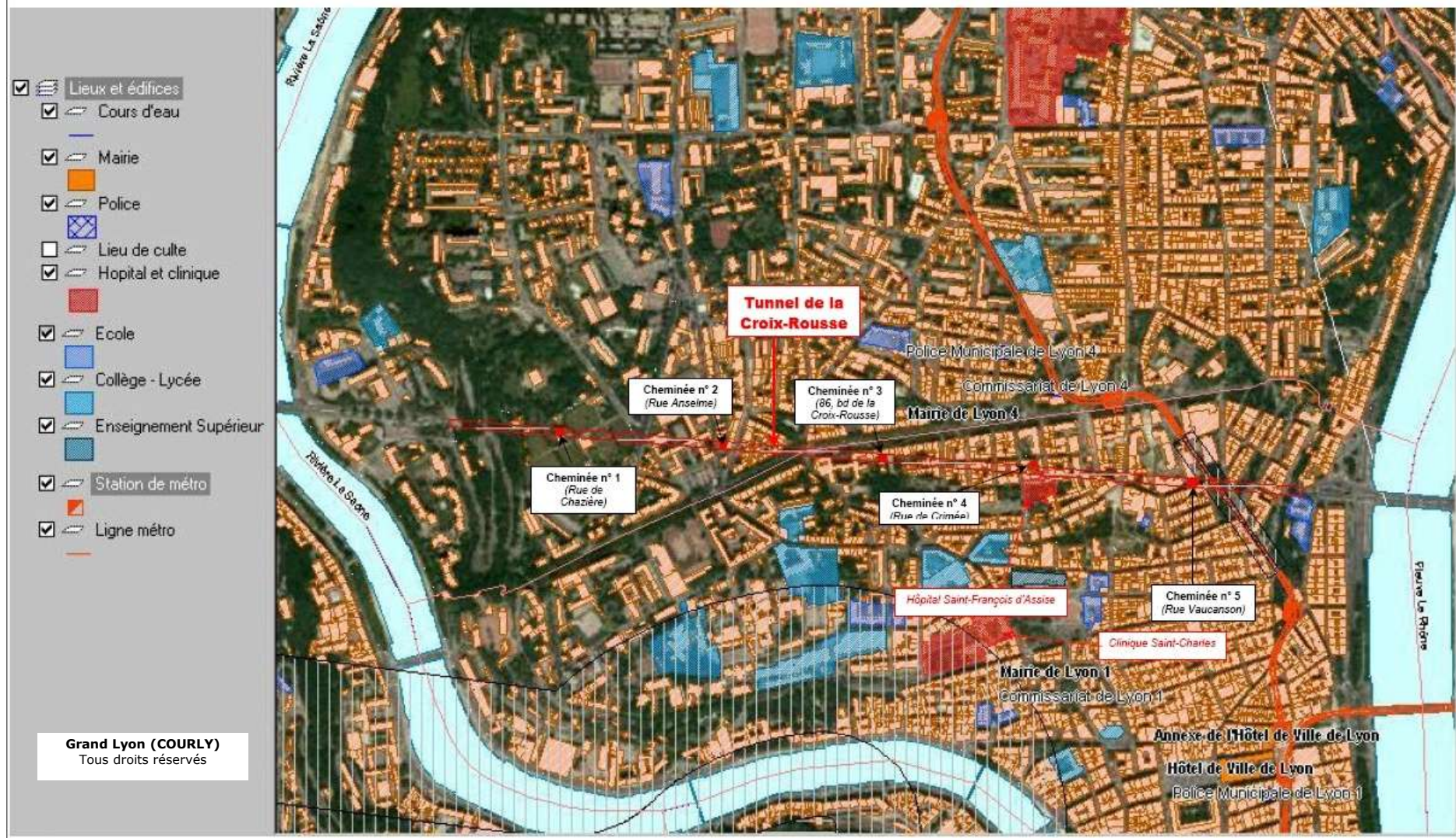
La situation géographique de l'agglomération lyonnaise avec plusieurs reliefs au nord et la présence au sud d'une zone d'activité industrielle importante, contribue à faire de Lyon une ville à l'atmosphère sensible. Même si les vents dominants sont majoritairement orientés sur l'axe nord-sud, les conditions de dispersion des polluants sont influencées par une topographie particulière, avec la présence du Rhône, de la Saône et de nombreuses collines (Croix-Rousse, Fourvière, Sainte-Foy, Côtière de l'Ain...).

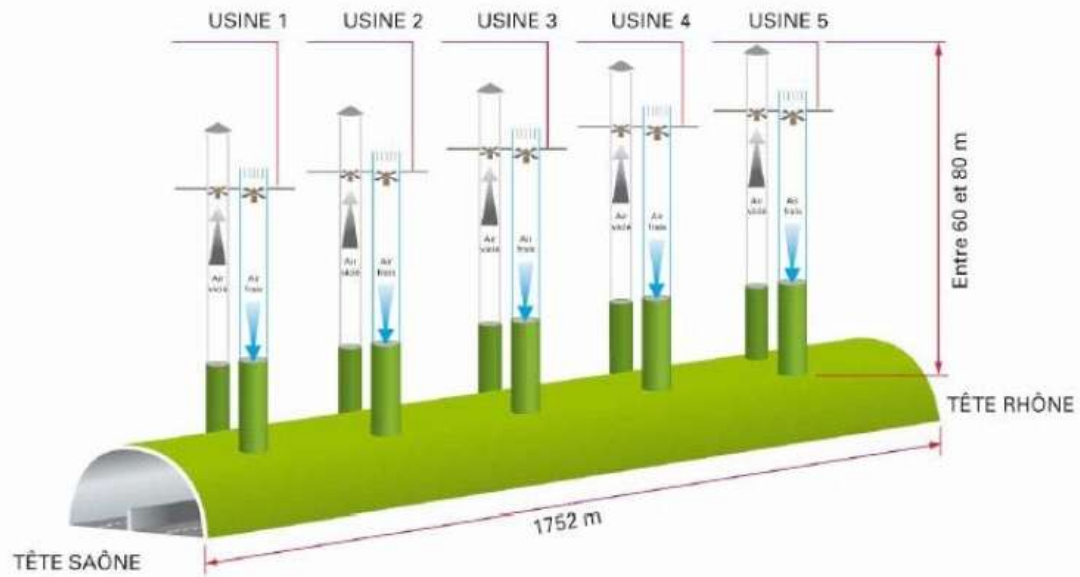
La Croix-Rousse est un quartier historique située au nord de la presqu'île de Lyon, bordée à l'est par le Rhône et à l'ouest par la Saône. L'altitude sur le plateau est en moyenne à 80 m au dessus du centre-ville. La densité de population y est importante (9 437 hab/km² en moyenne), légèrement supérieure à celle de Lyon (9 302 hab/km² en moyenne) et assez hétérogène (comprise entre 5 000 et 40 000 hab/km²). Le secteur ouest du quartier ainsi que les entrées/sorties du tunnel (les « têtes ») se caractérisent par des densités de population bien moindres que le reste de la zone d'étude.

Le tunnel de la Croix-Rousse traverse la colline de part en part, permettant une liaison directe entre le 9^{ème} arrondissement (Vaise) et le 6^{ème} arrondissement, sur un trajet rectiligne de 1752 m de long. L'accès se fait depuis les quais du Rhône ou les quais de Saône. Il se caractérise par un trafic routier sans poids-lourds, accueillant environ 50 000 véhicules par jour. Il possède cinq puits (ou « usines ») de ventilation équidistants, dont les cheminées ressortent sur le plateau à hauteur des toits d'immeubles.

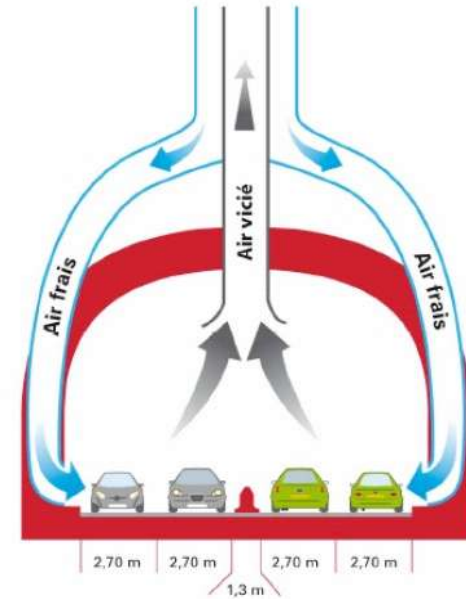


TUNNEL DE LA CROIX-ROUSSE
 IMPLANTATION DES CHEMINEES DE VENTILATION – Représentation générale





**Tunnel de la Croix-Rousse
(coupe longitudinale en perspective)**



**Trafic et aération dans le tunnel (Coupe
transversale)**

3 Matériels et méthode

La méthodologie adoptée pour cette étude (choix des composés, localisation des sites, durée des prélèvements,...) s'appuie sur les travaux habituels de COPARLY pour étudier la qualité de l'air. Des moyens spécifiques ont été déployés pour évaluer l'impact du tunnel et valider les travaux de modélisation.

3.1 Matériels mis en œuvre

➤ Mesures par analyseurs automatiques (NOx, PM₁₀, SO₂, Ozone ...)

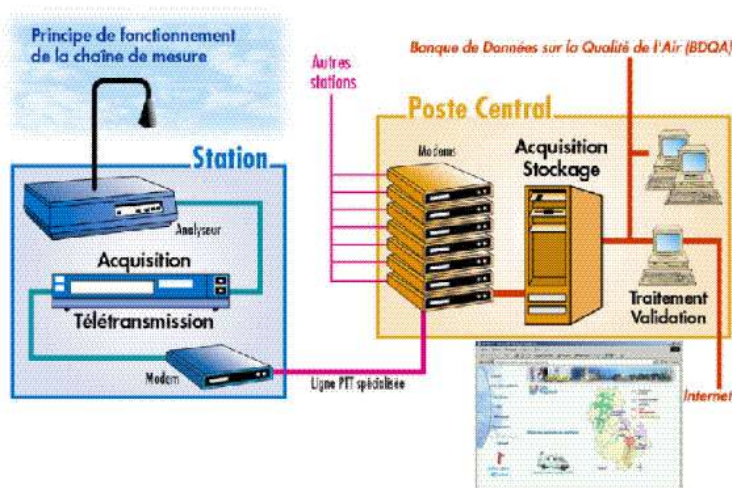
Afin d'estimer l'importance des dépassements de valeurs réglementaires, il est indispensable de disposer de données précises, déclinées dans la mesure du possible sur un pas de temps horaire, comme les mesures réalisées en continu par les analyseurs dans les stations fixes de surveillance de la qualité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



Ces analyseurs permettent de suivre l'évolution des **principaux polluants réglementés**, tels que les oxydes d'azote, le dioxyde de soufre, les poussières ou encore l'ozone, sur une base de temps horaire.

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



Les laboratoires mobiles sont également équipés pour mesurer certains paramètres météorologiques (vitesse et direction du vent, température et hygrométrie). Ces données permettent d'obtenir des informations importantes sur les conditions de dispersion au niveau de la zone de mesure.

➤ Prélèvements (HAP, COV, Aldéhydes et Métaux lourds)

Afin de compléter ce dispositif, les laboratoires mobiles sont également équipés de plusieurs préleveurs, permettant la mesure d'autres polluants :

- **Métaux Lourds** sur filtres à l'aide de préleveurs bas débits
- **HAP¹** sur filtres et mousses à l'aide de préleveurs hauts débits
- **COV²**, dont des composés chlorés, à l'aide de prélèvements actifs (canisters)

Après prélèvement, les analyses sont sous-traitées à des laboratoires agréés. Ce type de prélèvement 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 de fortes concentrations (périodes de pointe, jours de semaine sensibles,...).



Préleveur de COV (Canister)



Préleveur de Métaux Lourds



Préleveur de HAP

➤ Mesures par tubes passifs

En complément de l'échantillonnage temporel effectué avec les instruments de mesures implantés dans les laboratoires mobiles, les mesures par tubes passifs offrent un échantillonnage spatial permettant de réaliser des vues cartographiques de la répartition de plusieurs polluants :

- Le **dioxyde d'azote (NO₂)**
- Certains COV : **Benzène, Toluène, Xylènes (BTX)**
- Certains **Aldéhydes (dont le Formaldéhyde)**

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

Cette méthode, qui présente l'avantage d'être relativement facile à mettre en place et moins onéreuse par rapport aux autres méthodes de prélèvement, donne une concentration moyenne sur plusieurs jours mais sur plusieurs points de mesures plus ou moins espacés.



Tubes passifs NO₂



Tubes passifs BTX ou Aldéhydes

¹ Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

² Composés Organiques Volatils

3.2 Méthodologie pour les mesures

3.2.1 Choix des sites

Deux approches complémentaires ont été envisagées :

- La première approche, basée sur l'utilisation de tubes passifs, apporte une connaissance sur la **répartition spatiale de la pollution moyenne** sur une période de plusieurs jours. Les tubes ont été répartis selon un quadrillage couvrant la zone concernée par l'étude. Les campagnes de mesures répétées sur différentes saisons ont permis une vision qualitative et quantitative des niveaux de polluants primaires (dioxyde d'azote, benzène, toluène, aldéhydes,...).

Afin de répondre aux besoins de la modélisation tout en optimisant les coûts d'analyse, la méthodologie suivante a été retenue pour cette étude :

- Une couverture de la zone avec un maillage dense : 67 sites (dont plus d'une vingtaine répondaient à des demandes spécifiques de la part des Mairies et des associations de riverains,...) aux périodes où les concentrations sont a priori extrêmes (été et hiver)
- et un maillage légèrement réduit : 53 sites (dont les sites spécifiques) aux saisons intermédiaires (printemps et automne).

Les résultats sont présentés à l'aide d'un système d'information géographique (SIG) afin de fournir une cartographie visuelle et explicite de la répartition spatiale de la pollution sur les zones concernées.

- La deuxième approche, basée sur la mesure automatique avec des laboratoires mobiles, permet d'étudier les **variations temporelles** des concentrations de plusieurs polluants sur des pas de temps quart horaires ou horaires (mesure en continu) ou bien sur 24 heures ou 1 semaine (prélèvements).

Deux sites ont été choisis pour réaliser des mesures sous les retombées potentielles des cheminées d'extraction du tunnel (voir plan plus loin) :

- « **Trinitaires** » : dans l'enceinte de l'Ecole Providence des Trinitaires, au pied de la cheminée n°1 (la plus proche de la tête côté Saône)
- « **IUFM_Sud** » : dans l'enceinte de l'IUFM (côté sud - rue de la Tourette), au pied de la cheminée n°3 (cheminée centrale).

Les mesures et prélèvements ont été réalisés durant 8 semaines réparties sur 4 saisons en même temps que les campagnes de mesures par tubes passifs. Les résultats ont été comparés à d'autres stations fixes du réseau de surveillance de COPARLY, et notamment à la station de référence urbaine « Lyon Centre ».

Un troisième laboratoire mobile a été implanté de manière semi-fixe, spécifiquement pour l'étude, pour mesurer le fond urbain sur le plateau de la Croix-Rousse. Ce site de référence pour la zone d'étude (appelé « **IUFM_Nord** ») est resté implanté pratiquement un an, comprenant les 8 semaines de l'étude.

Parallèlement à ces trois sites, des analyseurs d'oxydes d'azote (NO, NO₂) et de monoxyde de carbone (CO) ont été installés dans un local technique pour effectuer des mesures dans le tunnel et dans l'une de ses cheminées.

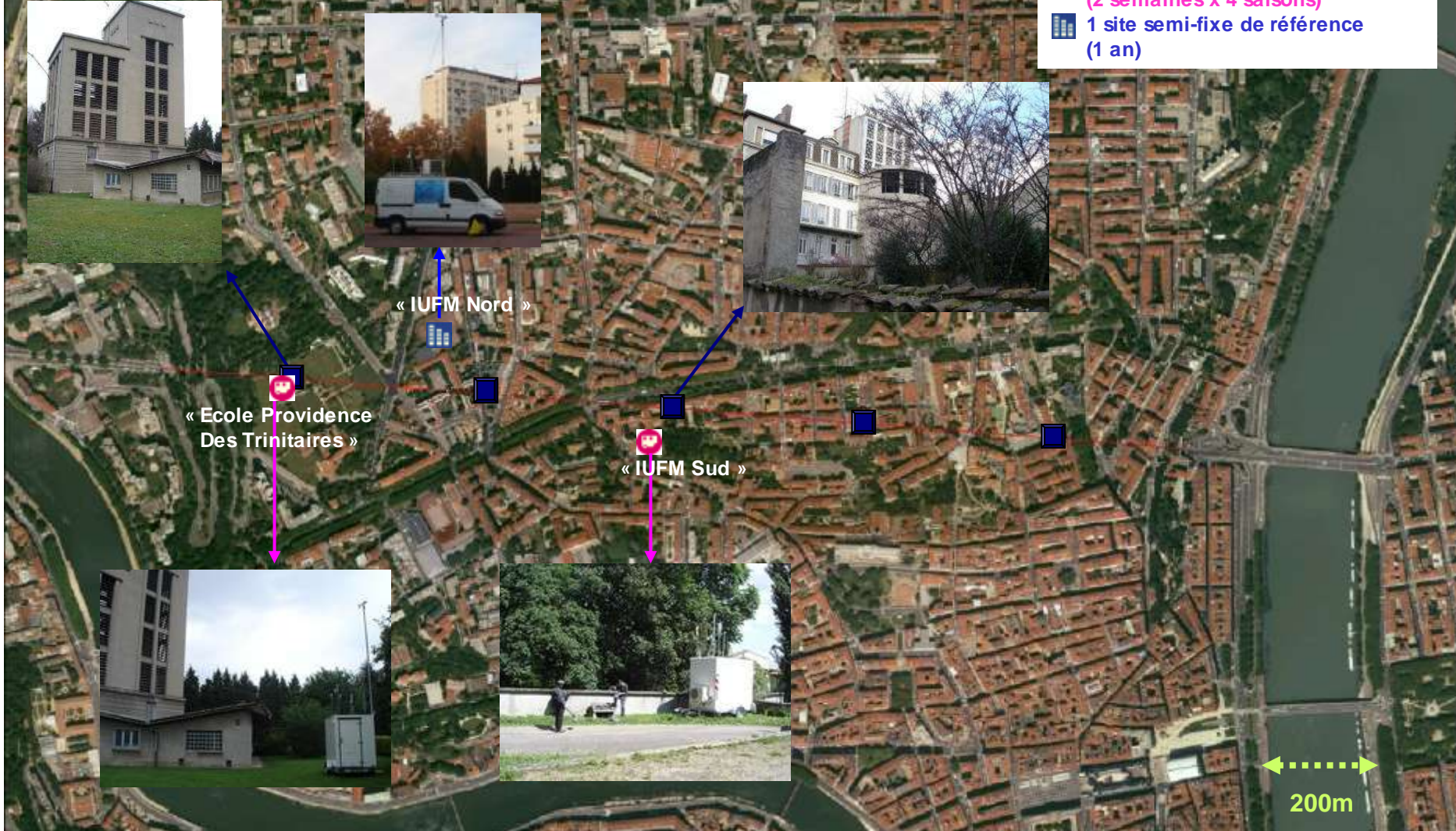
Des appareils de mesure de vitesse et direction de vent ont également été installés dans le tunnel et sur les deux ponts en sortie de tunnel.

Les cartes suivantes présentent les emplacements des sites tubes, ceux des sites mobiles ainsi qu'une vue d'ensemble des stations fixes de référence du réseau de COPARLY.

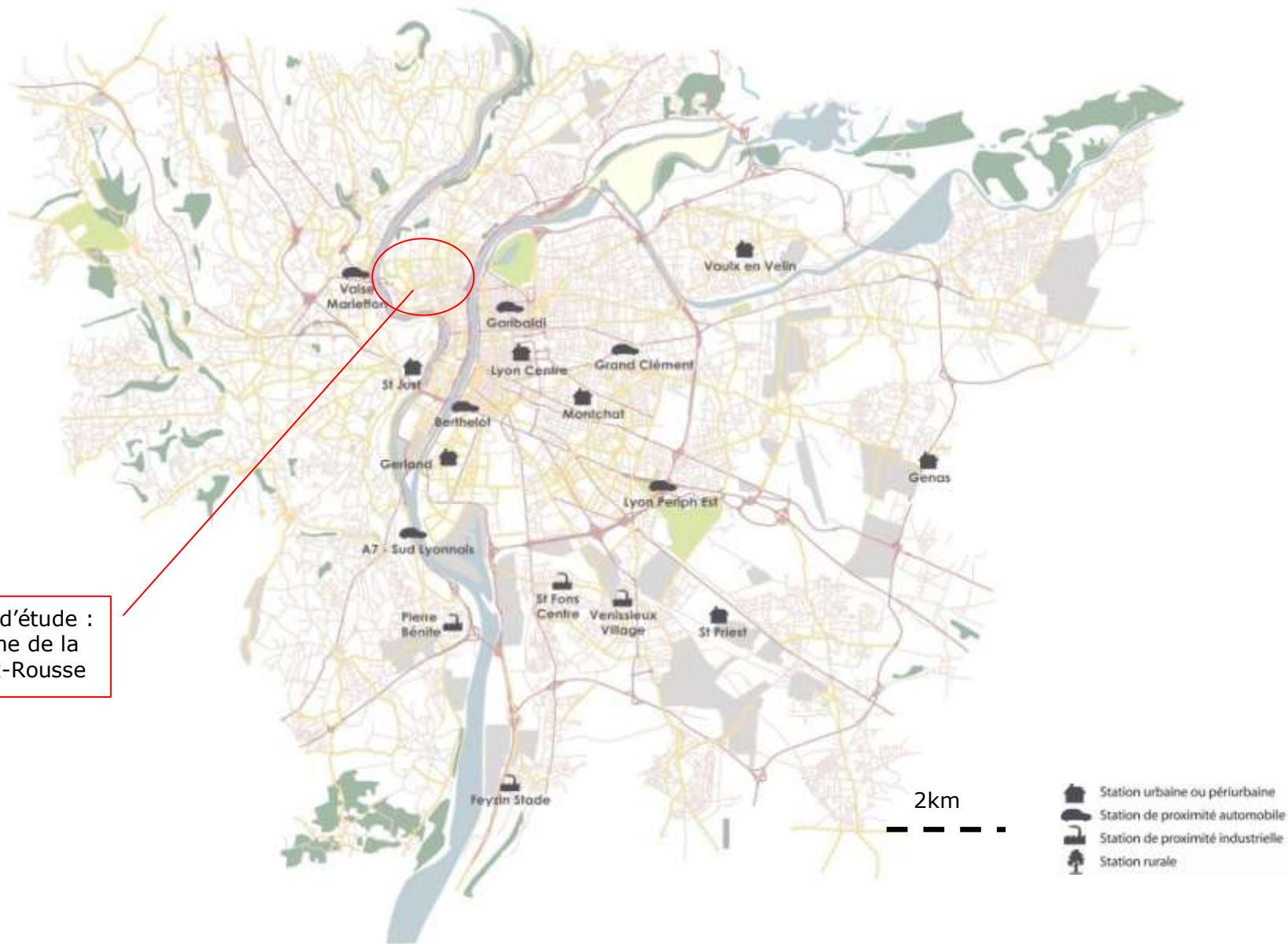
© Mappy

SITES LABORATOIRES MOBILES

- 2 sites laboratoires mobiles
(2 semaines x 4 saisons)
- 1 site semi-fixe de référence
(1 an)



Zone d'étude :
colline de la
Croix-Rousse



STATIONS FIXE DU RESEAU COPARLY (2007)

3.2.2 Choix des polluants mesurés

Les composés retenus pour cette étude ont été principalement des polluants primaires, choisis en fonction de la réglementation et des émissions potentielles du trafic automobile.

Une synthèse des composés mesurés est présentée ci-dessous (la liste détaillée est présentée dans la partie résultats des mesures).

79 polluants mesurés

- ✓ **6** polluants « classiques », dont la plupart sont réglementés : NO, NO₂, SO₂, PM₁₀, CO et Ozone.
- ✓ **6** Métaux Lourds (ML): Arsenic, Cadmium, Nickel, Plomb, Chrome et Zinc
- ✓ **7** Aldéhydes (ALD), dont le Formaldéhyde
- ✓ **19** Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP), dont le Benzo(a)pyrène
- ✓ **41** autres Composés Organiques Volatils (COV):
 - 31 précurseurs de l'ozone, dont le Benzène et le 1,3-Butadiène
 - + 10 composés chlorés

Plusieurs de ces polluants ont une toxicité reconnue par les différents organismes de santé publique.

NB : L'acroléine, initialement prévue dans les composés retenus dans le cadre de cette étude, n'a finalement pas été mesurée. Pour information, les mesures réalisées ponctuellement par COPARLY au cours de ces dernières années, pour d'autres études, mettent en évidence des teneurs en acroléine souvent au-dessous, ou tout juste au-dessus, de la limite de détection.

Les concentrations de ces composés ont été comparées aux normes actuellement en vigueur dans la communauté européenne.

3.2.3 Périodes, durées et représentativité des mesures

Polluants « classiques » (NO_x, SO₂, PM₁₀ et O₃)

14% (8 semaines)

La directive européenne du 22 avril 1999 requiert un minimum de 14% de mesures sur l'année, soit **8 semaines de mesures** également réparties dans l'année pour être représentatives de la qualité de l'air d'un site donné et permettre une **comparaison avec les normes en vigueur**.

Prélèvements (ML, HAP, ALD, COV)

6% à 14%

Dans le cadre de la quatrième directive fille européenne (Directive 2004/107/CE) :

6% : pourcentage minimum annuel de durée de mesure admissible pour une évaluation de la qualité de l'air.

14% : pourcentage minimum requis pour la surveillance des métaux lourds et HAP.

Dans le cadre de cette étude, les huit semaines de mesure ont été réalisées sur **4 périodes de 2 semaines, réparties sur les quatre saisons** et incluant chacune :

- 2 campagnes d'une semaine de mesure par tubes passifs (NO₂, BTX et ALD)
- des mesures en continu avec des analyseurs dans les laboratoires mobiles et dans le tunnel
- 2 prélèvements d'une semaine pour les métaux lourds, ainsi que 6 prélèvements de 24h pour les COV et HAP, dans les laboratoires mobiles

Dans la mesure du possible, les prélèvements ont été réalisés **simultanément sur les deux sites mobiles**, afin de permettre une meilleure étude des corrélations et la comparaison des mesures entre elles.

Le calendrier des campagnes s'est étalé entre 2007 et 2008 :

- 1^{ère} campagne (Printemps) : du 21 mai au 4 juin 2007
- 2^{ème} campagne (Eté) : du 21 août au 4 septembre 2007
- 3^{ème} campagne (Automne) : du 7 novembre au 21 novembre 2007
- 4^{ème} campagne (Hiver) : du 9 janvier au 23 janvier 2008

Tableau récapitulatif des mesures prévues

Mesure	Méthode	Nombre de sites	Durée des mesures	Représentativité sur 1 an
NOx, SO ₂ , PM ₁₀	Analyseurs automatiques (laboratoires mobiles)	2	4 x 2 semaines (56 jours) (mesures en continu sur 4 saisons)	15%
NOx, SO ₂ , PM ₁₀	Analyseurs automatiques (laboratoire semi-fixe)	1	1 an (mesures en continu)	100%
NOx, CO	Analyseurs automatiques (mesures tunnel)	1 dans le tunnel + 1 Cheminée	4 x 2 semaines (56 jours) (mesures en continu sur 4 saisons)	15%
NO ₂	Tubes passifs (1 semaine)	67 ^(*) - hiver et été 53 ^(*) - printemps et automne	8 x 1 semaine (2 campagnes par saison)	15%
BTX	Tubes passifs (1 semaine)	67 ^(*) - hiver et été 53 ^(*) - printemps et automne	8 x 1 semaine (2 campagnes par saison)	15%
ALD	Tubes passifs (1 semaine)	20 ^(**) toutes saisons	8 x 1 semaine (2 campagnes par saison)	15%
COV	Prélèvements (24 h)	2	24 x 24 heures (6 prélèvements par saison)	7%
HAP	Prélèvements (24 h)	2	24 x 24 heures (6 prélèvements par saison)	7%
Métaux Lourds (ML)	Prélèvements (1 semaine)	2	8 x 1 semaine (2 campagnes par saison)	15%

** dont 24 sites répondant à des demandes spécifiques (Direction des tunnels, Mairies, plaintes de riverains,...)*

*** dont 10 sites répondant aux demandes spécifiques*

Les objectifs visés pour cette étude respectent les différentes réglementations. Pour les prélèvements de COV et de HAP, la représentativité plus faible (7% avec 24 prélèvements sur chaque site) peut s'expliquer par des contraintes techniques et budgétaires. Ces mesures sur 24h servaient essentiellement à étudier d'éventuelles hausses de concentrations à proximité des cheminées d'extraction du tunnel. A noter enfin que pour le benzène, seul COV réglementé par une valeur limite, les mesures par tubes passifs fournissent une valeur sur l'ensemble de la zone.

3.3 Matériel et méthode pour la modélisation

3.3.1 Calcul des émissions

L'un des éléments fondamentaux nécessaire pour évaluer l'incidence d'une source de pollution sur l'environnement est la caractérisation précise de ses émissions. Dans ce domaine, COPARLY travaille depuis 2000 sur la réalisation d'un inventaire spatialisé des émissions sur le département du Rhône et la Côte d'Azur de l'Ain. Les collaborations mises en place à ce titre avec des organismes spécialisés dans le transport et la pollution automobile permettent une évaluation précise des émissions des tunnels et la réalisation d'un cadastre fin.

Les émissions ont été estimées sur tout le quartier de la Croix-Rousse et ainsi que dans le tunnel et aux abords du tunnel. Ce travail a nécessité d'une part l'intégration des données de trafic fournies par le Grand Lyon et d'autre part la détermination de la composition du parc roulant sur la zone d'étude en considérant les spécificités liées au tunnel parmi lesquelles l'interdiction du tunnel à certaines catégories de véhicules (poids lourds). Par ailleurs un travail important a été réalisé pour spécifier la répartition du trafic au cours de la journée afin de décrire finement les variations temporelles des émissions.

Le modèle d'émissions développé dans le cadre de cette étude est fondé sur des données de trafic ainsi que la composition du parc roulant. Le modèle intègre aussi les phénomènes de surémissions à froid lors des démarrages. La problématique des surémissions liées aux pentes des voies de circulation est prise en compte pour décrire finement les émissions de la zone d'étude.

Le calcul des émissions prend en compte les données de trafic les plus récentes et un parc roulant représentatif de l'année 2007. Un état prospectif à l'horizon 2013 a été calculé à partir de données de trafic fournies par le Grand Lyon et d'une estimation du parc roulant (données nationales ADEME). Le scénario 2013 étudié intègre la construction du pont Schuman et le développement du quartier de Vaise. Ces données d'émissions ont servi à alimenter les modélisations décrites ci-après.

3.3.2 Modélisation en tête de tunnel et dans les cheminées du tunnel

La modélisation des quantités de polluant émises par les têtes de tunnel et par les cheminées d'aération a été effectuée dans le cadre d'une collaboration avec un bureau d'étude spécialisé dans la modélisation des écoulements en tunnel en fonction des différents régimes de ventilation (FLUID'ALP).

Les émissions horaires dues au trafic automobile dans le tunnel ont été fournies par COPARLY; elles s'appuient sur les comptages automatiques de véhicules à l'intérieur du tunnel et elles prennent en compte l'interdiction des poids lourds à l'intérieur du tunnel. Les données relatives aux ventilations dans les cheminées et les mesures automatiques de monoxyde de carbone et d'opacité ont été fournies par le Grand Lyon. Ces travaux ont permis de définir les variations temporelles des émissions de polluants aux entrées/sorties du tunnel et dans les 5 cheminées. Enfin, les mesures de polluant et de flux d'air réalisées par COPARLY à l'intérieur du tunnel ont permis de valider les travaux de modélisation réalisés par Fluid'Alp.

Les résultats de ces travaux sont décrits dans un rapport spécifique.

3.3.3 Modélisation de l'impact du tunnel sur la pollution atmosphérique

Dans le cadre d'une collaboration avec le Laboratoire de Mécanique des Fluides et d'Acoustique (LMFA) de l'Ecole Centrale de Lyon, un modèle de dispersion de la pollution atmosphérique à l'échelle d'un quartier a été développé et appliqué à une partie de l'agglomération de Lyon (modèle SIRANE). Ce modèle fournit la concentration dans chaque rue d'un quartier, en tenant compte des différentes sources de polluants. Il est aujourd'hui opérationnel avec un fonctionnement en temps réel pour la partie plane de l'agglomération. Les résultats sont calculés heure par heure et diffusés sur le site Internet de COPARLY. (<http://www.atmo-rhonealpes.org> → « Lyon en direct »).

Cette version du modèle ne permet pas son extension à d'autres parties de l'agglomération, en particulier aux zones de relief comme les collines de Fourvière et de Croix-Rousse. Dans le cadre de cette étude, le LMFA a développé les améliorations nécessaires au modèle SIRANE, afin de prendre en compte les zones de relief et d'appliquer le modèle pour étudier l'impact sur la qualité de l'air du tunnel de la Croix-Rousse.

Les résultats obtenus à proximité du tunnel de la Croix-Rousse ont été mis en relation avec le travail réalisé sur le reste de l'agglomération et comparés aux mesures réalisées par COPARLY. Ce travail de modélisation devait notamment tenter d'apporter des informations sur la part de pollution atmosphérique induite sur les zones riveraines par les tunnels en comparaison avec les autres sources d'émissions et les autres quartiers lyonnais.

Pour alimenter le modèle SIRANE, il a été nécessaire de mettre en place une chaîne de modélisation météorologique fine échelle afin de décrire avec une résolution de quelques

centaines de mètres l'écoulement des masses d'air sur le domaine de la Croix-Rousse. L'objectif étant de fournir des champs météorologiques toutes les heures pour les périodes simulées.

A l'heure actuelle, il n'existe pas de modèle météorologique de type "pronostique", c'est-à-dire proposant une résolution complète des équations de la mécanique des fluides, qui permettent de modéliser un écoulement avec une résolution de quelques centaines de mètres dans un délai raisonnable. COPARLY a donc utilisé le modèle "diagnostique" CALMET qui utilise une interpolation de données météorologiques mesurées ou modélisées sur un maillage fin pour modéliser la météorologie sur l'agglomération de Lyon. Ce modèle s'inscrit dans une logique d'imbrication de modèles : les données d'un modèle météorologique à l'échelle régionale sont utilisées pour calculer les champs météorologiques locaux. Les résultats du modèle météorologique ont été comparés aux mesures des capteurs de vitesse et de température installés pendant les campagnes de mesures sur les ponts du Rhône et de la Saône à proximité des têtes de tunnel. Ces comparaisons ont permis de valider la méthode mise en œuvre.

A partir de cette modélisation, trois états de qualité de l'air ont pu être calculés : un état de base en 2007 et deux états prospectifs pour l'horizon 2013, s'appuyant sur deux scénarii :

- l'un appelé « 2013, au fil de l'eau », prenant en compte uniquement les émissions estimées du parc roulant et des modifications de voirie pour 2013.
- l'autre appelé « 2013, tunnel rénové », tenant compte des évolutions attendues avec le projet de rénovation du tunnel de la Croix-Rousse prévu par le Grand Lyon.

Une synthèse de ces résultats est présentée à la fin du présent rapport.

3.4 Seuils réglementaires à respecter

La réglementation française pour l'air ambiant s'appuie principalement sur des directives européennes, transcrites ensuite en droit français, qui font intervenir les notions d'objectif de qualité de l'air (valeur guide ou cible), de valeur limite, ou encore de seuils d'information ou d'alerte.

A noter que ces valeurs sont régulièrement réévaluées pour prendre en compte les résultats des études épidémiologiques.

Objectif de qualité (noté aussi Valeur guide ou Valeur cible)

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

Valeur Limite et valeur cible

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.

Seuils d'information et d'alerte

Niveau de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine ou de dégradation de l'environnement et à partir duquel une information à la population doit être donnée (seuil d'information) ou bien même des mesures d'urgence doivent être prises (seuil d'alerte).

Pour les polluants « classiques », il existe plusieurs valeurs, calculées sur des pas de temps différents (moyennes annuelles, journalières ou horaires). Elles sont fixées par les directives filles de la directive européenne 96/62/CE du 27 septembre 1996 concernant l'évaluation et la gestion de la qualité de l'air ambiant, transcrites en droit français.

Pour exemple, le tableau ci-dessous présente des valeurs à respecter en moyenne annuelle. Les autres valeurs sont présentées pour chaque polluant dans la partie résultats de mesures.

POLLUANTS	VALEUR ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	TYPE
Dioxyde de soufre (SO_2)	< 20 < 50	Valeur limite (pour la protection des végétaux) Objectif de qualité
Dioxyde d'azote (NO_2)	< 40 < 46	Objectif de qualité et valeur limite en 2010 Valeur limite en 2007
Poussières (PM_{10})	< 30 < 40	Objectif de qualité Valeur limite
Ozone (O_3)	< 40	Valeur limite (pour la protection des matériaux)

Pour les autres polluants, en revanche, même si plusieurs composés ont une toxicité reconnue pour la santé, il n'existe que très peu de valeurs réglementaires.

Certains sont réglementés notamment par la quatrième directive fille européenne 2004/107/CE, qui fixe des valeurs limites ou valeurs cibles pour les métaux lourds et les

HAP. D'autres ne possèdent que des valeurs guides, préconisées par des organismes de santé publique comme l'OMS¹ ou l'AFSSET².

Les tableaux suivants présentent toutes les valeurs recensées sur l'ensemble des composés mesurés dans cette étude :

Valeurs Réglementaires METAUX LOURDS (ng.m ⁻³)		Arsenic	Cadmium	Nickel	Plomb	Manganèse	Vanadium
Valeur limite ou cible - Long Terme (Directives)	(Moy. 1an)	6	5	20	500		
Objectif QA ou Valeur Guide - Long Terme (OMS)	(Moy. 1an)		5		250	150	
Valeur guide - Court Terme (OMS)	(Moy. 24h)						1000

Valeurs Réglementaires HAP (ng.m ⁻³)		Benzo(a)pyrène
Valeur cible - Long Terme (2012 Directives)	(Moy. 1an)	1

Valeurs Réglementaires ALDEHYDES (µg.m ⁻³)		Formaldéhyde
Val Guide Air Intérieur - Long Terme (AFSSET)	(Moy. 1an)	10
Val Guide Air Intérieur - Court Terme (AFSSET)	(Moy. 2h)	50

Valeurs Réglementaires COV (µg.m ⁻³)		1,3-Butadiène	Benzène	Toluène	Dichlorométhane	1,2-Dichloroéthane	Tétrachloroéthylène
Valeur limite ou cible - Long Terme (Directives)	(Moy. 1an)		5				
Objectif QA (Roy.Uni) ou Valeur Guide (OMS) - Long Terme	(Moy. 1an)	2,25	2				250
Valeur guide - Moyen Terme (OMS)	(Moy. 7j)			260	450		
Valeur guide - Court Terme (OMS)	(Moy. 24h)				3000	700	

¹ Organisation Mondial de la Santé

² Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail

4 Représentativité des mesures

4.1 Taux de fonctionnement et de représentativité annuelle

➤ Analyseurs en continu

Site	Nb total de jours de mesures	Représentativité sur 1 an (%)	Taux de fonctionnement des analyseurs sur les 4 périodes (8 semaines)				
			NOx	SO ₂	PM ₁₀	O ₃	CO
Trinitaires	81	22%	93%	90%	92%	93%	-
IUFM_Sud	72	20%	85%	86%	94%	94%	-
IUFM_Nord	315	87%	94%	76%	98%	87%	-
Tunnel	252	69%	92%	-	-	-	83%
Cheminée 3	245	67%	83%	-	-	-	80%

Les taux de représentativité des mesures en continu sont nettement supérieurs à l'objectif de 14% fixé par la Directive Européenne, ce qui permet donc une **bonne comparaison des valeurs mesurées vis-à-vis des valeurs réglementaires**.

➤ Prélèvements

SITE	Statistique	Métaux Lourds ML (1 semaine)	Hydrocarbures HAP (24h)	Composés Organiques Volatils COV (24h)
Trinitaires	Nombre d'analyses / Nombre de prélèvements	8 / 8	24 / 24	24 / 24
	Taux de Fonctionnement	100 %	100 %	100 %
	% représentativité / an	15%	7%	7%
IUFM_Sud	Nombre de prélèvements	8 / 8	24 / 24	22 / 24
	Taux de Fonctionnement	100 %	100 %	92 %
	% représentativité / an	15%	7%	6%

Le nombre de prélèvements réalisés sur chacun des sites est bien **conforme aux objectifs visés pour cette étude** et à la Directive 2004/107/CE (taux de représentativité entre 6% et 14%).

➤ Tubes Passifs

Sur les 8 semaines de mesures, certains tubes n'ont pas pu être analysés en raison de leur disparition ou de leur détérioration. Le tableau ci-dessous résume le nombre de tubes qui ont été analysés sur l'ensemble des 8 campagnes de mesures :

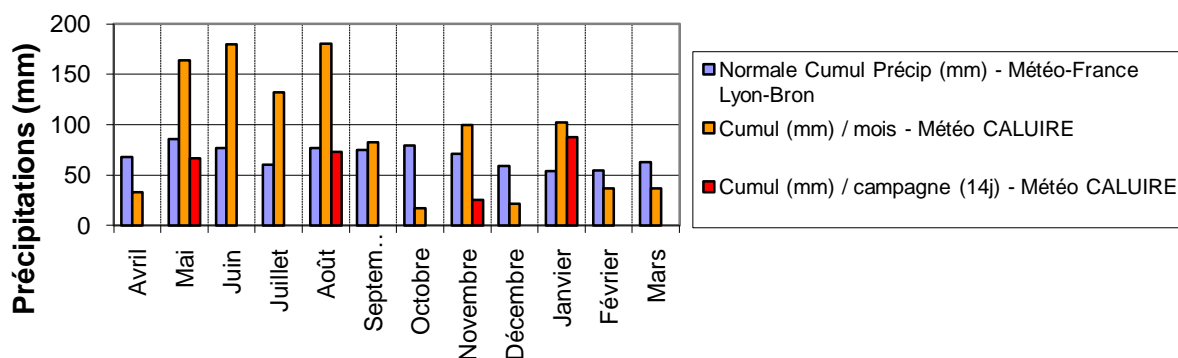
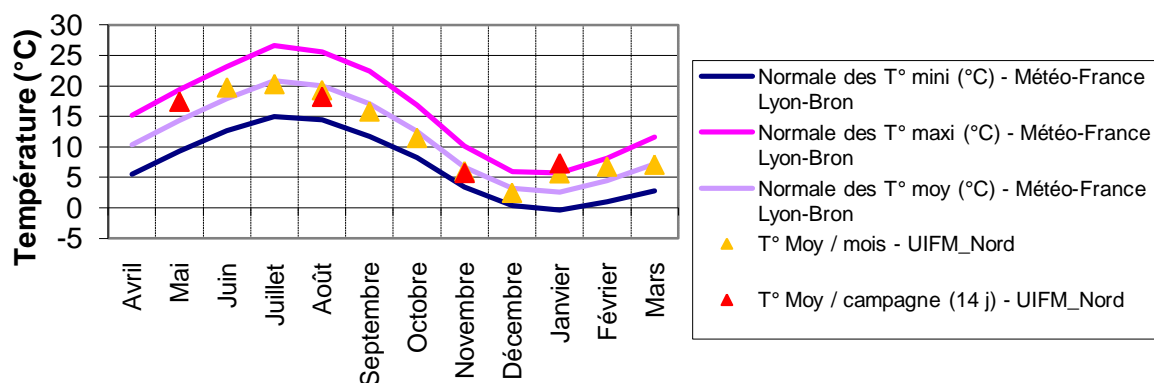
Saison	Campagne	Date Début	Date Fin	Nombre de tubes analysés / Nombre total de sites		
				Tubes NO2	Tubes BTX	Tubes ALD
Printemps	1a	21/05/2007	28/05/2007	53 / 53	52 / 53	17 / 20
	1b	28/05/2007	04/06/2007	53 / 53	48 / 53	19 / 20
Eté	2a	21/08/2007	28/08/2007	65 / 67	61 / 67	18 / 20
	2b	28/08/2007	04/09/2007	67 / 67	64 / 67	19 / 20
Automne	3a	07/11/2007	14/11/2007	53 / 53	53 / 53	19 / 20
	3b	14/11/2007	21/11/2007	53 / 53	48 / 53	19 / 20
Hiver	4a	09/01/2008	16/01/2008	66 / 67	58 / 67	20 / 20
	4b	16/01/2008	23/01/2008	65 / 67	61 / 67	19 / 20
Nb TOTAL d'analyses / Nb TOTAL d'exposition (Taux de fonctionnement global)				475 / 480 (99%)	445 / 480 (93%)	150 / 160 (94%)
% Global de représentativité annuelle (= Taux de fonctionnement x 8 sem. / 52 sem.)				15,2%	14,3%	14,4%

4.2 Représentativité vis-à-vis des conditions météorologiques

4.2.1 Températures, précipitations et normales saisonnières

Les concentrations maximales des polluants primaires sont généralement observées durant la période hivernale, où les conditions climatiques sont souvent moins favorables à la dispersion (faibles précipitations, inversions de température,...).

Les graphes ci-dessous présentent les températures et précipitations sur la zone de la Croix-Rousse, enregistrées entre janvier 2007 et mars 2008 (données des campagnes de mesures et données mensuelles); elles sont comparées aux normales saisonnières calculées sur la station de référence Météo-France « Lyon-Bron »¹.



Sur 2007, les saisons de printemps et d'été ont connu de nombreuses périodes pluvieuses (de mai à août), avec des précipitations plus élevées que les normales saisonnières. Les campagnes correspondantes ont enregistré, en seulement deux semaines, autant de pluie que les normales sur un mois.

La campagne d'automne a, quant à elle, connu moins de précipitations que la normale et que l'ensemble du mois.

Les températures, en revanche, se sont situées dans les normales de saison dans la considération de l'ensemble des 3 campagnes.

La campagne hivernale se caractérise à l'image du mois de janvier 2008 au cours duquel elle a été menée, par des températures plus douces et des précipitations plus importantes que les normales saisonnières.

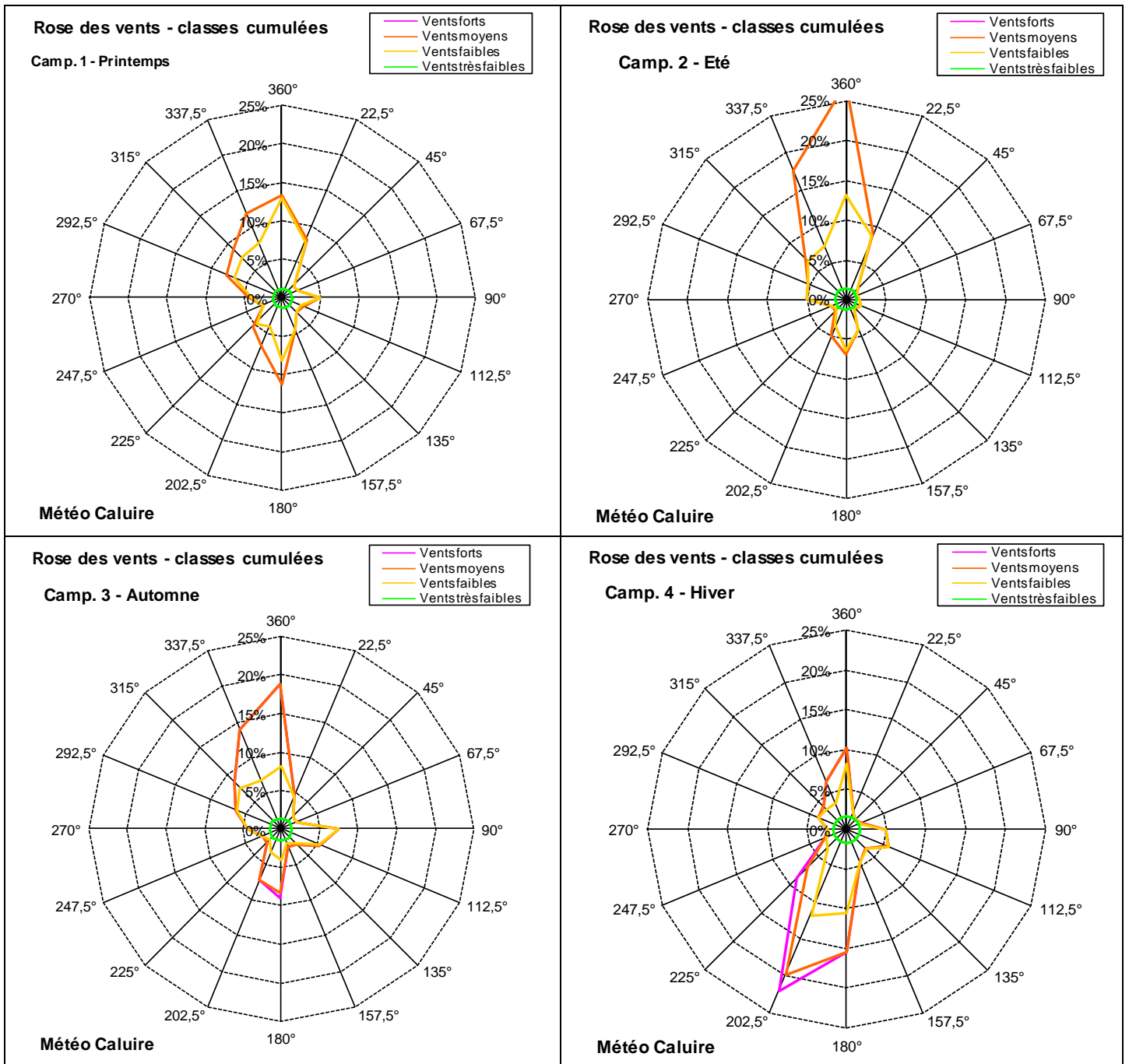
Durant les 8 semaines de mesures, les conditions climatiques n'ont donc pas été tout à fait représentatives des quatre saisons. Ceci n'a pas entraîné pour autant de conséquences trop importantes sur la représentativité annuelle des mesures (voir ci-après).

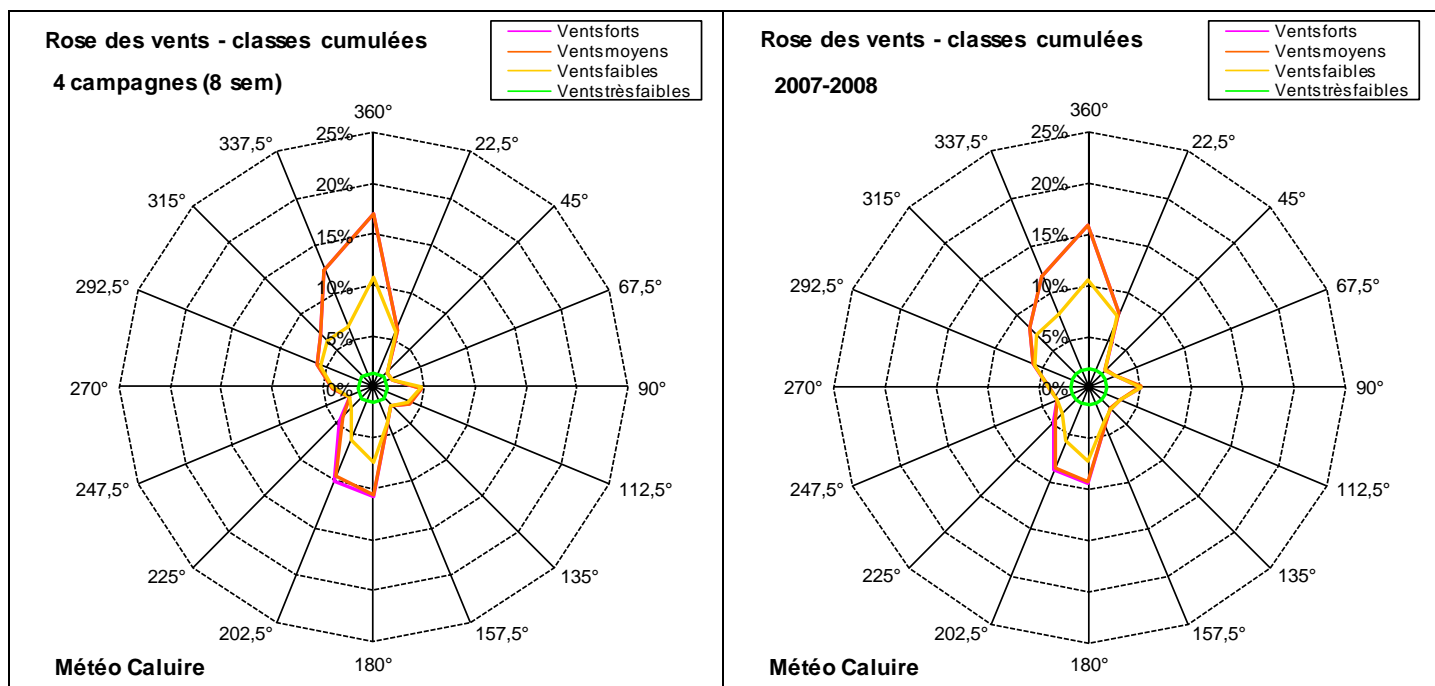
¹ Statistiques calculées sur les 30 dernières années (de 1970 à 2000)

4.2.2 Roses des vents

Les graphes suivants comparent les roses des vents pour les 4 saisons, puis celle sur l'ensemble des 8 semaines de mesures avec la rose des vents sur une année complète. Les mesures prises pour référence proviennent de la station météorologique de COPARLY, située à Caluire (au Nord-Est de la colline de la Croix-Rousse), avec les classes de vents suivantes :

- Vents très faibles : $< 1 \text{ m.s}^{-1}$ (représentés sur un cercle car sans direction privilégiée)
- Vents faibles : $[1 \text{ m.s}^{-1} ; 3 \text{ m.s}^{-1}[$
- Vents moyens : $[3 \text{ m.s}^{-1} ; 6 \text{ m.s}^{-1}[$
- Vents forts : $> 6 \text{ m.s}^{-1}$





La rose des vents pour la période de printemps a été similaire à celle observée sur l'ensemble de l'année. Les saisons d'été et d'automne ont connu des vents provenant plutôt du nord, alors que durant la campagne hivernale, les vents ont soufflé majoritairement sous un flux de sud-sud-ouest, avec quelques périodes de vents forts. Même si les 4 saisons ont connu des situations de vents assez différentes, la rose des vents sur l'ensemble des 8 semaines est très proche de celle calculée sur l'année complète, ce qui indique une bonne représentativité météorologique des campagnes de mesures.

4.2.3 Représentativité des mesures vis-à-vis des variations saisonnières

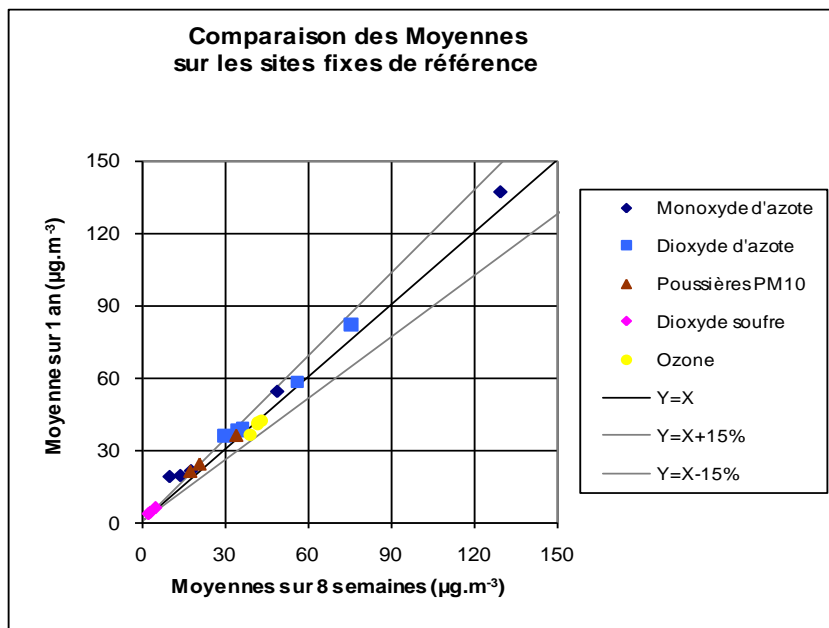
Les sites fixes des réseaux de surveillance, par rapport aux laboratoires mobiles, offrent des mesures en continu tout au long de l'année.

Sur ces sites, il est donc possible de comparer la moyenne sur les 4 périodes de mesures (moyenne partielle sur 8 semaines) à la moyenne annuelle réelle (moyenne sur 4 saisons entourant les campagnes).

La comparaison de ces deux moyennes sur des sites de typologies différentes (avec par conséquent, des concentrations moyennes différentes) permet ainsi d'estimer la représentativité des campagnes de mesure vis-à-vis des variations saisonnières (et donc climatiques).

Les sites ayant servi à la comparaison sont :

Site	[Typologie]
IUFM_Nord	[Urbain]
Lyon-Centre	[Urbain]
St-Just	[Urbain]
Vaise-Marietton	[Trafic]
La Mulatière	[Trafic]



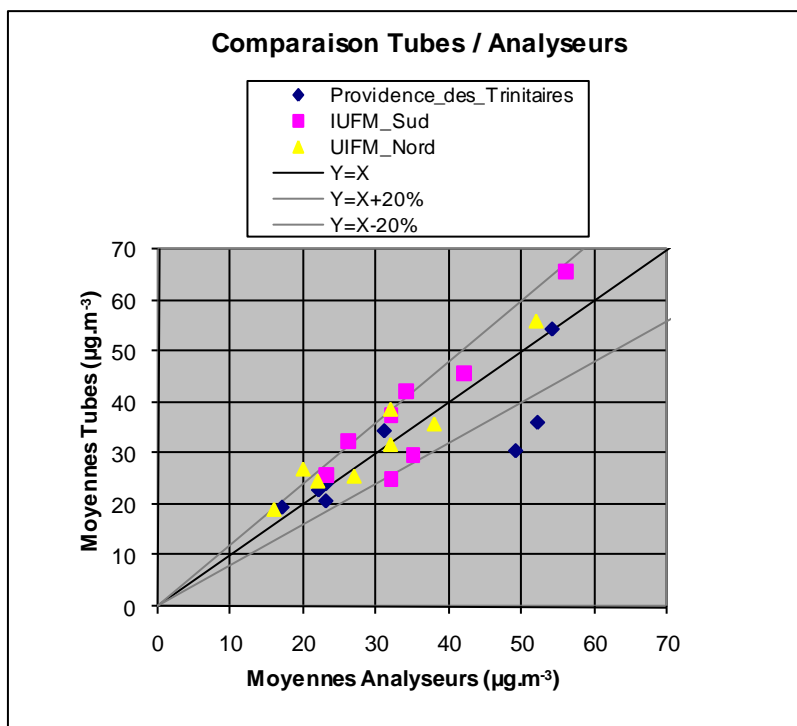
Ce graphe montre que, pour la plupart des polluants, la moyenne annuelle réelle est légèrement supérieure à la moyenne calculée sur les 8 semaines de mesures.

Ceci peut s'expliquer en grande partie par les conditions climatiques (cf. paragraphe précédent). En effet, l'été 2007 a été relativement pluvieux et la dernière campagne en janvier 2008 a été plutôt douce en températures et par conséquent moins représentative d'une saison hivernale. Les concentrations les plus élevées ont été observées seulement à partir de la dernière semaine de mesure.

Néanmoins, la représentativité de ces 8 semaines de mesures reste satisfaisante, puisque l'écart vis-à-vis de la moyenne réelle est inférieur ou égal à 15% (mis à part pour le monoxyde d'azote en fond urbain).

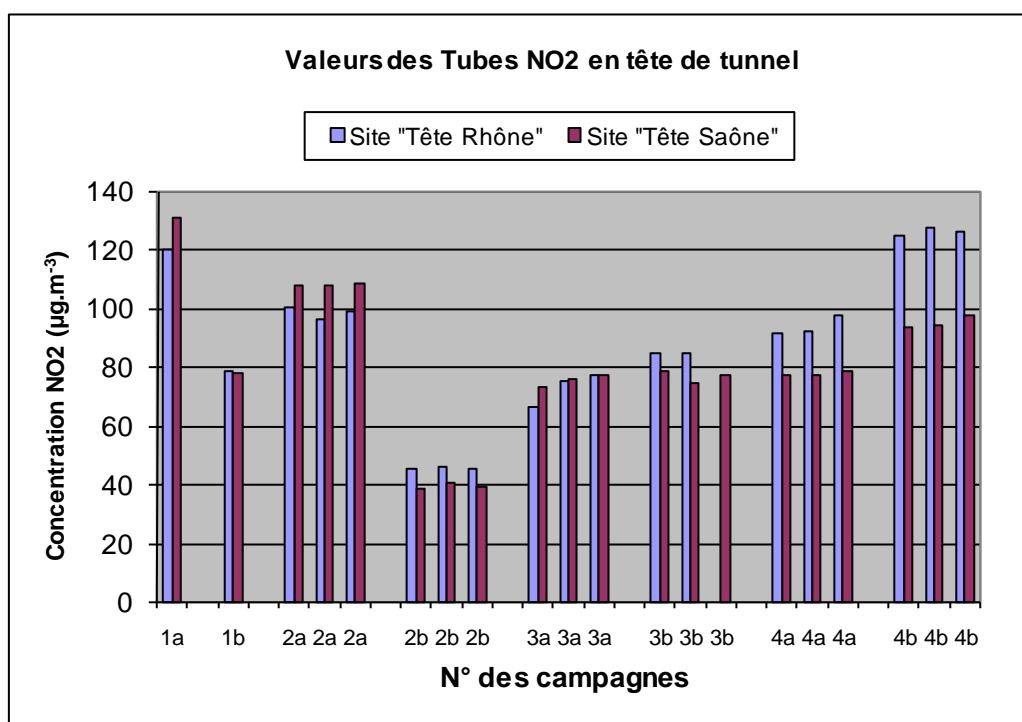
Concernant les mesures par tubes passifs, la représentativité a été étudiée en comparant les résultats des tubes et des analyseurs pour le NO₂, sur les 3 sites où la comparaison était possible et pour les 8 campagnes d'une semaine de mesure.

La dispersion des points est plus grande, mais la représentativité reste dans une limite de 20% satisfaisante (graphe ci-après).



Les deux seuls points vraiment en dehors des 20% correspondent à la campagne d'automne sur le site des « Trinitaires ». En effet, la moyenne de l'analyseur de NO_2 sur ce site a été plus élevée que les tubes pour les deux semaines de cette saison, ceci en raison de plusieurs pointes horaires observées sur l'analyseur (cf. résultats des mesures en continu). Néanmoins, les valeurs des tubes sur ces deux points étant cohérentes avec les autres sites voisins, ils ont été pris en compte dans les résultats de mesures.

Afin de vérifier également la répétabilité de la mesure par tubes passifs, les 2 sites en tête de tunnel ont été équipés à partir de la 2^{ème} campagne avec 3 tubes. Le graphe suivant montre que cette répétabilité est très bonne.



Il est à noter que **le tunnel de la Croix-Rousse a été totalement fermé du 30/08/07 au 29/09/07**, durant la deuxième semaine de la campagne d'été (pour des raisons techniques ; voir ci-après).

Ceci a eu un effet observable, notamment sur les mesures par tubes passifs du dioxyde d'azote, avec une baisse significative des niveaux sur les sites les plus proches des accès au tunnel (voir graphe ci-dessus, campagne 2b), mais aussi sur l'ensemble de la zone de la Croix-Rousse.

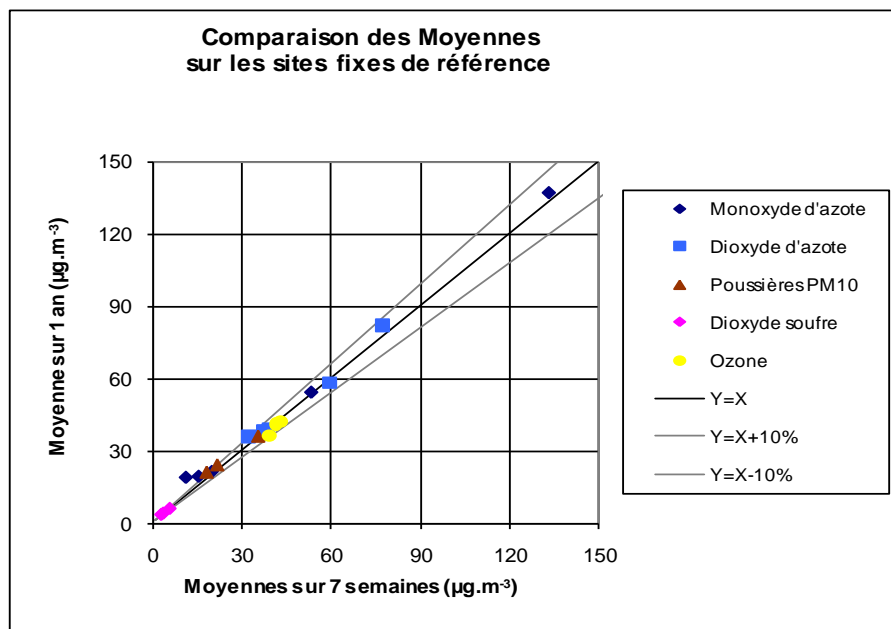
Sur la colline de la Croix-Rousse, les trois sites de mesure en continu ont également observé une légère baisse en oxydes d'azote et particules PM₁₀.

En revanche, aucun effet notable n'a été constaté durant cette période sur les niveaux des autres polluants mesurés par prélèvements (Métaux lourds, HAP, COV).

Comme les autres stations de référence sur l'agglomération lyonnaise ont également présenté une baisse des concentrations en oxydes d'azote, celle-ci semble devoir être mise en relation avec les conditions climatiques de cette fin de saison estivale, plutôt que du fait de la fermeture du tunnel.

Néanmoins, **il a été décidé de ne pas prendre en compte la semaine de mesure en question (campagne 2b) pour le calcul des moyennes annuelles des polluants mesurés avec les analyseurs et les tubes passifs**, afin que cet incident à caractère exceptionnel n'influence pas les résultats de l'étude.

Ceci a pour conséquence d'augmenter légèrement la moyenne partielle (sur 7 semaines au lieu de 8 semaines), mais celle-ci se rapproche ainsi de la moyenne réelle annuelle, notamment pour les oxydes d'azote. L'écart entre les deux moyennes devient alors globalement inférieur à 10%.



Pour les polluants mesurés par prélèvements (sur 24h ou 7 jours), la moyenne sur 8 semaines a été conservée, pour ne pas réduire le taux de représentativité et car la différence entre la moyenne sur 7 ou 8 semaines est très faible.

4.2.4 Liste de dates de fermetures du tunnel

Ci-dessous la liste de dates de fermeture du tunnel fournie par le Service de gestion des tunnels de la Direction de la Voirie du Grand Lyon.

- du 14/05/07 22h au 15/05/07 6h : fermeture totale pour travaux d'entretien
- du 15/05/07 22h au 16/05/07 6h : fermeture totale pour travaux d'entretien
- du 25/06/07 22h au 26/06/07 6h : fermeture totale pour travaux d'entretien
- du 26/06/07 22h au 27/06/07 6h : fermeture totale pour travaux d'entretien
- le 21/06/07 fermeture totale pendant 36h à partir de 11h (panne ventilation)
- du 18/07/07 22h au 19/07/07 6h : fermeture totale pour travaux d'entretien
- du 30/07/07 22h au 31/07/07 6h : fermeture totale pour travaux d'entretien
- le 02/08/07 de 9h54 à 11h07 : fermeture sens Rhône > Saône pour accident
- **du 30/08/07 au 29/09/07** : fermeture totale pour panne moteur
- du 2/11/07 21h au 3/11/07 22h : fermeture totale pour travaux maintenance
- du 26/11/07 22h au 27/11/07 6h : fermeture totale pour d'entretien
- du 27/11/07 22h au 28/11/07 6h : fermeture totale pour d'entretien
- du 3/12/07 22h au 3/12/07 6h : fermeture totale pour exercice sécurité
- le 5/11/07 de 22h34 à 0h50 : fermeture sens Rhône > Saône pour accident
- les 17, 18, 19, 20, 24 et 25 décembre 2007 de 5h à 7h : fermeture totale pour enlèvement de stalactites.
- les nuits du 7 au 10 janvier 2008 de 22h à 6h : fermeture totale pour relevé topographique
- les nuits du 21 au 24 janvier 2008 de 22h à 6h : fermeture totale pour relevé topographique

5 Résultats des mesures par tubes passifs

5.1 Dioxyde d'azote (NO₂)

Les 3 cartes géo-référencées qui suivent présentent les concentrations en moyenne annuelle (moyenne sur 7 semaines) pour le dioxyde d'azote (NO₂) ainsi que les résultats pour les 2 semaines de la campagne estivale (campagne n°2). Les fonds de cartes incluent également le calcul des émissions en oxydes d'azote (NO_x) sur chaque artère de trafic de la zone d'étude.

Les moyennes en dioxyde d'azote sur 7 semaines de mesure sont comprises entre 31 µg.m⁻³ et 97 µg.m⁻³.

Les valeurs les plus élevées ont été mesurées sur les deux sites placés directement aux têtes de tunnel, côté Rhône et côté Saône. En s'éloignant de ces deux points extrêmes (avenue Birmingham, place Chazette,...), les niveaux baissent rapidement et sensiblement (de -20% à -50%), mais dépassent tout de même l'objectif de qualité de 40 µg.m⁻³ en moyenne annuelle et même sur certains points la valeur limite (46 µg.m⁻³ pour 2007 ; 44 µg.m⁻³ pour 2008). A proximité des autres axes routiers, les moyennes dépassent également l'objectif de qualité de l'air.

Sur les sites plus éloignés des axes principaux, représentatifs du fond urbain du quartier de la Croix Rousse, les moyennes sont comprises entre 30 µg.m⁻³ et 50 µg.m⁻³. Les niveaux sont plus élevés sur la moitié Est de la zone d'étude que sur la moitié Ouest, en lien avec les densités de population respectives de chacune des zones (voir § zone géographique de l'étude).

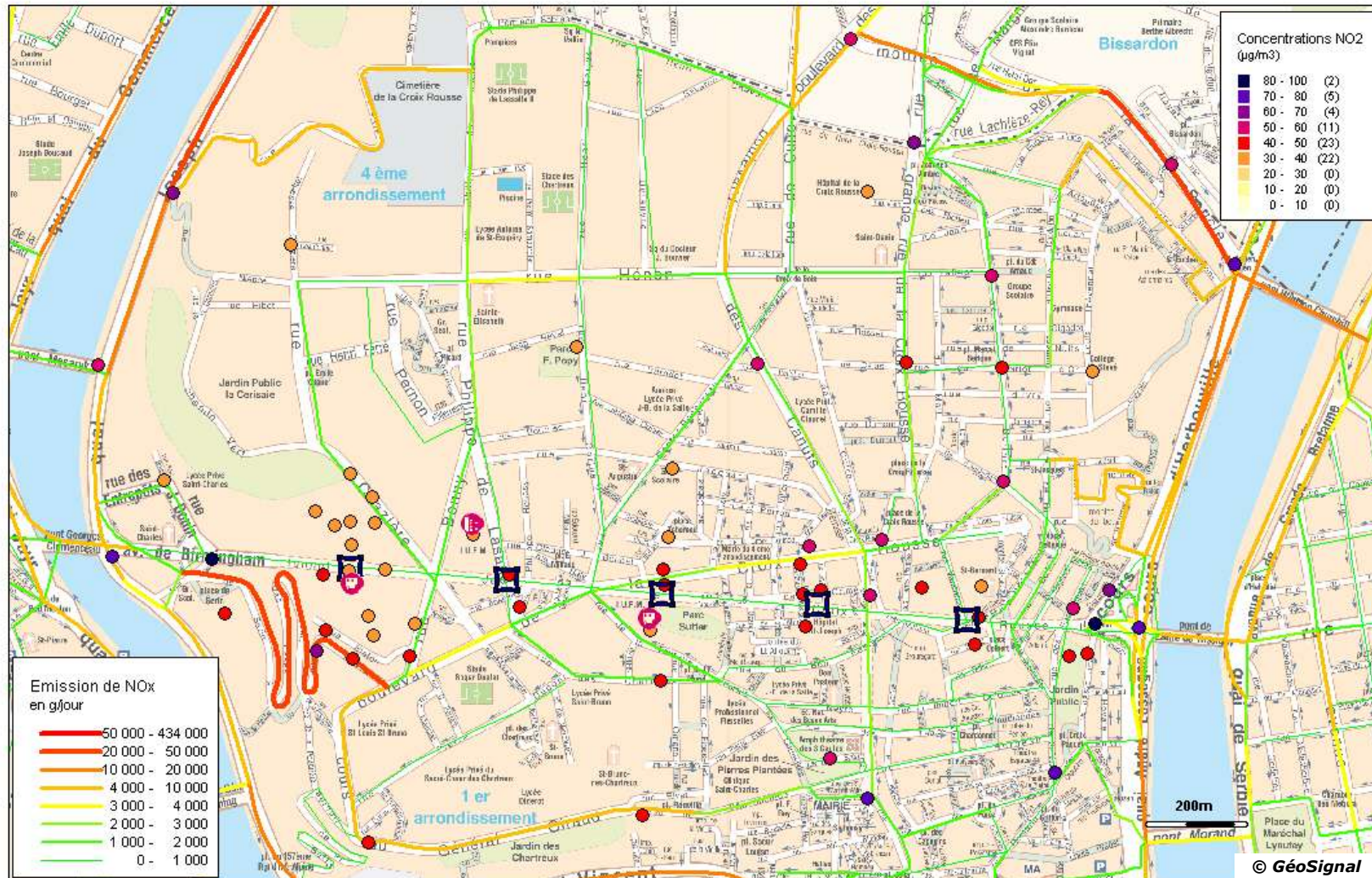
Les mesures réalisées à proximité des cheminées montrent des moyennes comparables aux niveaux de fond urbain du secteur. Elles ne portent pas de signature particulière pouvant être liée aux émissions de ventilation du tunnel.

Les deux dernières cartes montrent que pour la deuxième semaine, au milieu de laquelle la fermeture du tunnel est devenue effective pour une période d'un mois environ¹, les niveaux ont significativement baissé, non seulement autour des entrées/sorties du tunnel, mais également sur l'ensemble des autres sites.

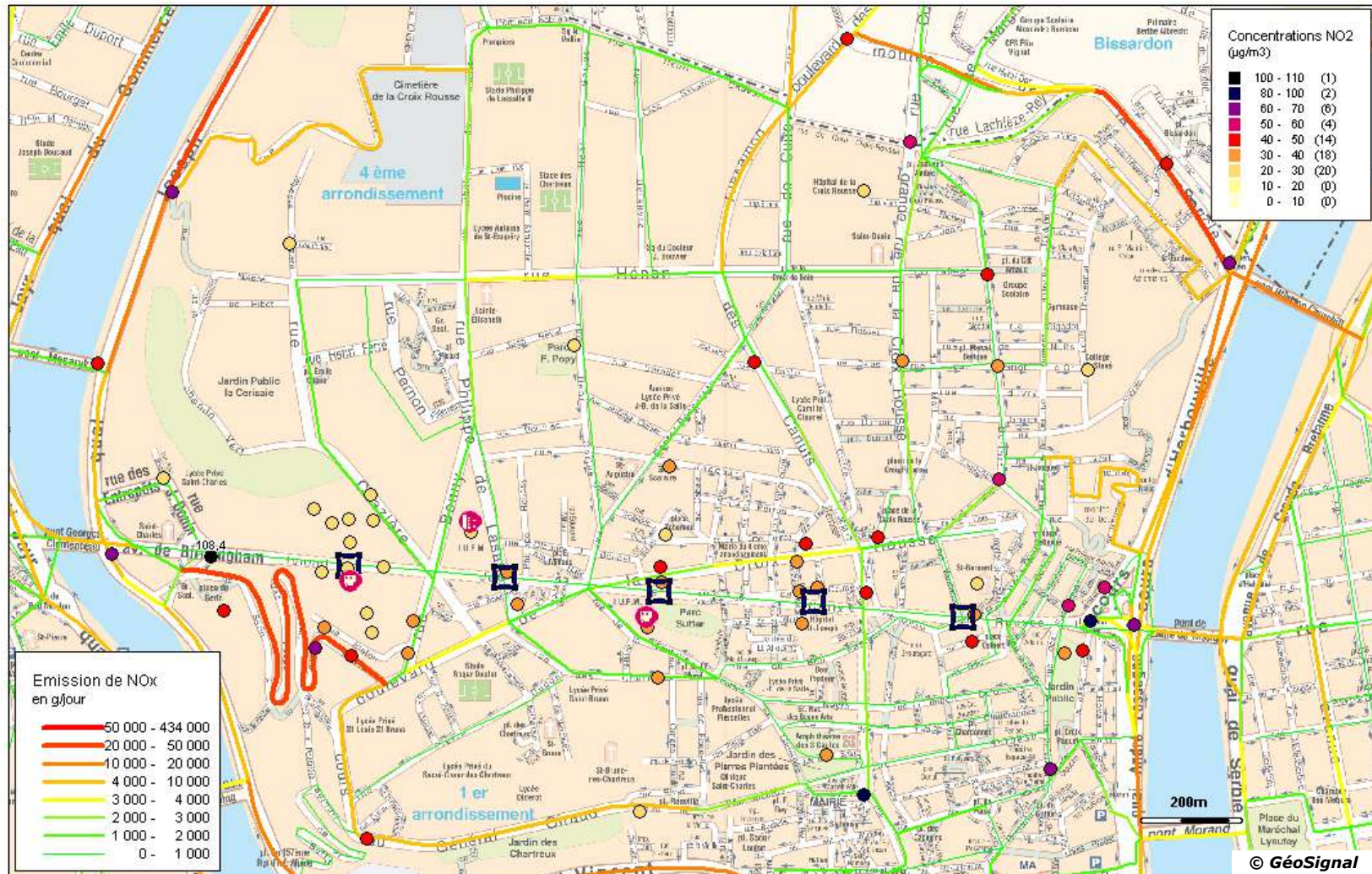
Ceci semble indiquer notamment que le trafic qui passait habituellement par le tunnel ne s'est pas reporté uniquement sur le plateau de la Croix-Rousse.

¹ Pour rappel : la campagne de mesure a duré du 28/08 au 04/09 et le tunnel a été fermé à partir du 30/08.

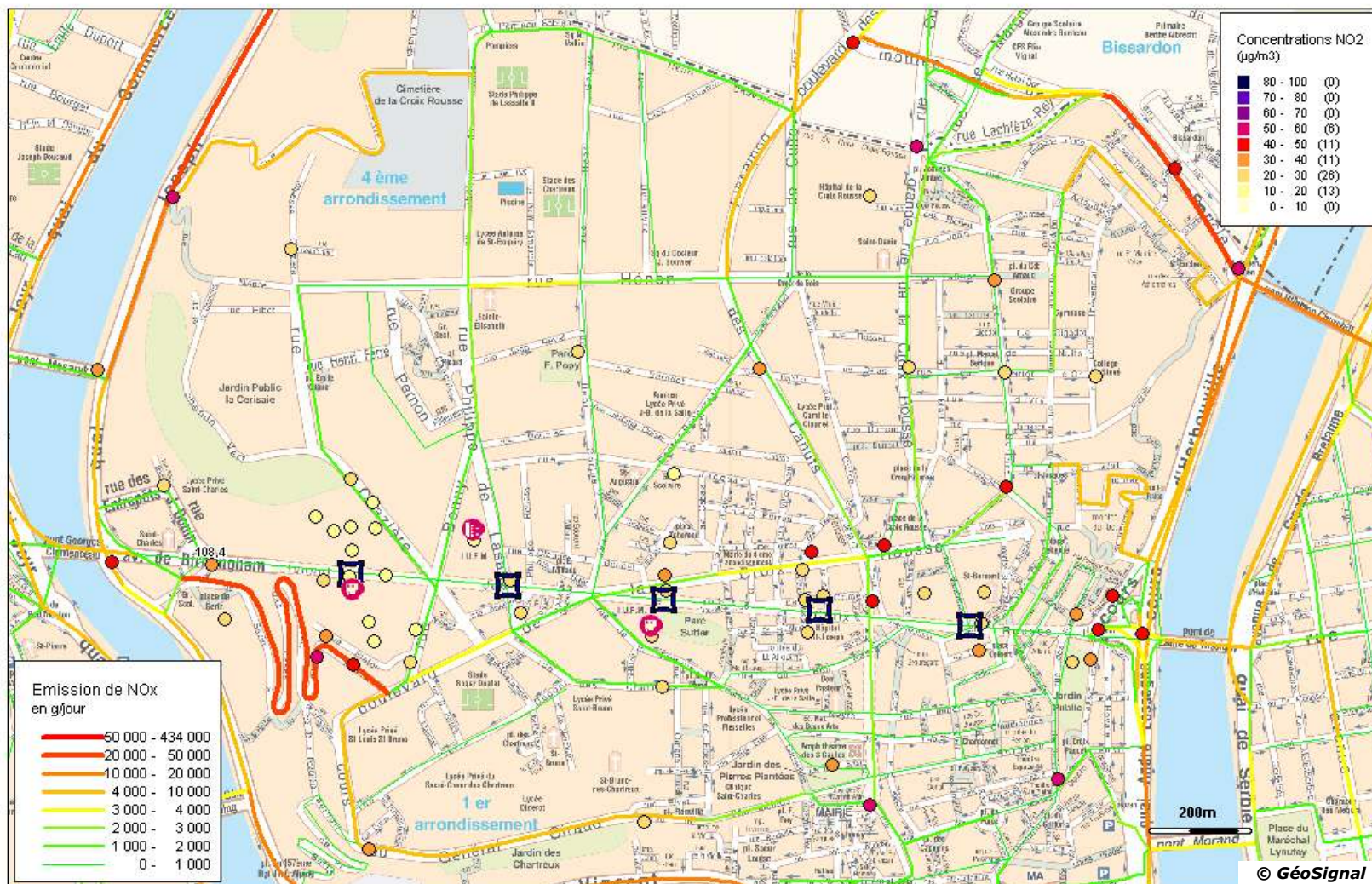
Tubes Passifs NO2 - Moyennes annuelles (7 semaines)



Tubes Passifs NO2 - Résultats de la Campagne 2a (du 21 au 28 août 2007)



Tubes Passifs NO2 - Résultats de la Campagne 2b (du 28 août au 4 sept 2007)



5.2 Benzène, Toluène et Aldéhydes

Les résultats sont présentés ci-après en moyennes annuelles pour le benzène, le toluène le formaldéhyde et l'acétaldéhyde, sous forme de cartes géo-référencées.

Concernant le **benzène** les moyennes sur 7 semaines de mesure sont comprises entre $1,2 \mu\text{g.m}^{-3}$ et $3,2 \mu\text{g.m}^{-3}$. Les valeurs aux deux têtes de tunnel sont parmi les plus élevées, mais avec d'autres points, le plus souvent situés sur des axes avec une forte pente ou une circulation importante. A proximité des autres axes routiers, les niveaux baissent légèrement, mais sont parfois supérieurs ou très proche de l'objectif de qualité de $2 \mu\text{g.m}^{-3}$.

Sur les autres sites représentatifs du fond urbain du quartier de la Croix Rouse, les moyennes sont inférieures à $2 \mu\text{g.m}^{-3}$.

Les moyennes à proximité des cheminées sont comparables au fond urbain et ne portent pas la signature des émissions routières liées au tunnel. Les 2 moyennes plus élevées à proximité de la cheminée d'extraction n°5 peuvent s'expliquer par le fait que ces 2 sites sont dans les pentes de la Croix-Rousse (pouvant entraîner des surémissions de Benzène).

Pour le **toluène**, les moyennes sont comprises entre $2 \mu\text{g.m}^{-3}$ et $10 \mu\text{g.m}^{-3}$, avec une répartition des niveaux assez similaire à celle du benzène (échelle des concentrations en Toluène = échelle des concentrations en benzène x3).

Le rapport Toluène/Benzène se situe autour de 3 ou 4 sur les sites à proximité des axes routiers, ce qui est bien la signature du trafic automobile, et autour de 2 en fond urbain.

Pour le **formaldéhyde**, les moyennes sont homogènes et comprises entre $2 \mu\text{g.m}^{-3}$ et $4 \mu\text{g.m}^{-3}$ sur l'ensemble des 20 sites de mesures. Elles sont inférieures à la valeur guide de l'AFSSET pour l'air intérieur, fixée à $10 \mu\text{g.m}^{-3}$ en moyenne annuelle (valeur la plus haute de l'échelle des concentrations)¹.

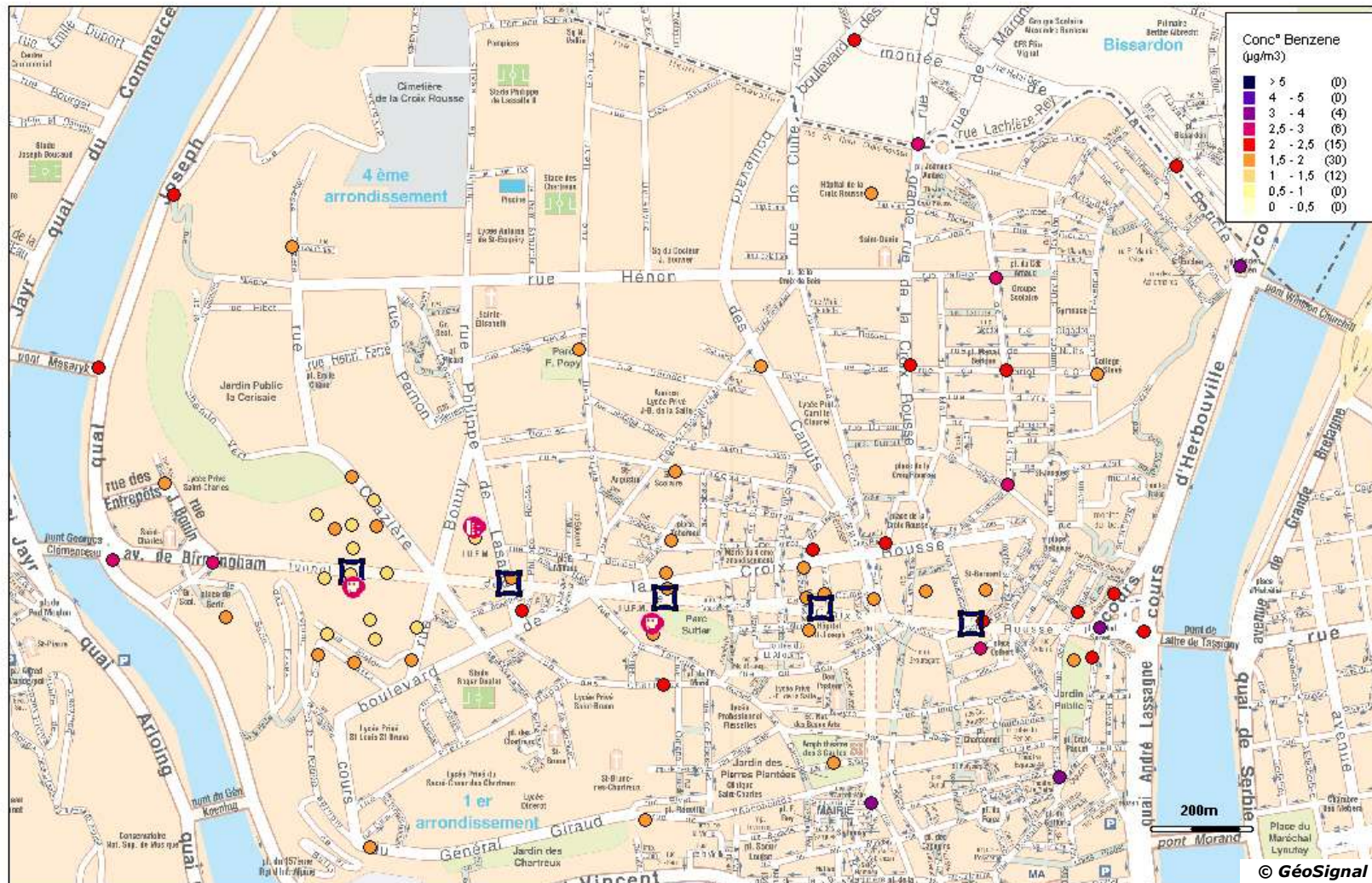
A noter que cette valeur a été prise comme référence car il n'existe pas de valeur réglementaire en air ambiant.

Pour l'**acétaldéhyde**, les niveaux sont plus faibles, compris entre $1,5 \mu\text{g.m}^{-3}$ et $2,5 \mu\text{g.m}^{-3}$. En l'absence de valeur réglementaire, et dans un souci de comparaison, la même échelle de concentration que pour le formaldéhyde a été utilisée.

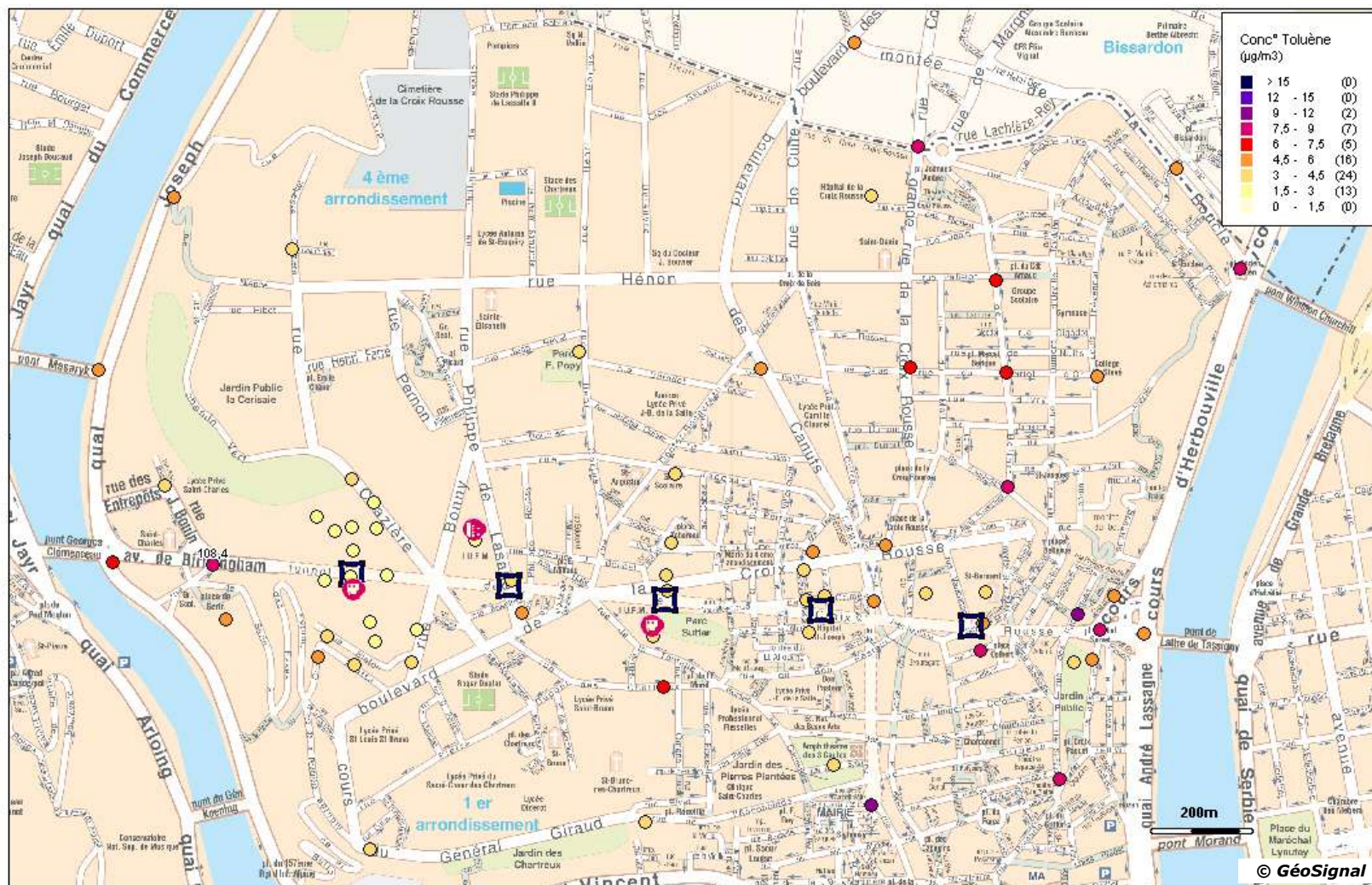
Enfin, pour les autres aldéhydes mesurés, aucune carte n'est représentée car les niveaux sont encore plus faibles, avec des valeurs souvent inférieures à la limite de détection.

¹ Attention : Sur les cartes de mesures en Aldéhydes, les classes de concentrations n'ont pas forcément des intervalles égaux sur toute l'échelle de couleurs.

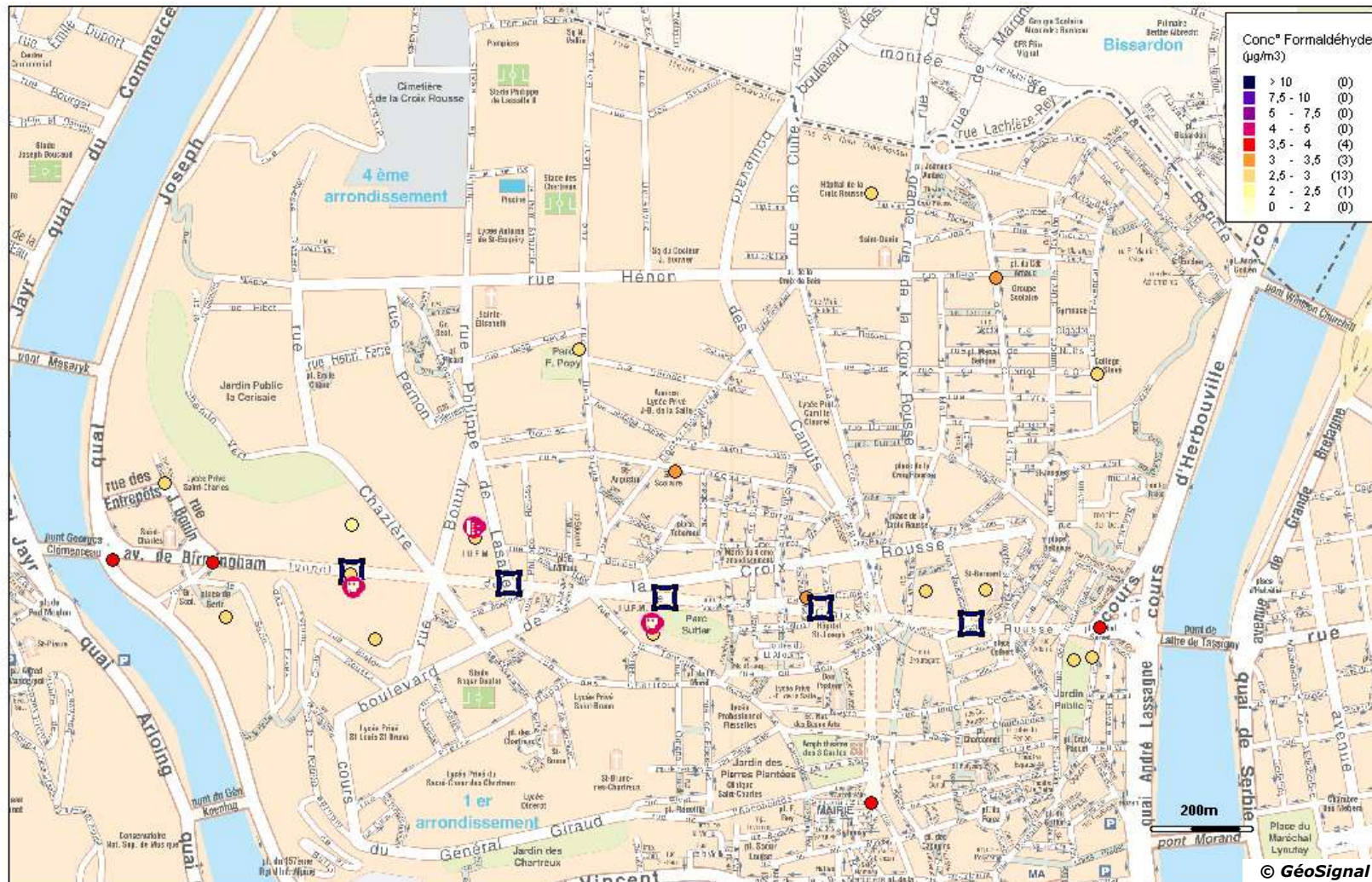
Etude Croix-Rousse
Tubes Passifs BTX - Moyennes annuelles en Benzène (7 semaines)



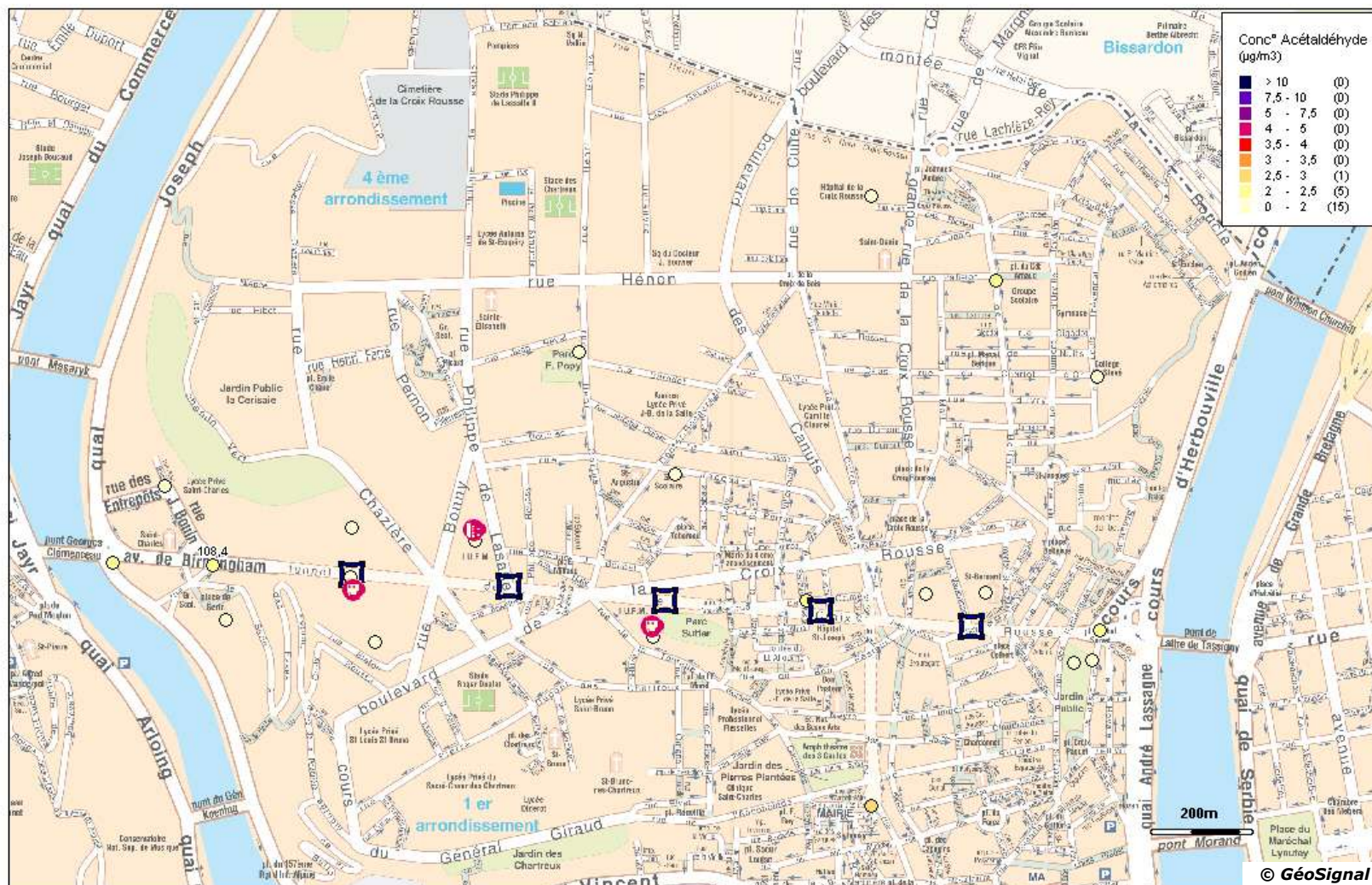
Etude Croix-Rousse
Tubes Passifs BTX - Moyennes annuelles en Toluène (7 semaines)



Etude Croix-Rousse
Tubes Passifs ALD - Moyennes annuelles en Formaldéhyde (7 semaines)



Etude Croix-Rousse
 Tubes Passifs ALD - Moyennes annuelles en Acétaldéhyde (7 semaines)



6 Résultats des mesures en continu

Les réglementations, française et européenne, fixent des seuils pour plusieurs polluants gazeux ainsi que pour les particules fines, dont le dépassement peut engendrer des risques pour la santé humaine ou affecter les écosystèmes.

Les valeurs de ces seuils et les actions à mener en cas de non respect varient en fonction des polluants et de la durée d'exposition considérée.

En général, les dépassements observés des seuils calculés sur des valeurs moyennes horaires (niveaux d'information et d'alerte) demandent un délai de réaction très court, et sont gérés par dispositifs préfectoraux.

Les décisions pour intervenir sur les dépassements de valeurs moyennes annuelles (valeurs limites et objectifs de qualité de l'air) sont prises sur le moyen et long terme au niveau de l'agglomération, ou de la région (Plans Régionaux de la Qualité de l'Air, Plans de Protection de l'Atmosphère, Plans de Déplacements Urbains...).

Remarques générales pour la lecture des tableaux :

Cette partie présente une synthèse des résultats de mesure, polluant par polluant, et analyse la situation des niveaux mesurés vis-à-vis de ces valeurs réglementaires. Ceci pour les trois sites implantés sur la zone d'étude avec une comparaison sur plusieurs stations de référence.

Les différentes statistiques sont délivrées pour l'ensemble des 4 campagnes de mesure, hormis la deuxième semaine de la campagne estivale (7 semaines).

Sur les sites fixes où la mesure en continu est réalisée sur l'ensemble de l'année, les moyennes ou maxima horaires sont également présentés sur une année complète entourant les 4 campagnes.

Afin de les différencier, les valeurs calculées sur une année sont soulignées dans les tableaux de comparaison aux valeurs réglementaires.

Ceci concerne les sites :

- IUFM Nord [site urbain] pour toutes les mesures (SO₂, NO₂, PM₁₀ et Ozone)
- Lyon-Centre [site urbain] pour toutes les mesures (SO₂, NO₂, PM₁₀ et Ozone)
- Saint-Just [site urbain] pour la mesure du SO₂, NO₂ et Ozone
- Vaise-Marietton [site trafic], pour les mesures du NO₂ et Ozone
- La Mulatière [site trafic], pour les mesures du NO₂ et PM₁₀

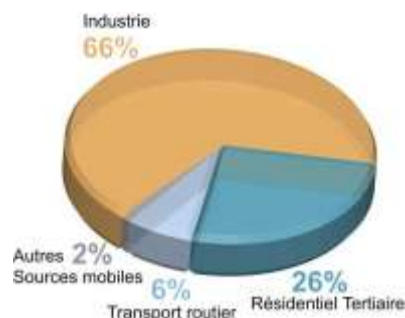
Pour visualiser le dépassement ou non des valeurs réglementaires, le code de couleurs suivant est utilisé :

Pas de dépassement observé
Valeur en limite de dépassement (20% d'un seuil réglementaire)
Dépassement observé d'un seuil réglementaire

6.1 Dioxyde de soufre (SO₂)

6.1.1 Emissions

**Répartition des émissions¹
en dioxyde de soufre
par secteur d'activité
sur la région Rhône-Alpes
(Total SO₂ : 37 kilotonnes)**



L'industrie reste la source principale des émissions de dioxyde de soufre sur la région, mais au vu des progrès réalisés dans la filtration des composés soufrés à la source, de la baisse du taux de soufre dans le fuel et du transfert progressif de ce combustible vers le gaz, ce polluant est de moins en moins considéré comme véritable traceur de l'activité industrielle. Les mesures continues en proximité industrielle montrent généralement des valeurs faibles, avec quelques pointes horaires élevées, liées souvent à de fortes émissions lorsque les conditions de dispersion sont mauvaises.

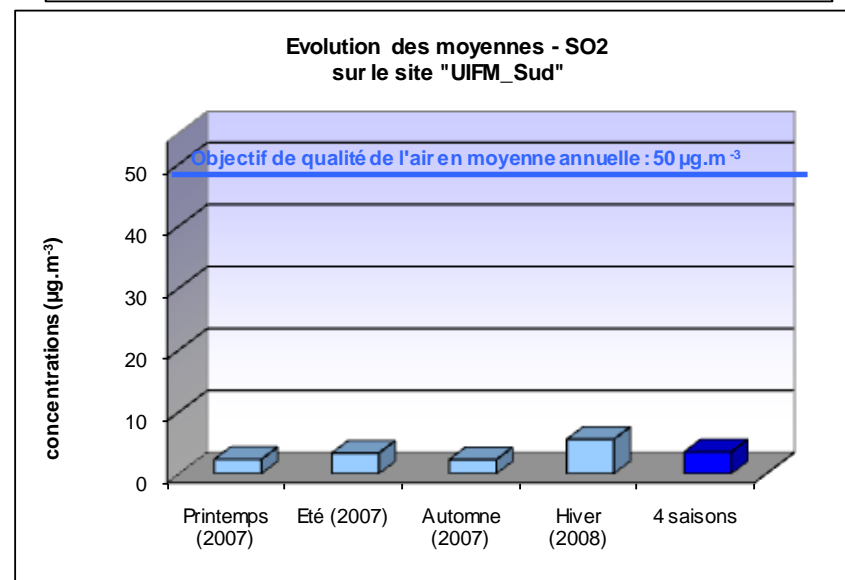
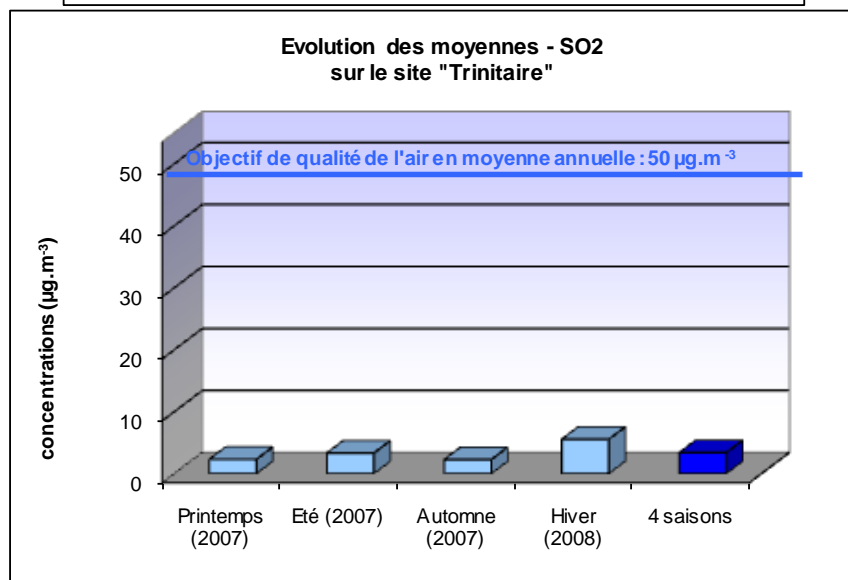
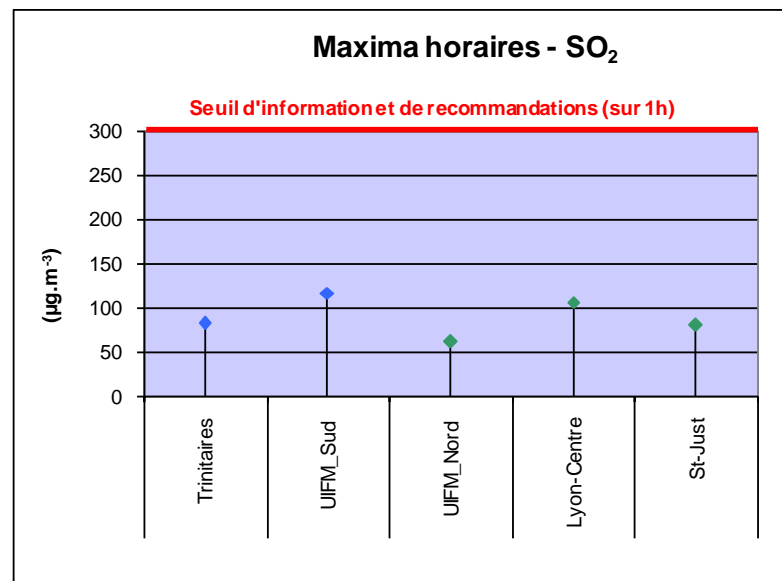
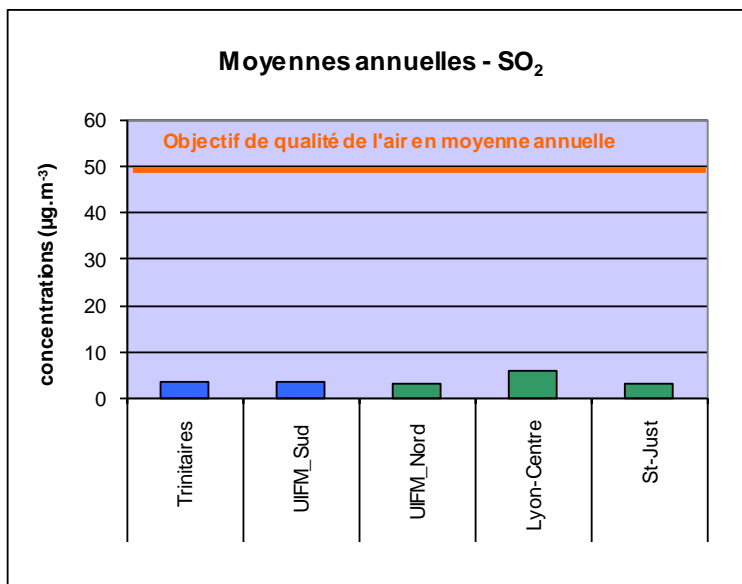
6.1.2 Synthèse des résultats

Dioxyde de soufre

Zone	Labos Mobiles		Fond Urbain		
	Trinitaires	IUFM_Sud	IUFM_Nord	Lyon-Centre	St-Just
Moyenne sur la période	3	4	3	6	3
Ecart-type	6	7	4	8	5
Percentile P98 horaire	19	20	14	26	18
P50 horaire (médiane)	2	2	3	3	2
Minimum horaire	0	0	0	0	0
Maximum horaire	82	116	61	106	80
Date du Maximum horaire	18/01/08 14:00	18/01/08 14:00	18/01/08 15:00	18/01/08 14:00	18/01/08 14:00
Minimum journalier	0	0	0	0	0
Maximum journalier	14	15	13	23	13
Date du Maximum journalier	18/01/2008	21/01/2008	18/01/2008	18/01/2008	18/01/2008

Les niveaux pour ce polluant sont faibles dans l'ensemble sur toute la zone d'étude, de même que sur les stations de référence de fond urbain.

¹ Source COPARLY : Cadastre Année 2003 (v2006-1)



6.1.3 Comparaison des niveaux avec la réglementation

DIOXYDE DE SOUFRE - SO ₂				ZONE D'ETUDE Croix-Rousse			ZONE LYON Sites de référence	
Type de seuil	Valeur à respecter (en µg.m ⁻³)	Année d'application	Statistique Pour le calcul du dépassement	Trinitaires [Labo mobile 1]	IUFM_Sud [Labo mobile 2]	IUFM_Nord [urbain]	Lyon-Centre [urbain]	Saint-Just [urbain]
Valeur limite (protection de la végétation)	20	2001	Moyenne annuelle	3	3	3	6	4
Objectif de qualité	50	2001				<u>3</u>	<u>6</u>	<u>4</u>
Valeur limite	125	2001	Maximum journalier	14	15	13	23	13
						<u>21</u>	<u>42</u>	<u>54</u>
Valeur limite	350	2005	Maximum horaire	82	116	61	106	80
Seuil d'information	300	1999				<u>89</u>	<u>111</u>	<u>139</u>
Seuil d'alerte	500 (sur 3h)	1999						

Rappel du code couleur:

Pas de dépassement observé
Valeur en limite de dépassement (20% d'un seuil réglementaire)
Dépassement observé d'un seuil réglementaire

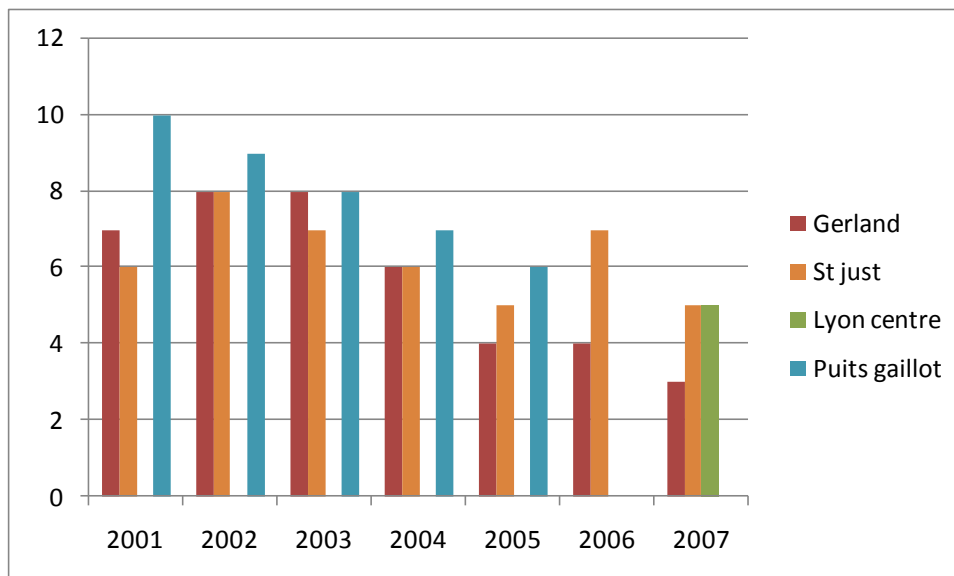
(Les valeurs soulignées sont calculées sur une année complète)

Aucun dépassement de seuil réglementaire n'a été constaté sur aucun site pour l'ensemble des mesures réalisées.

6.1.4 Tendances à l'horizon 2013

- **Valeurs mesurées au cours des dernières années**

Les stations de mesures utilisées pour illustrer l'évolution des concentrations de SO₂ au cours des dernières années sont les stations de fond urbain Gerland, St-Just et Lyon-Centre et la station trafic Puits-Gaillot.



Evolution des moyennes annuelles en SO₂ depuis 2001 (en µg.m⁻³)

Après avoir diminué régulièrement pendant plusieurs années, en raison des efforts faits par les industriels pour moderniser leurs installations combinés à la baisse de la teneur en soufre des carburants, les concentrations de SO₂ sont stabilisées et nettement inférieures au seuil réglementaire de 50 µg.m⁻³ en moyenne annuelle.

- **Tendance à l'horizon 2013**

Avec la mise en place de la nouvelle réglementation Euro début 2009, qui prévoit notamment un abaissement du taux de soufre dans les carburants de 0.005% à 0.001%, les niveaux de SO₂ imputables au trafic routier devraient encore diminuer.

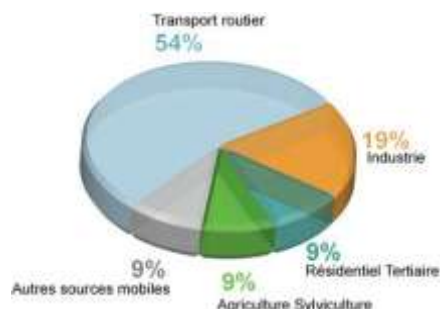
Sur le domaine de la croix-rousse, les émissions calculées de SO₂ du trafic varient de 3,9 tonnes/an en 2007 à 0,7 tonnes/an en 2013.

Néanmoins, compte tenu des faibles niveaux mesurés actuellement et des incertitudes sur les futurs modes de chauffage individuels, il semble raisonnable de penser que les concentrations en 2013 seront peu différentes des niveaux actuellement mesurés.

6.2 Oxyde d'azote (NO, NO₂)

6.2.1 Emissions

**Répartition des émissions¹
en oxydes d'azote
par secteur d'activité
sur la région Rhône-Alpes
(Total NO_x : 115 kilotonnes)**



Les oxydes d'azote sont formés lors des combustions de carburants et combustibles fossiles. En Rhône-Alpes, les transports représentent une large part des émissions (54%) et les sources ponctuelles (installations de combustion, industries, procédés industriels...) sont responsables de 19%. A noter que dans les agglomérations, la part du trafic peut dépasser les 65%.

Bien que l'équipement des automobiles par des pots catalytiques favorise une diminution unitaire des émissions d'oxydes d'azote, les concentrations dans l'air ne diminuent guère compte tenu de l'âge du parc automobile et de l'augmentation constante du trafic.

6.2.2 Synthèse des résultats

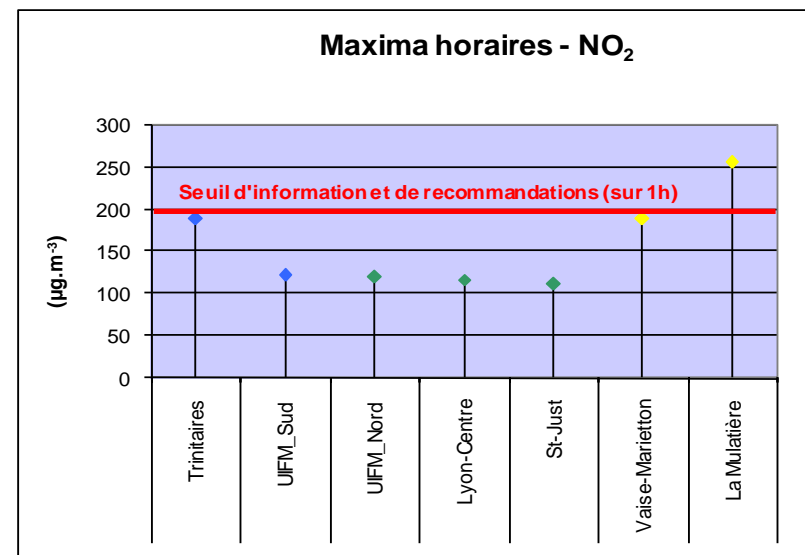
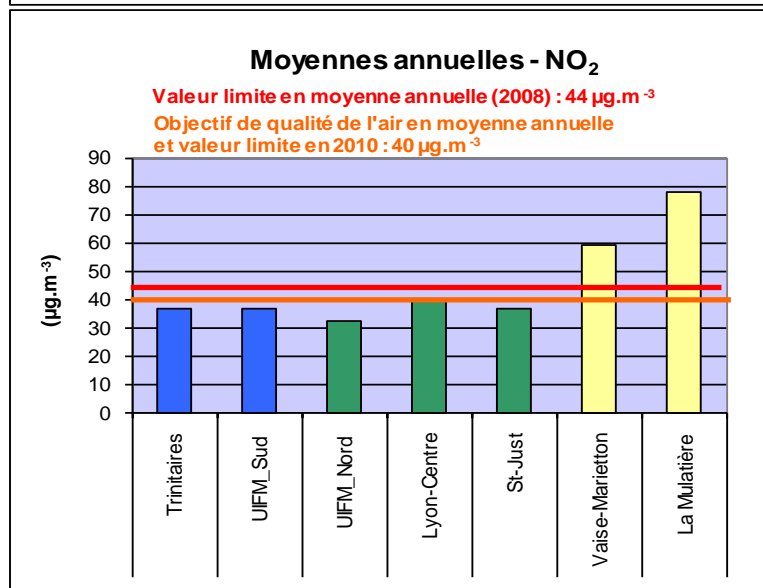
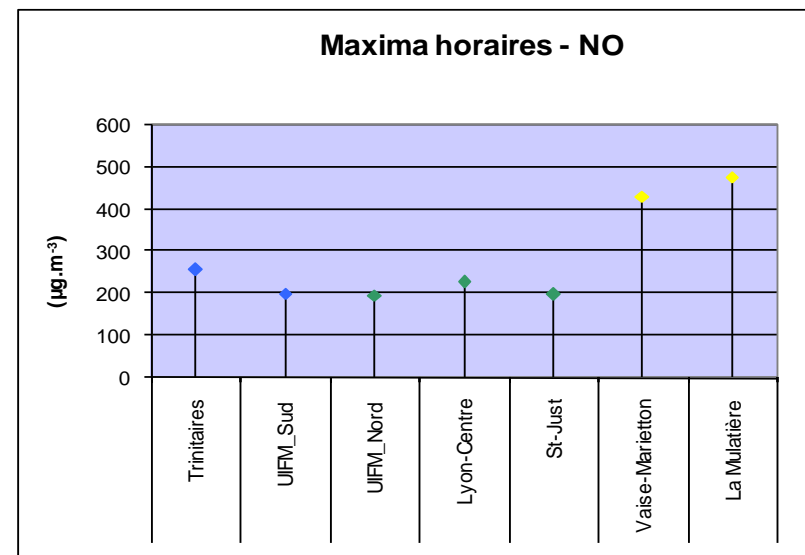
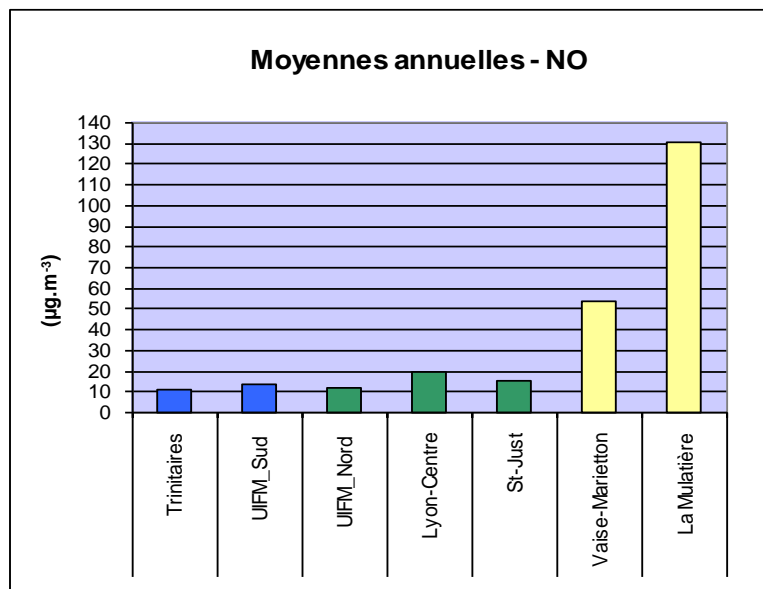
Monoxyde d'azote

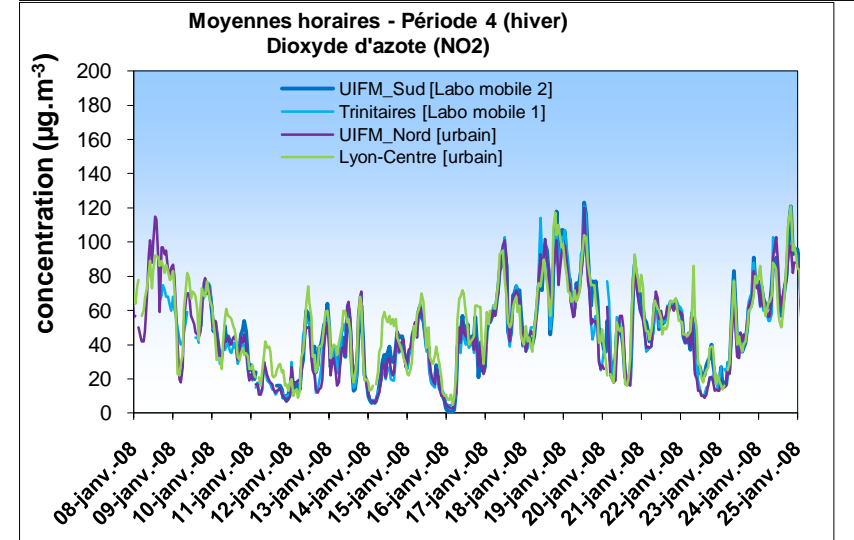
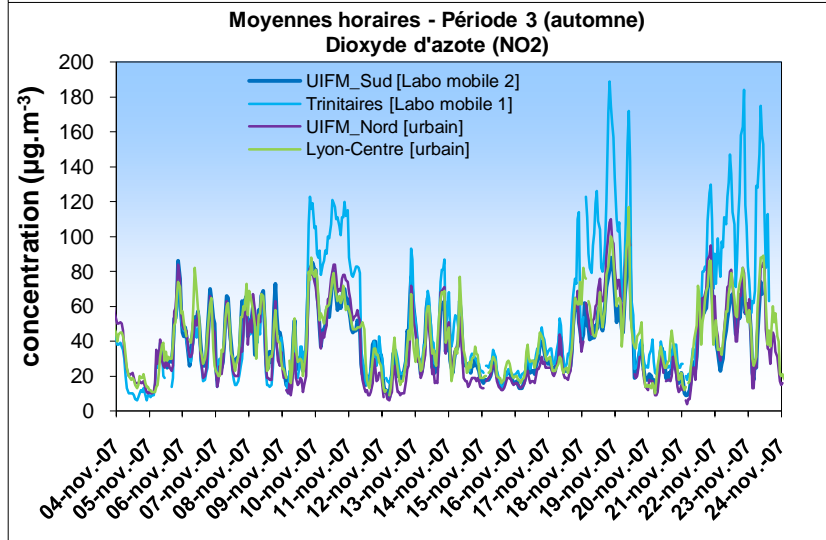
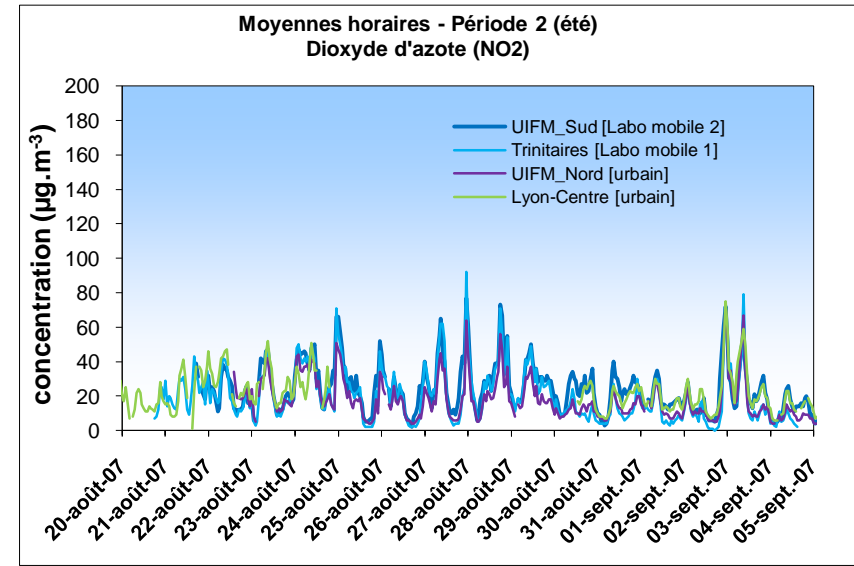
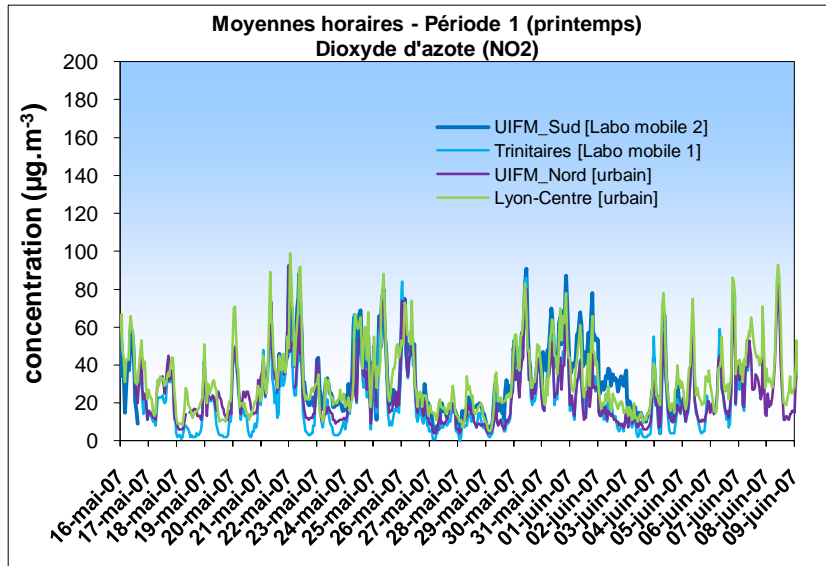
Zone	Labos Mobiles		Fond Urbain			Proximité Trafic	
	Trinitaires	IUFM_Sud	IUFM_Nord	Lyon-Centre	St-Just	Vaise-Marietton	La Mulatière
Moyenne sur la période	11	14	11	19	15	53	131
Ecart-type	26	26	26	29	29	64	95
Percentile 98 horaire	98	105	108	129	122	252	383
Percentile 50 horaire (médiane)	1	4	1	9	4	31	109
Minimum horaire	0	0	0	0	0	0	2
Maximum horaire	258	200	196	227	199	431	478
Date du Maximum horaire	18/01/08 10:00	19/01/08 13:00	19/01/08 13:00	19/11/07 10:00	10/11/07 09:00	18/01/08 19:00	22/05/07 10:00
Minimum journalier	0	1	0	1	0	5	36
Maximum journalier	77	72	68	77	74	217	229
Date du Maximum journalier	18/01/2008	19/01/2008	18/01/2008	18/01/2008	19/01/2008	09/01/2008	09/01/2008

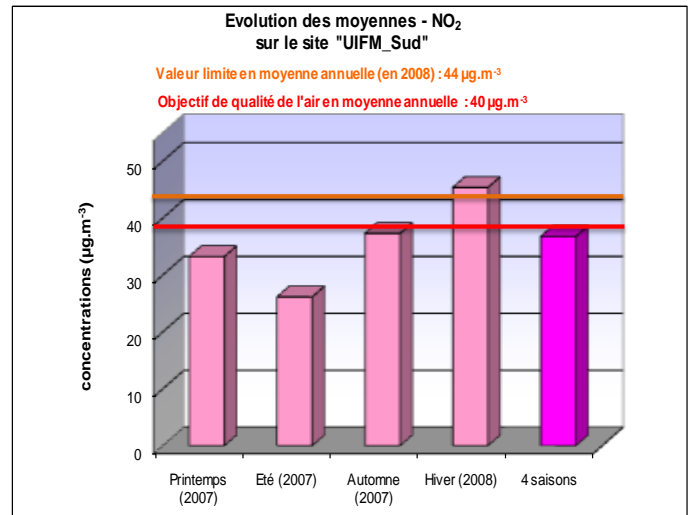
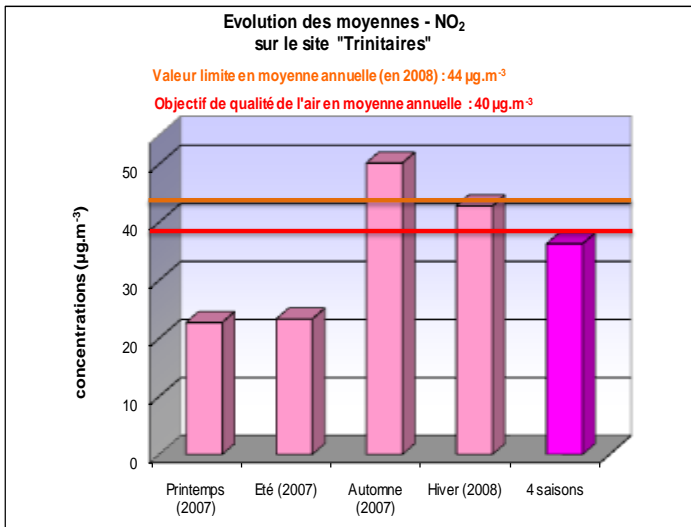
Dioxyde d'azote

Zone	Labos Mobiles		Fond Urbain			Proximité Trafic	
	Trinitaires	IUFM_Sud	IUFM_Nord	Lyon-Centre	St-Just	Vaise-Marietton	La Mulatière
Moyenne sur la période	36	37	32	40	36	59	78
Ecart-type	28	21	22	21	22	30	45
Percentile 98 horaire	115	87	90	91	90	132	187
Percentile 50 horaire (médiane)	29	32	25	36	32	55	70
Minimum horaire	0	1	3	1	1	3	6
Maximum horaire	189	123	120	117	112	189	257
Date du Maximum horaire	18/11/07 20:00	19/01/08 13:00	19/01/08 13:00	19/11/07 10:00	19/01/08 14:00	18/01/08 19:00	24/05/07 12:00
Minimum journalier	8	13	10	17	11	26	43
Maximum journalier	118	76	76	76	77	112	126
Date du Maximum journalier	18/11/2007	18/01/2008	18/01/2008	18/01/2008	18/11/2007	18/01/2008	24/05/2007

¹ Source COPARLY : Cadastre Année 2003 (v2006-1)







Le monoxyde d'azote (NO) n'est pas réglementé, mais les mesures de ce polluant fournissent une information importante sur l'influence du trafic automobile.

En effet, la comparaison des valeurs mesurées en NO avec des sites de référence à proximité du trafic montre que les trois sites implantés pour cette étude à la Croix-Rousse ne sont pas directement impactés par le trafic automobile proche.

Le NO se transformant rapidement en dioxyde d'azote (NO₂), les niveaux décroissent assez rapidement au fur et à mesure que l'on s'éloigne des sources principales de trafic.

Les mesures en continu du NO₂ confirment que les niveaux de fond sur la colline de la Croix-Rousse sont équivalents au fond urbain de l'agglomération lyonnaise.

Il est à noter en revanche que le site « Trinitaires » a enregistré des concentrations plus élevées durant la campagne d'automne, avec des pointes ponctuelles sur quelques heures, parfois équivalentes à un site de proximité trafic. Ces niveaux ont été observés par vent très faible (<1m.s⁻¹ et donc sans direction privilégiée), à des heures généralement de pointe du trafic (matin et soir).

Ces élévations temporaires, qui ne s'observent que pour le NO₂ n'ont pas pu être mises en relation directe avec des émissions liées à la cheminée d'extraction du tunnel.

L'origine de ces concentrations semble liée à un phénomène plutôt local, mais dont la source exacte n'a pu être déterminée.

A noter enfin que, malgré ces pointes horaires en automne, la moyenne annuelle sur ce site reste tout à fait comparable aux moyennes des deux autres sites implantés sur la Croix-Rousse.

6.2.3 Comparaison des niveaux avec la réglementation

DIOXYDE D'AZOTE - NO ₂				ZONE D'ETUDE Croix-Rousse			ZONE LYON Stations de référence				
Type de seuil	Valeur à respecter (en µg.m ⁻³)	Année d'application	Statistique Pour le calcul du dépassement	Trinitaires [Labo mobile 1]	IUFM_Sud [Labo mobile 2]	IUFM_Nord [urbain]	Lyon-Centre [urbain]	Saint-Just [urbain]	Vaise-Marietton [trafic rue]	La Mulatière [trafic autoroute]	
Objectif de qualité	40	2001	Moyenne annuelle	36	37	32	40	36	59	78	
Valeur limite	40	2010					36	39	38	58	82
	44	2008									
	46	2007									
Aucune valeur réglementaire en moyenne journalière (valeurs indiquées pour information)			Maximum journalier	118	76	76	76	77	112	126	
Valeur limite	200	2010	Maximum horaire	189	123	120	117	112	189	257	
	220	2008									
	230	2007									
Seuil d'information	200	1999									
Seuil d'alerte	400	1999			180	157	180	231	297		

Rappel du code couleur:

Pas de dépassement observé
Valeur en limite de dépassement (20% d'un seuil réglementaire)
Dépassement observé d'un seuil réglementaire

(Les valeurs soulignées sont calculées sur une année complète)

Aucun dépassement de seuil réglementaire n'a été constaté pour le dioxyde d'azote sur la zone d'étude pour l'ensemble des 4 campagnes.

La moyenne annuelle sur les trois sites implantés à la Croix-Rousse, reste cependant proche de l'objectif de qualité de l'air fixé à 40 µg.m⁻³, qui constituera également la valeur limite en 2010.

Sur les autres sites de référence de l'agglomération lyonnaise, les niveaux de fond urbain sont proches des valeurs réglementaires, ces dernières étant dépassées à proximité du trafic automobile.

A noter que les cartographies réalisées pour ce polluant à partir des mesures par tubes passifs permettent les mêmes conclusions sur l'ensemble des différents sites sondés sur la zone de la Croix-Rousse.

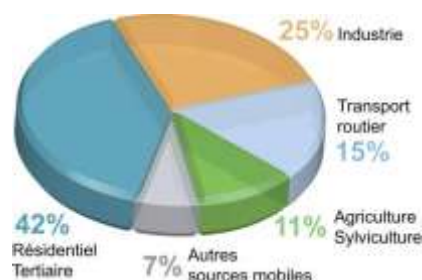
6.2.4 Tendances à l'horizon 2013

La tendance de l'évolution pour ce polluant a été étudiée dans le cadre de la modélisation. Les résultats sont présentés au dernier chapitre de ce rapport.

6.3 Particules en suspension (PM₁₀)

6.3.1 Emissions

**Répartition des émissions¹
en particules fines
par secteur d'activité
sur la région Rhône-Alpes
(Total PM₁₀ : 32 kilotonnes)**



Les particules en suspension peuvent provenir de certains procédés industriels (incinérations, carrières, cimenteries), des chauffages domestiques (en hiver), ou encore du trafic automobile (particules diesel, usures de pièces mécaniques et des pneumatiques...) près des voiries.

Elles sont d'autant plus dangereuses pour la santé qu'elles ont la particularité de fixer d'autres molécules plus ou moins toxiques, présentes dans leur environnement (sulfates, nitrates, hydrocarbures – dont HAP-, métaux lourds, pollens,...).

6.3.2 Synthèse des résultats

Particules (totales)

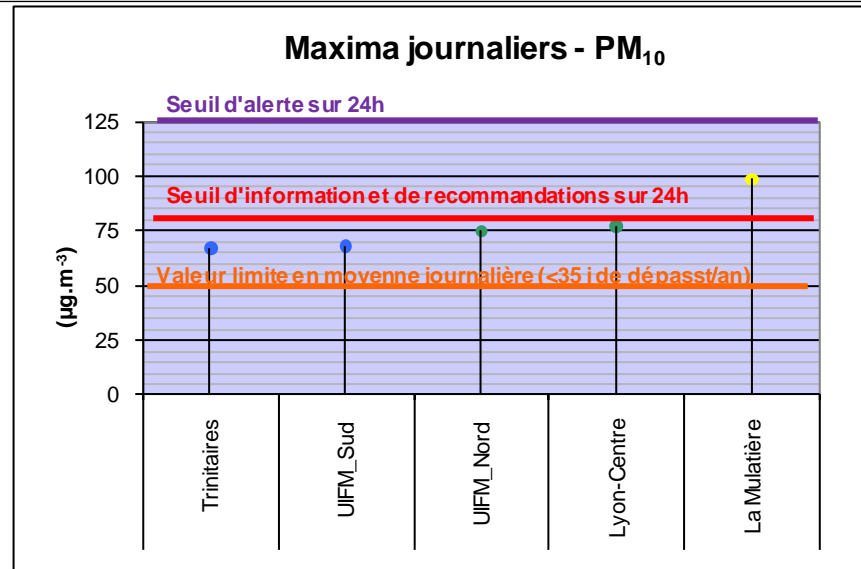
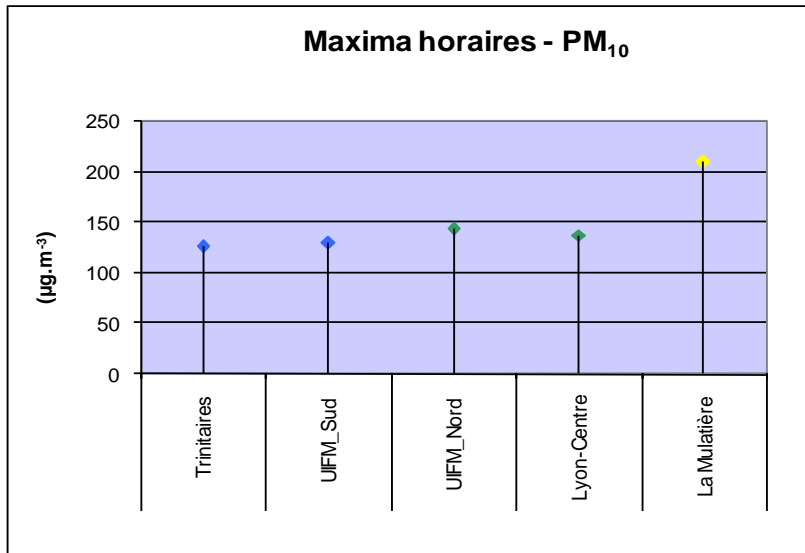
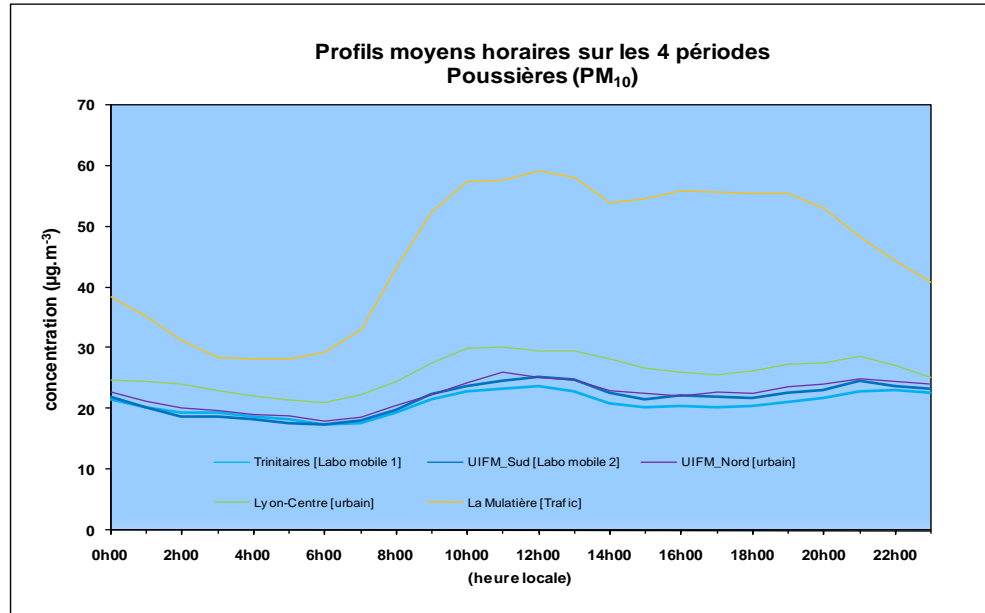
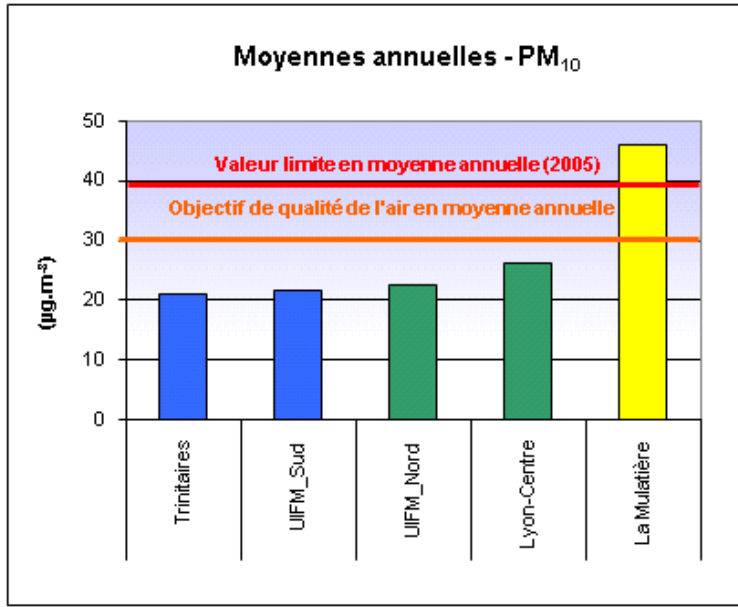
Zone	Labos Mobiles		Fond Urbain		Proximité Trafic
	Trinitaires	IUFM_Sud	IUFM_Nord	Lyon-Centre	La Mulatière
Moyenne sur la période	21	22	22	26	46
Ecart-type	15	14	17	17	26
Percentile 98 horaire	64	63	70	76	119
Percentile 50 horaire (médiane)	17	18	18	21	40
Minimum horaire	1	1	0	4	6
Maximum horaire	127	130	144	138	210
Date du Maximum horaire	18/11/07 22:00	18/11/07 22:00	18/11/07 22:00	18/11/07 21:00	19/11/07 09:00
Minimum journalier	7	7	6	10	18
Maximum journalier	67	68	75	77	99
Date du Maximum journalier	25/05/2007	18/11/2007	25/05/2007	25/05/2007	25/05/2007

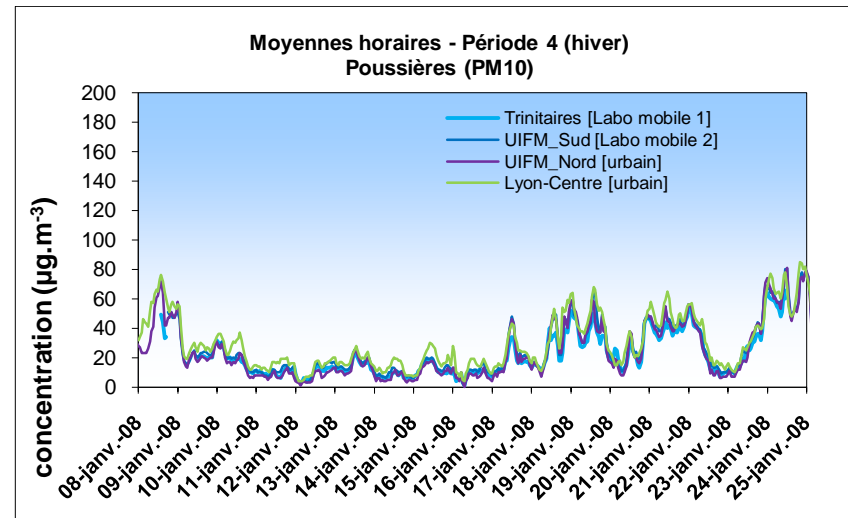
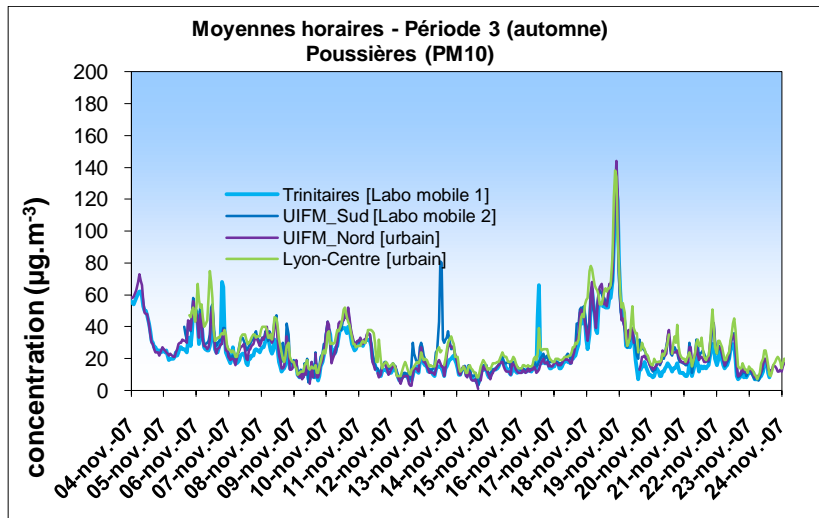
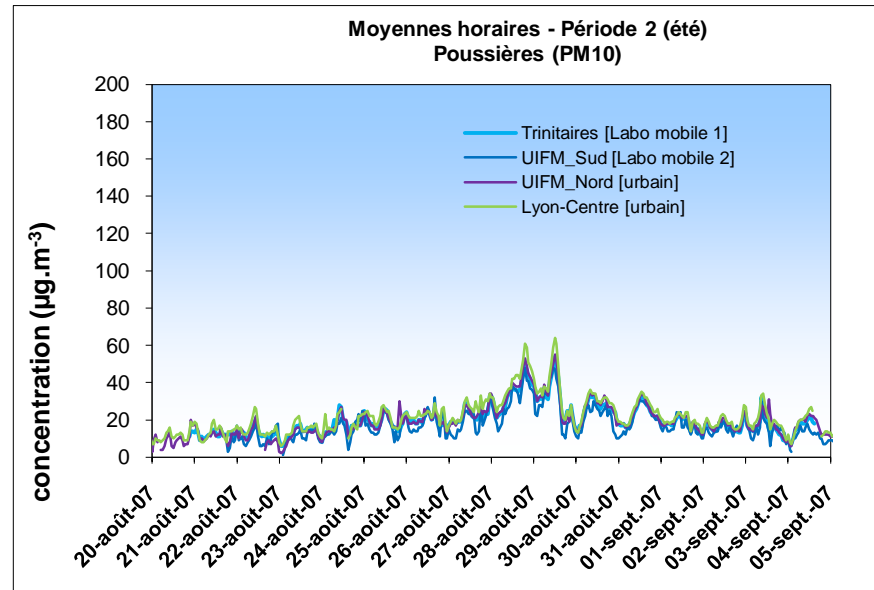
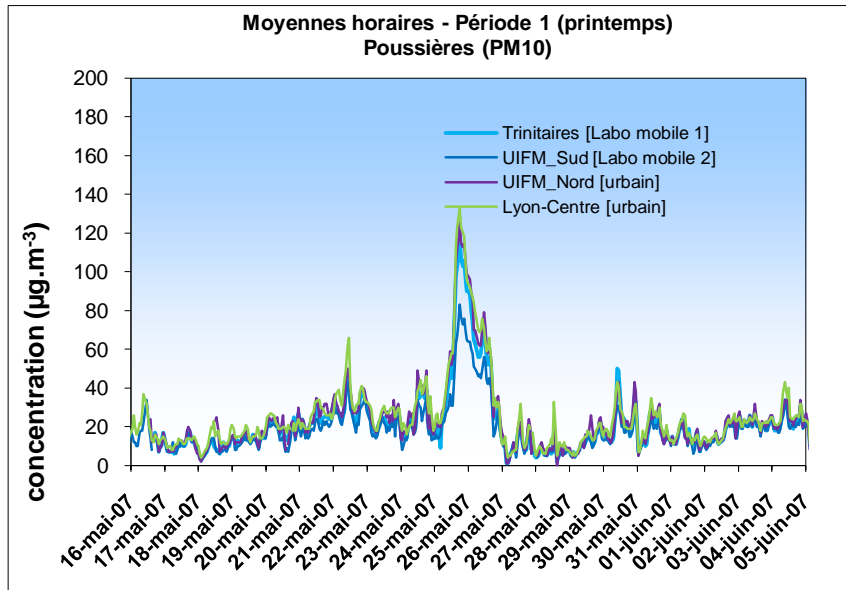
NB : depuis le 1^{er} janvier 2007, la mesure des particules a évolué sur l'ensemble du territoire national, pour prendre en compte une fraction volatile supplémentaire et répondre ainsi aux exigences de la réglementation européenne.

Les résultats présentés ici tiennent compte de cette fraction volatile. Les concentrations mesurées sur les trois sites implantés à la Croix-Rousse ont été ajustées pour le site de « Lyon-Centre », station de référence pour les typologies urbaines.

Pour information, cette fraction volatile peut représenter une part supplémentaire d'environ 25 à 30% (moyenne sur 2007).

¹ Source COPARLY : Cadastre Année 2003 (v2006-1)





Les concentrations en particules PM₁₀ sont relativement homogènes et bien corrélés sur les trois sites de la zone de la Croix-Rousse pour l'ensemble des 4 périodes de mesures. Les niveaux sont équivalents aux niveaux de fond urbain mesurés sur le site « Lyon-Centre », voir légèrement inférieurs. Quelques hausses sont parfois localement observées, mais elles n'excèdent pas une durée d'une heure ou deux. A noter également que, comme pour le NO₂, les niveaux en proximité automobile des particules sont plus élevés qu'en fond urbain.

6.3.3 Comparaison des niveaux avec la réglementation

POUSSIERES EN SUSPENSION - PM ₁₀				ZONE D'ETUDE Croix-Rousse			ZONE LYON Stations de référence			
Type de seuil	Valeur à respecter (en µg.m ⁻³)	Année d'application	Statistique Pour le calcul du dépassement	Trinitaires [Labo mobile 1]	IUFM_Sud [Labo mobile 2]	IUFM_Nord [urbain]	Lyon-Centre [urbain]	La Mulatière [trafic autoroute]		
Objectif de qualité	30	2001	Moyenne annuelle	21	22	22	26	46		
Valeur limite	40	2005				29	31	48		
Valeur limite	50 (<35j/an)	2005	Maximum journalier	67	68	75	77	99		
Seuil d'information	80	1999						118	128	141
Seuil d'alerte	125	1999								
Aucune valeur réglementaire en moyenne horaire (valeur pour information)			Maximum horaire	127	130	144	138	210		
								163	309	253

Rappel du code couleur:

Pas de dépassement observé
Valeur en limite de dépassement (20% d'un seuil réglementaire)
Dépassement observé d'un seuil réglementaire

(Les valeurs soulignées sont calculées sur une année complète)

Vis-à-vis de la réglementation, les niveaux mesurés en particules sont à regarder sur deux échelles de temps :

- en moyenne annuelle, les niveaux mesurés sur la zone de la Croix-Rousse ne dépassent pas l'objectif de qualité.

- en moyenne journalières, la valeur limite de 50 µg.m⁻³ n'a été dépassée que 2 fois sur l'ensemble des 7 semaines considérées. En revanche, elle est dépassée plus de 35 jours sur l'année complète pour le site trafic « La Mulatière » et sur les sites de fond urbain « Lyon-Centre » et « IUFM_Nord ». Or, la similitude des mesures en PM₁₀ sur les trois sites de la Croix-Rousse et les calculs statistiques laissent présager que cette valeur limite ne serait pas respectée également sur l'année pour les sites « IUFM_Sud » et « Trinitaires ».

Enfin, les maxima journaliers mesurés en fond urbain sont proches du seuil d'information fixé à 80 µg.m⁻³.

A noter que ces dépassements de valeurs réglementaires sont également observés sur les sites fixes de référence, en zone urbaine comme en proximité du trafic, en moyenne journalière comme en moyenne annuelle.

6.3.4 Tendances à l'horizon 2013

La tendance de l'évolution pour ce polluant a été étudiée dans le cadre de la modélisation. Les résultats sont présentés au dernier chapitre du présent rapport.

6.4 Ozone (O₃)

6.4.1 Emissions

L'ozone est un polluant dit secondaire car il n'est pas émis directement par les activités humaines, mais il est le résultat, sous l'effet du rayonnement solaire, d'un cycle complexe de réactions chimiques, mettant en jeu principalement les oxydes d'azote (NOx) et les composés organiques volatils (COV : hydrocarbures, solvants...).

Du fait du rôle joué par le soleil, les pics d'ozone surviennent principalement l'été avec un fort ensoleillement et des températures élevées, qui peuvent conduire à des concentrations élevées d'ozone dans l'air ambiant.

Les mesures d'ozone dans le cadre de cette étude ont été réalisées essentiellement à titre d'information.

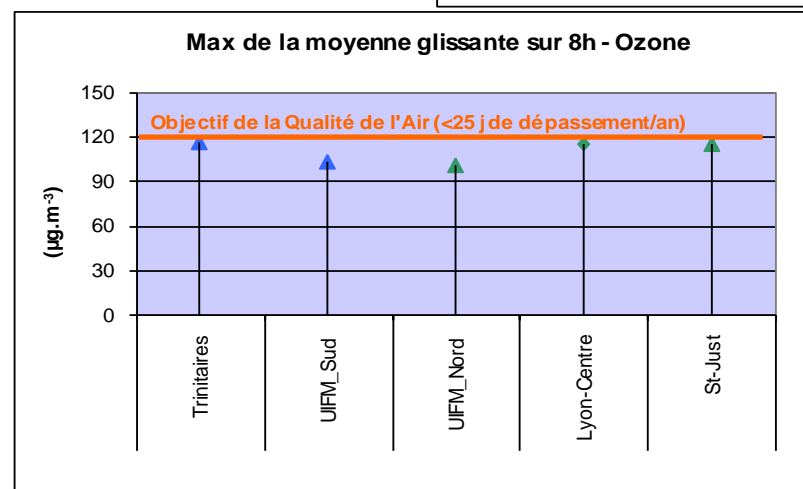
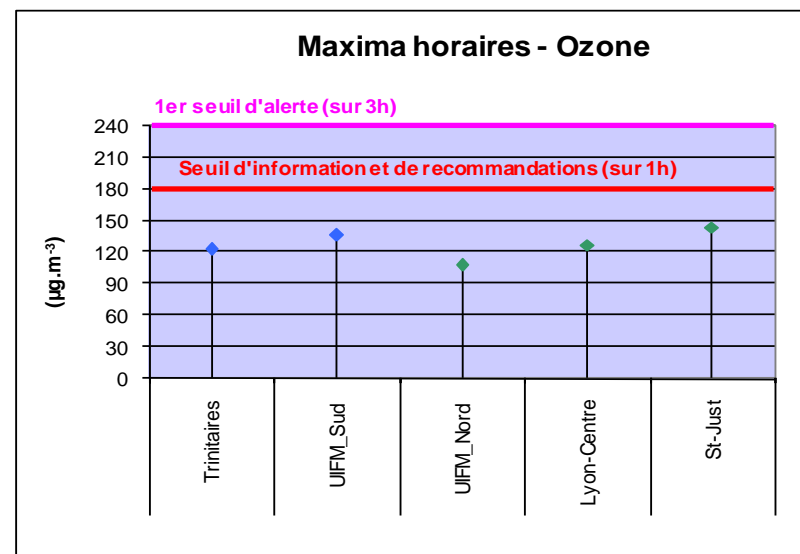
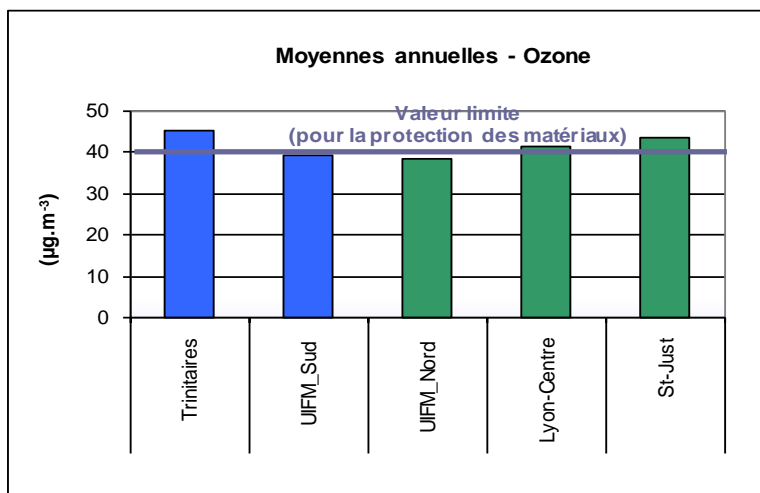
6.4.2 Synthèse des résultats

OZONE

Zone Site	Labos Mobiles		Fond Urbain		
	Trinitaires	IUFM_Sud	IUFM_Nord	Lyon-Centre	St-Just
Moyenne sur la période	45	39	38	41	43
Ecart-type	30	28	27	29	31
Percentile 98 horaire	110	101	95	109	110
Percentile 50 horaire (médiane)	42	35	38	38	40
Minimum horaire	0	0	0	0	0
Maximum horaire	123	137	108	127	144
Date du Maximum horaire	27/08/07 16:00	24/05/07 16:00	25/08/07 17:00	27/08/07 16:00	24/05/07 16:00
Minimum journalier	2	3	2	3	2
Maximum journalier	87	82	79	85	90
Date du Maximum journalier	23/05/2007	23/05/2007	23/05/2007	23/05/2007	23/05/2007
Maximum de la moyenne sur 8h	116	103	100	115	115
Date du Maximum de la moyenne sur 8h	04/06/2007	22/05/2007	25/08/2007	25/08/2007	23/05/2007
AOT 40 (cumul > 80µg/m3 entre 8h et 20h locale)	1979	1206	701	1621	1753

Les niveaux en ozone sont relativement comparables sur tous les sites de la zone d'étude et sur les sites de fond urbain.

Aucun événement particulier n'est à signaler sur la mesure de ce polluant pour cette étude.



6.4.3 Comparaison des niveaux avec la réglementation

OZONE – O ₃				ZONE D'ETUDE Croix-Rousse			ZONE LYON Stations de référence	
Type de seuil	Valeur à respecter (en µg.m ⁻³)	Année d'application	Statistique Pour le calcul du dépassement	Trinitaires [Labo mobile 1]	IUFM_Sud [Labo mobile 2]	IUFM_Nord [urbain]	Lyon-Centre [urbain]	Saint-Just [urbain]
Valeur limite (protection des matériaux)	40	2001	Moyenne annuelle	45	39	38	41	43
						<u>36</u>	<u>41</u>	<u>42</u>
Valeur limite (protection de la végétation)	65	2001	Maximum journalier	87	82	79	85	90
						<u>120</u>	<u>114</u>	<u>107</u>
Objectif de qualité (protection de la santé humaine)	120 (<25j/an)	2005 (Obj. 2010)	Maximum de la moyenne glissante sur 8h	116	103	100	115	115
						<u>142</u>	<u>139</u>	<u>129</u>
Objectif de qualité (protection de la végétation)	200	2005	Maximum horaire	123	137	108	127	144
Seuil d'information	180 (1h)	1999				<u>163</u>	<u>150</u>	<u>148</u>
Seuils d'alerte	240 (3h) 300 (3h) 360 (1h)	1999						

Rappel du code couleur:

Pas de dépassement observé
Valeur en limite de dépassement (20% d'un seuil réglementaire)
Dépassement observé d'un seuil réglementaire

(Les valeurs soulignées sont calculées sur une année complète)

Comme pour les polluants primaires, les niveaux observés sur la zone de la Croix-Rousse sont comparables aux niveaux de fond urbain.

Même si les moyennes annuelles et maxima journaliers dépassent les valeurs limites pour la protection des matériaux et de la végétation, les niveaux mesurés sur la zone d'étude pour l'ensemble des quatre périodes de mesure n'ont pas dépassé les valeurs réglementaires pour la santé humaine.

Ceci s'explique principalement par un été 2007 assez pluvieux et ayant connu très peu de périodes avec de fortes chaleurs.

6.4.4 Tendances à l'horizon 2013

Aucune tendance ne peut être donnée pour l'évolution de ce polluant secondaire, car les concentrations dépendent de trop de paramètres, et notamment des actions de réduction des émissions qui seront menées au niveau national et européen.

6.5 Mesures dans le tunnel et en sortie de cheminée

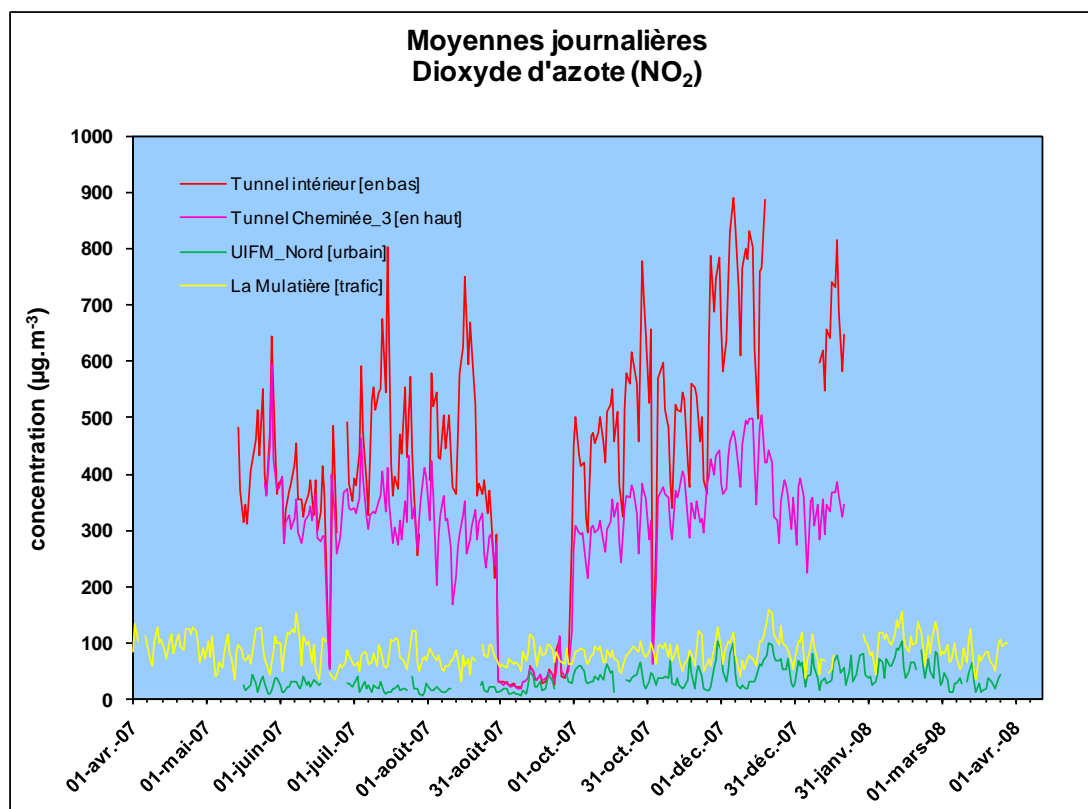
La cheminée 3, située au milieu du tracé du tunnel, a été équipée avec des analyseurs de NO_x et de CO pour réaliser des mesures dans le tunnel (en bas) et en sortie d'extracteur (en haut). Ces mesures ont servi à la modélisation des émissions dans le tunnel.

Dioxyde d'azote (NO₂)

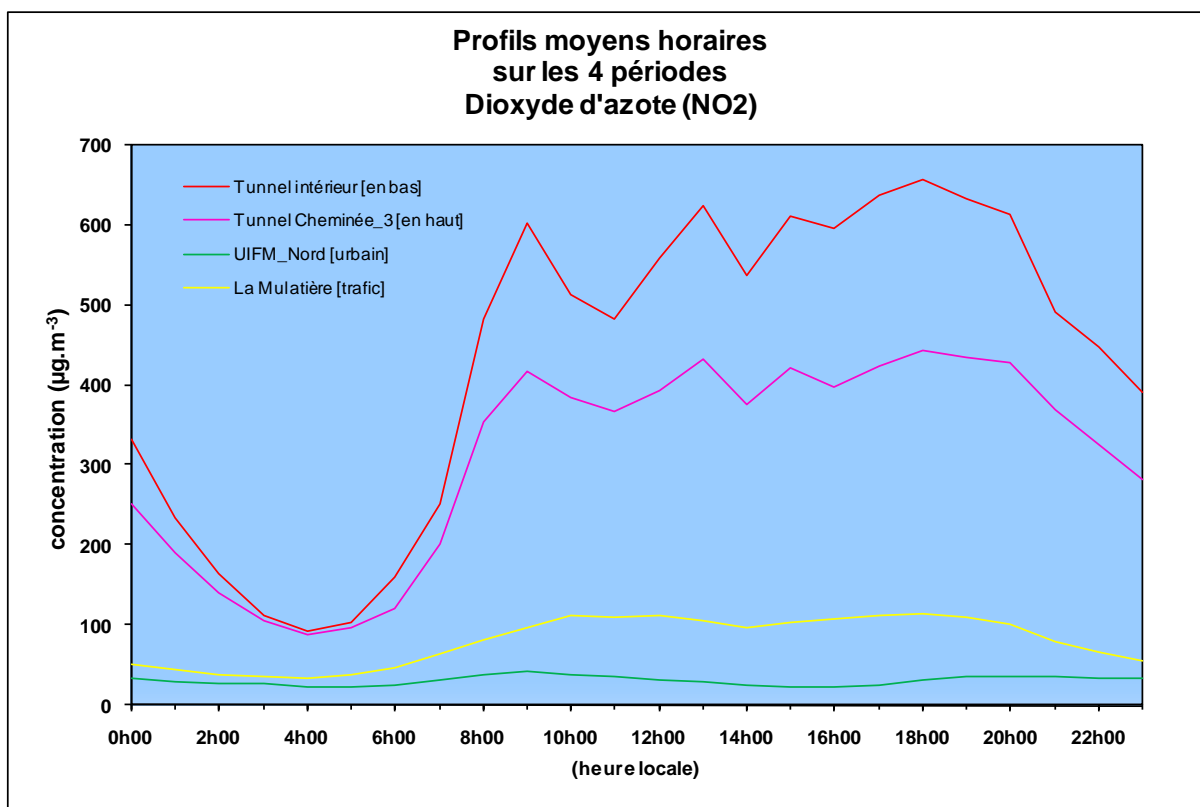
Site	Tunnel		Fond Urbain	Trafic
Typologie	Intérieur (en bas)	Cheminée (en haut)	IUFM_Nord	La Mulatière
Moyenne sur la période	432	311	32	80
Ecart-type	299	189	23	46
Percentile 98 horaire	1080	670	91	189
Percentile 50 horaire (médiane)	413	342	24	73
Minimum horaire	10	7	3	6
Maximum horaire	1432	1066	120	257
Date du Maximum horaire	20/08/07 17:00	29/05/07 18:00	19/01/08 13:00	24/05/07 12:00
Minimum journalier	23	21	8	43
Maximum journalier	814	595	80	126
Date du Maximum journalier	18/01/2008	29/05/2007	08/01/2008	24/05/2007

Les niveaux en NO₂ dans le tunnel sont globalement 13 fois supérieurs au niveau de fond urbain et 5 fois supérieurs aux niveaux rencontrés à proximité du trafic autoroutier.

Les concentrations en sortie d'extraction de cheminée sont légèrement inférieures à celles mesurées dans le tunnel, mais restent du même ordre de grandeur : supérieurs d'un facteur 10 aux niveaux de fond urbain et d'un facteur 4 aux niveaux de proximité trafic.



Ce graphe montre notamment que les niveaux ont baissé rapidement vers des valeurs proches de l'air ambiant lors des longues périodes de fermeture du tunnel (entre le 21/06 et le 22/06 durant 36h, du 30/08/07 au 29/09/07, et du 2/11/07 21h au 3/11/07 22h).



Le profil moyen horaire du NO₂ montre 3 pics liés au trafic : le matin, le midi et le soir.

Le même type de commentaire peut être fait pour les mesures de CO :

Monoxyde de Carbone (CO)

Site	Tunnel		Trafic	
	Intérieur (en bas)	Cheminée (en haut)	Vaise-Marietton	La Mulatière
Moyenne sur la période	6202	5471	502	527
Ecart-type	4579	4315	378	346
Percentile 98 horaire	16502	15233	1588	1474
Percentile 50 horaire (médiane)	5537	5071	381	447
Minimum horaire	0	0	9	0
Maximum horaire	21707	27607	2540	3139
Date du Maximum horaire	29/05/07 19:00	15/11/07 01:00	09/01/08 19:00	14/11/07 08:00
Minimum journalier	319	44	131	205
Maximum journalier	11534	12225	1330	1298
Date du Maximum journalier	16/01/2008	14/11/2007	09/01/2008	18/11/2007

Malgré ces niveaux élevés dans le tunnel, les mesures réalisées sur les deux sites à proximité des cheminées n°1 (Trinitaires) et n°3 (IUFM_Sud) n'ont pas montré de concentrations de cet ordre de grandeur.

Les polluants semblent se disperser rapidement sous l'effet du vent en sortie de la cheminée d'extraction, dont la vitesse d'éjection est quasi nulle la plupart du temps (sauf en cas de ventilation forcée).

Aucune influence directe des cheminées n'a pu être mise en évidence avec les mesures réalisées dans le cadre de cette étude.

7 Résultats des prélèvements

Comparaison aux sites fixes :

Les résultats des prélèvements réalisés sur les deux sites laboratoires mobiles ont été comparés aux moyennes, minima et maxima relevés sur le site de référence « Lyon-Centre » sur l'année 2007.

Comparaison aux valeurs réglementaires :

Tous les polluants mesurés dans cette étude n'ont pas forcément de limite fixée par la réglementation ou les organismes de santé publique.

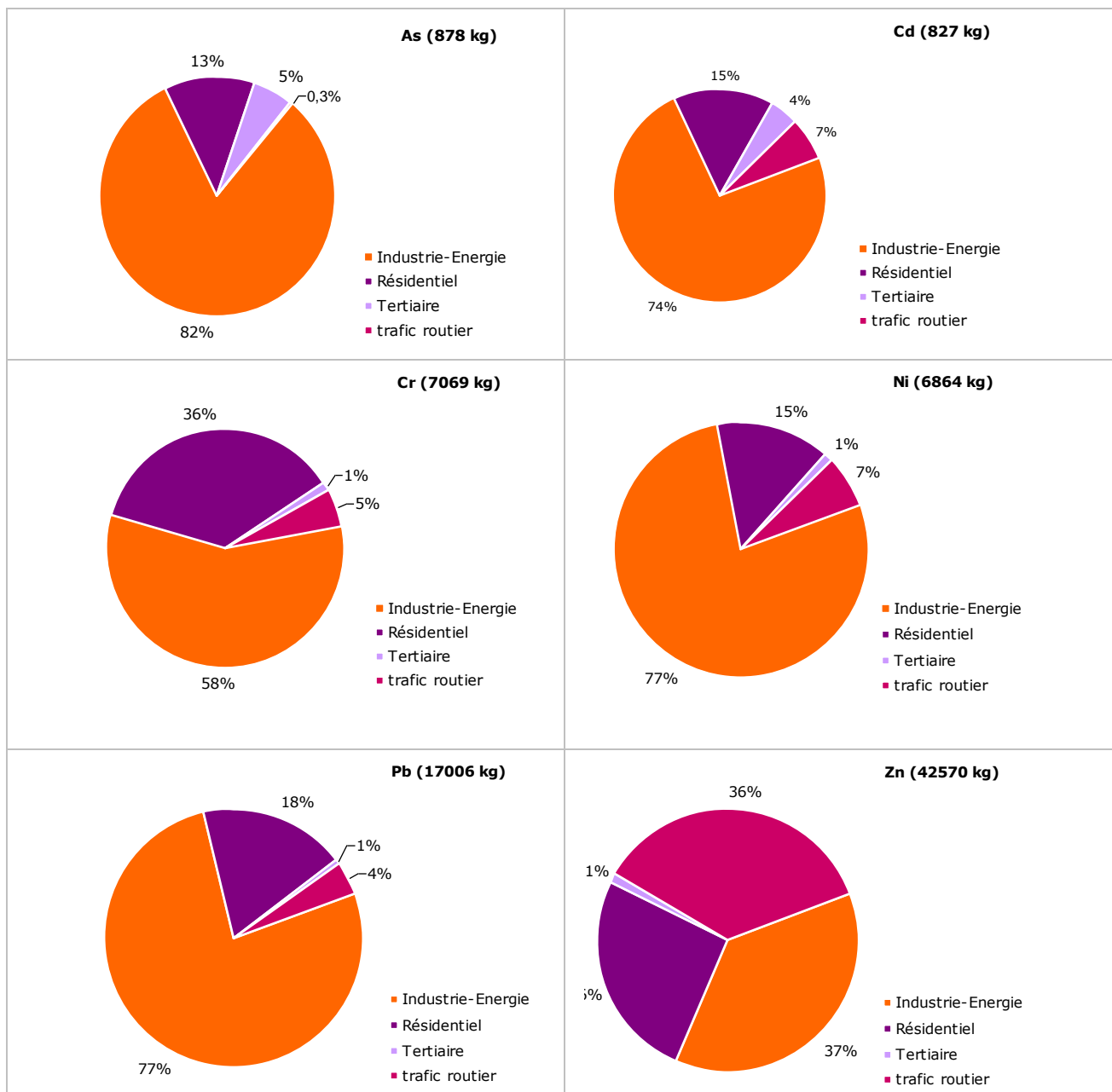
Les **moyennes** sont à comparer avec les valeurs réglementaires données sur un « long terme » (moyennes annuelles) alors que les **maxima sur 24h** sont à comparer aux valeurs « court et moyen terme » (moyennes sur 24h ou 1 semaine)

7.1 Métaux Lourds (ML)

7.1.1 Emissions

L'inventaire spatialisé des émissions en Métaux Lourds a été réalisé par COPARLY, sur l'ensemble de la région Rhône-Alpes, pour l'année de référence 2005.

La répartition des émissions des métaux lourds mesurés dans cette étude est présentée ci-dessous par secteurs d'activité :



Ces graphes montrent que les métaux sont émis majoritairement par le secteur Industrie-Energie. A noter que le Zinc est également émis en forte proportion par le transport routier.

7.1.2 Résultats et valeurs réglementaires

Valeurs Réglementaires METAUX LOURDS (ng.m ⁻³)		Arsenic	Cadmium	Nickel	Plomb
Valeur limite ou cible - Long Terme (Directives)	(Moy. 1an)	6	5	20	500
Objectif QA ou Valeur Guide - Long Terme (OMS)	(Moy. 1an)		5		250

	ML ng.m ⁻³	Arsenic	Cadmium	Chrome	Nickel	Plomb	Zinc
Providence des Trinitaires	Moyenne	0,7	0,3	4,1	3,2	8,5	41,8
IUFM_Sud	Moyenne	0,7	0,3	3,9	6,9	8,7	48,2
Lyon centre	Moyenne	0,7	0,5	3,8	3,0	9,6	50,2
Providence des Trinitaires	Min (7j)	0,3	0,1	3,1	1,2	4,4	25,6
IUFM_Sud	Min (7j)	0,4	0,1	2,4	1,4	4,7	33,5
Lyon centre	Min (7j)	0,3	0,1	1,4	1,3	4,2	15,5
Providence des Trinitaires	Max (7j)	1,1	0,6	5,5	5,9	13,1	59,9
IUFM_Sud	Max (7j)	1,1	0,5	5,7	29,7	13,1	71,7
Lyon centre	Max (7j)	2,4	11,3	8,9	6,0	18,5	107,5

NB : Ces statistiques annuelles correspondent à 8 prélèvements pour les sites Trinitaires et IUFM_Sud et 47 prélèvements pour le site de Lyon-Centre.

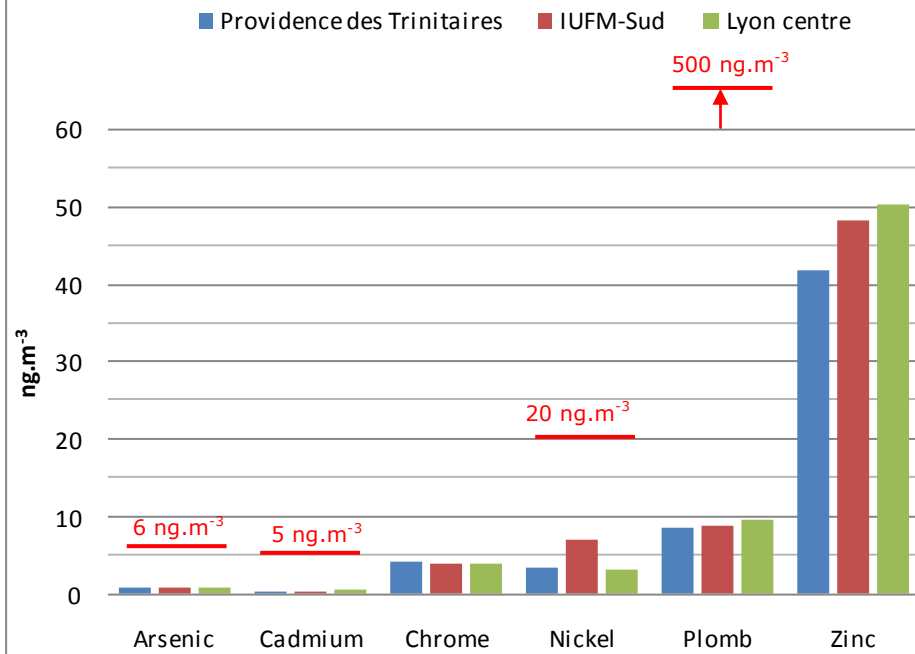
Les niveaux observés sur les deux sites de la Croix-Rousse sont comparables, voire même plus faibles que ceux enregistrés sur le site de référence Lyon-Centre.

A noter une moyenne légèrement plus élevée pour le Nickel sur le site « IUFM sud », due à un prélèvement avec une valeur de 27,9 ng.m⁻³ enregistrée sur une seule campagne (moyenne sur 7 jours).

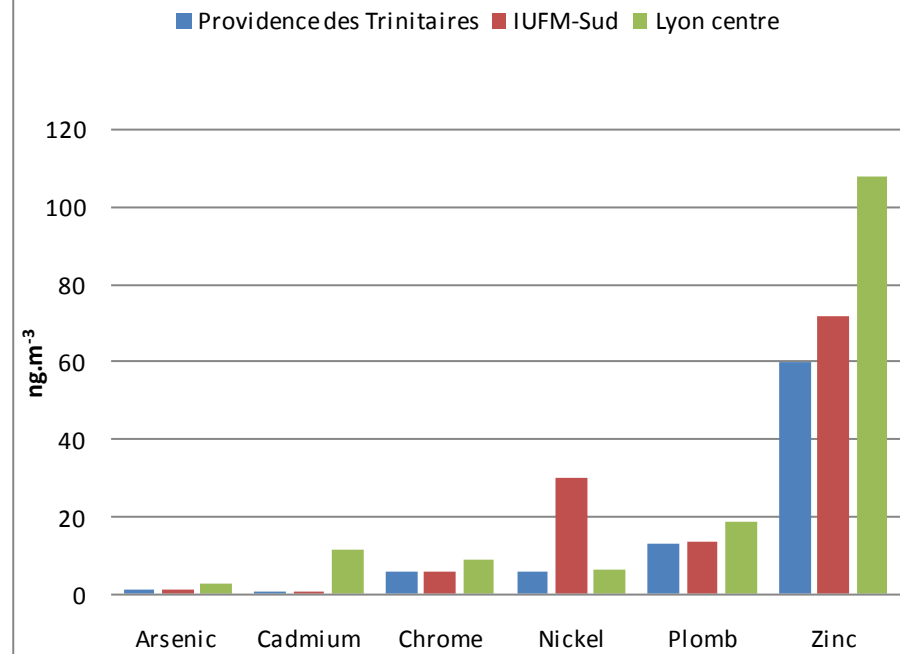
La source n'a pas été identifiée, mais les autres prélèvements ou mesures réalisés durant cette campagne ne permettent pas de suspecter les rejets de la cheminée du tunnel à proximité.

Aucun dépassement de valeurs réglementaires n'a été constaté pour les métaux lourds sur l'ensemble des mesures réalisées (cf. tableaux ci-dessus et graphes pages suivantes).

Métaux Lourds - Moyennes



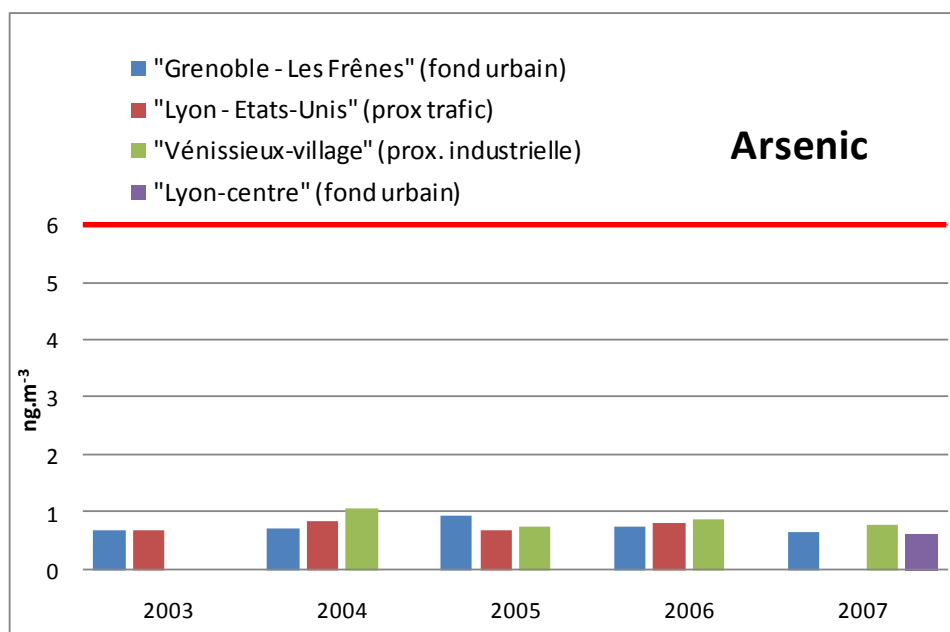
Métaux Lourds - Maxima (sur 24h)



7.1.3 Tendances à l'horizon 2013

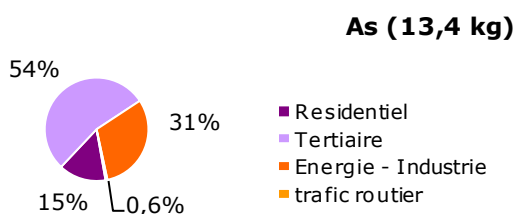
✓ Arsenic

- Valeurs mesurées au cours des dernières années



Les mesures d'Arsec ne présentent pas d'évolution notable depuis 2004. Elles sont inférieures au seuil réglementaire de 6 ng.m^{-3} .

- Emissions actuelles sur la commune de Lyon



Sur Lyon, les émissions d'arsenic liées au trafic routier sont très minoritaires par rapport aux autres sources. Ces émissions sont essentiellement dues à l'usure des pneus et des freins et une petite partie est due à l'échappement.

L'évolution des émissions d'arsenic liées au trafic est donc corrélée à l'évolution du volume de trafic et dans une moindre mesure à celle des consommations.

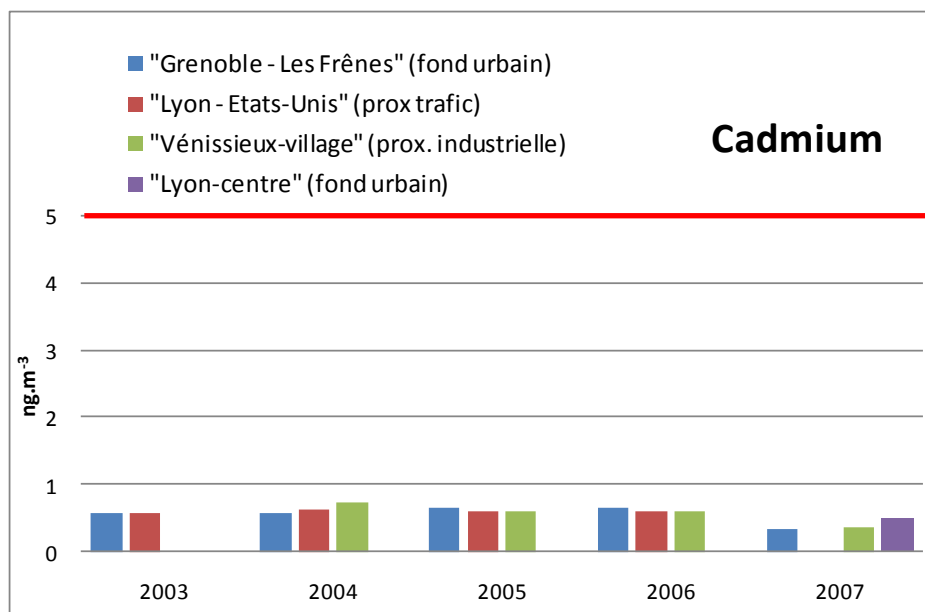
- Tendances à l'horizon 2013

En raison de la très faible part des émissions du trafic dans les émissions totales, il est possible de considérer que les concentrations en arsenic dans l'atmosphère sont indépendantes du trafic.

En l'absence d'informations supplémentaires, les niveaux d'Arsec prévus pour 2013 sont les mêmes que ceux mesurés en 2007.

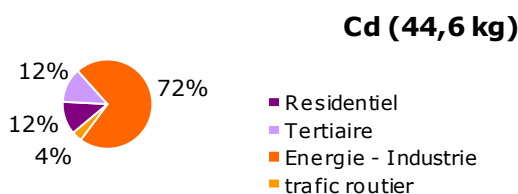
✓ Cadmium

- Valeurs mesurées au cours des dernières années



Les mesures de Cadmium ne présentent pas d'évolution notable depuis 2003. Elles sont inférieures au seuil réglementaire de 5 ng.m⁻³.

- Emissions actuelles sur la commune de Lyon



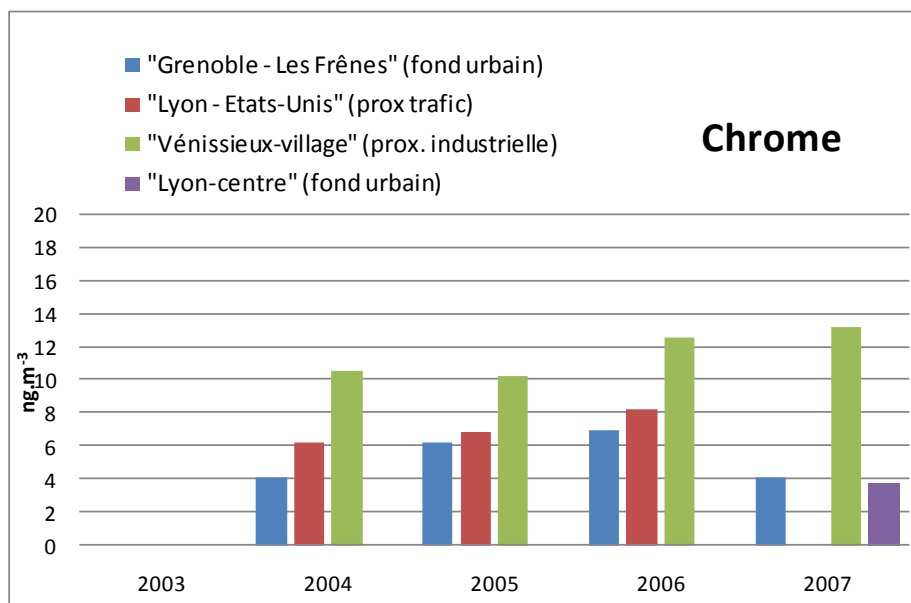
Sur la commune de Lyon, les émissions de cadmium liées au trafic routier sont très minoritaires par rapport aux autres sources. Ces émissions sont dues à l'usure des pneus, des freins et à l'échappement. L'évolution des émissions de cadmium liées au trafic est donc corrélée à l'évolution du volume de trafic et des consommations.

- Tendance à l'horizon 2013

Au niveau national, les évolutions attendues des émissions pour les secteurs résidentiels et tertiaires sont stables et celles pour le secteur industriel sont en très légère baisse. En l'absence d'information sur l'évolution des émissions du secteur industriel de la commune de Lyon, les niveaux de Nickel à l'horizon 2013 peuvent être considérées comme stables (mêmes concentrations qu'en 2007).

✓ Chrome

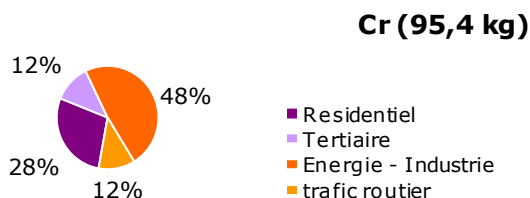
- Valeurs mesurées au cours des dernières années



Les mesures de Chrome réalisées depuis 2004 sont stables.

A noter que les valeurs mesurées sont légèrement plus élevées pour ce composé sur le site de Vénissieux-village, à proximité d'une zone plus industrialisée.

- Emissions actuelles sur la commune de Lyon



Sur Lyon, les émissions de chrome liées au trafic routier représentent environ 12% des émissions globales. Ces émissions sont essentiellement dues à l'usure des pneus et des freins et aussi à l'échappement.

L'évolution des émissions de chrome liées au trafic est donc corrélée avec l'évolution du volume de trafic et des consommations.

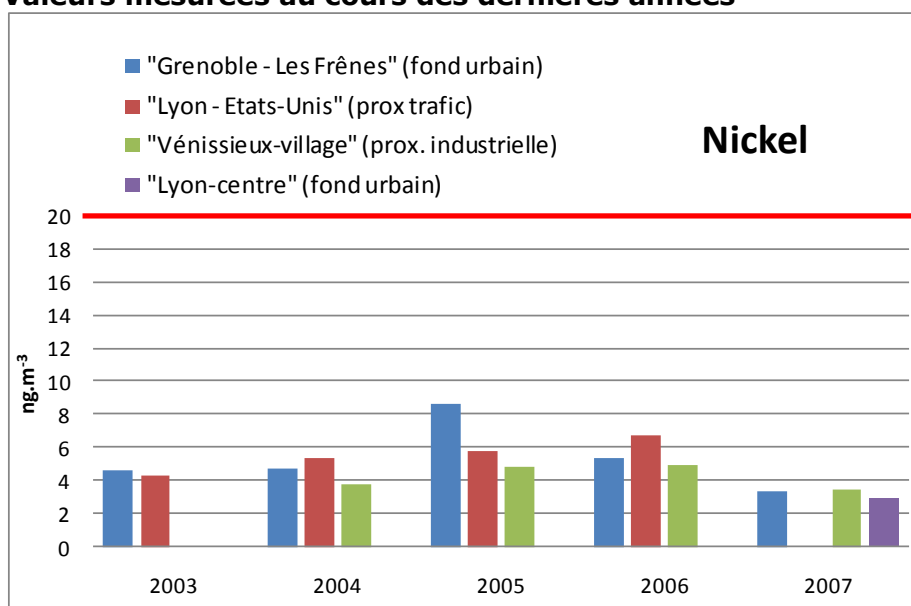
- Tendance à l'horizon 2013

L'évolution attendue au niveau national pour les émissions des secteurs résidentiels tertiaires et industriels est en très légère baisse. Il est donc difficile d'en conclure sur une tendance en concentration dans l'atmosphère.

En l'absence d'informations supplémentaires, les niveaux de Chrome prévus pour 2013 sont les mêmes que ceux mesurés en 2007.

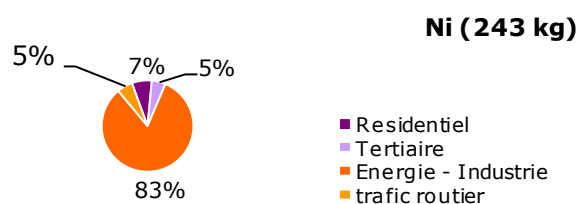
✓ Nickel

• Valeurs mesurées au cours des dernières années



Les mesures de Nickel ne présentent pas d'évolution notable depuis 2003. Elles respectent le seuil réglementaire de 20 ng.m⁻³.

• Emissions actuelles sur la commune de Lyon



Sur Lyon, les émissions de Nickel liées au trafic routier sont très minoritaires par rapport aux autres sources. Ces émissions sont dues à l'usure des pneus et des freins et à l'échappement.

L'évolution des émissions de Nickel liées au trafic est donc corrélée avec l'évolution du volume de trafic et des consommations.

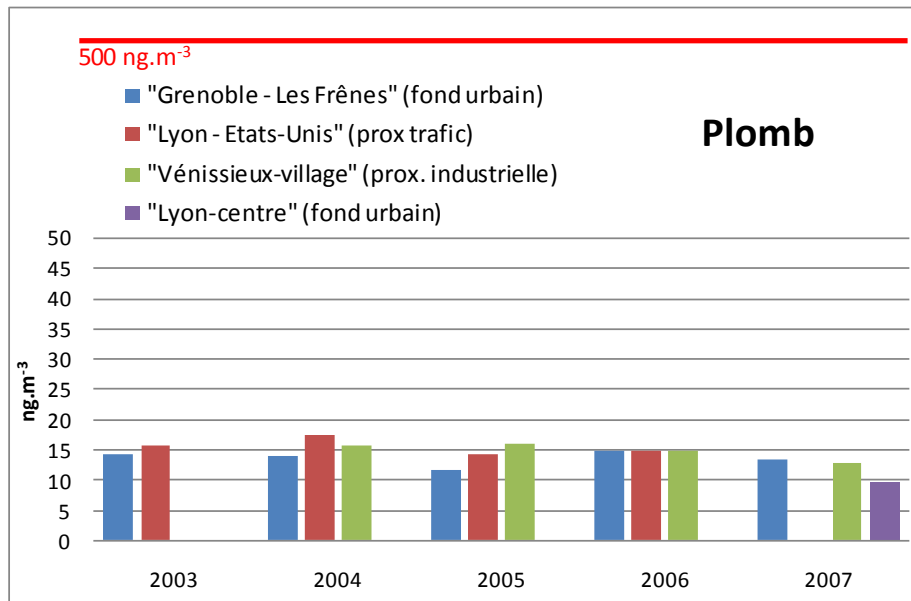
• Tendances à l'horizon 2013

Les tendances nationales pour les émissions des secteurs résidentiels, tertiaires et industriels sont à la baisse, mais très légère.

En l'absence d'information sur l'évolution des émissions du secteur industriel de la commune de Lyon (secteur majoritaire), les concentrations de Nickel à l'horizon 2013 peuvent être considérées comme stables (mêmes niveaux qu'en 2007).

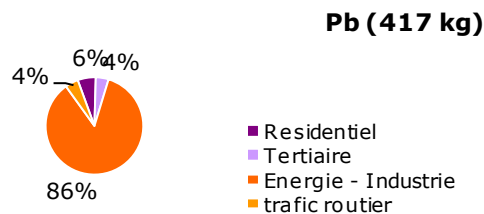
✓ Plomb

- Valeurs mesurées au cours des dernières années



Les mesures de Plomb ne présentent pas d'évolution notable depuis 2004. Elles sont nettement inférieures à la valeur limite de 500 ng.m⁻³ mais également à l'objectif de qualité de 250 ng.m⁻³.

- Emissions actuelles sur la commune de Lyon



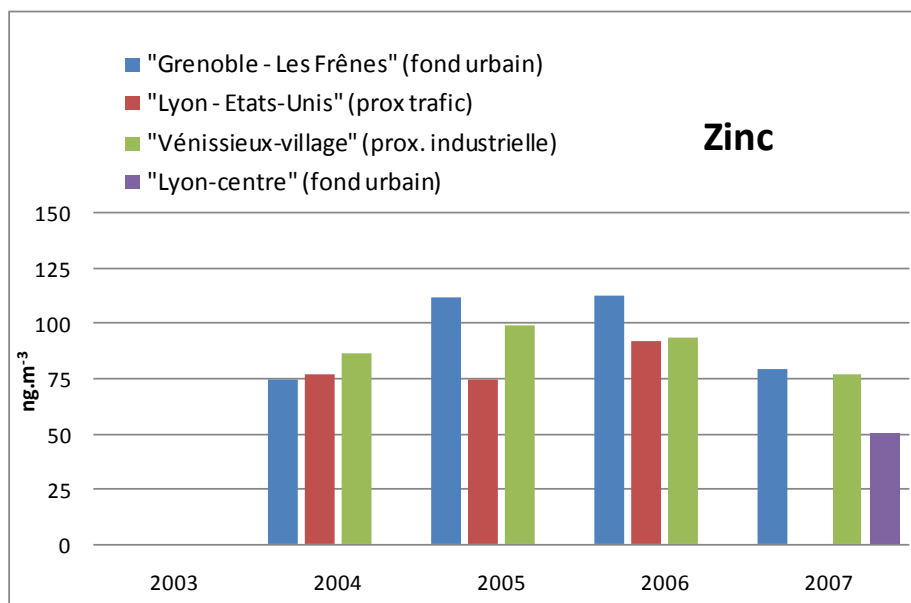
Depuis la suppression des additifs au plomb dans les carburants des véhicules, les émissions de plombs liées au trafic ont fortement baissé ces dernières années. Les émissions de Plomb sont en grande partie liées au secteur Energie-Industrie. Les évolutions des émissions de Plomb sont donc corrélées essentiellement aux évolutions de ce secteur.

- Tendance à l'horizon 2013

Les tendances nationales pour les émissions des secteurs résidentiels, tertiaires et industriels sont à la baisse, mais très légère. En l'absence d'information sur l'évolution des émissions du secteur industriel de la ville de Lyon (secteur majoritaire), les concentrations de Plomb à l'horizon 2013 peuvent être considérées comme stables (mêmes niveaux qu'en 2007).

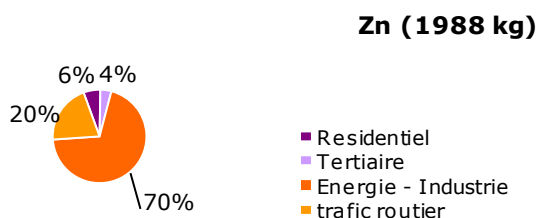
✓ Zinc

- Valeurs mesurées au cours des dernières années



Les mesures de Zinc depuis 2004 présentent une évolution « en cloche », avec une légère augmentation en 2005 et 2006, puis un retour en 2007 à des niveaux comparables à 2004.

- Emissions actuelles sur la commune de Lyon



Sur Lyon, le trafic routier représente environ 20% des émissions de Zinc, mais le secteur Energie-Industrie reste majoritaire avec 70%.

Les évolutions des émissions de Zinc sont donc fortement corrélées aux évolutions de ces deux secteurs.

- Tendance à l'horizon 2013

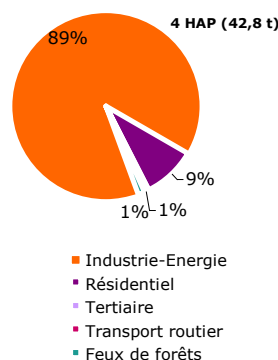
Au niveau national, les évolutions attendues des émissions pour les secteurs trafic et industriel sont en baisse, mais très légère. Il est donc difficile d'en conclure sur une tendance en termes de concentrations dans l'atmosphère.

En l'absence d'informations supplémentaires, les niveaux de Zinc prévus pour 2013 sont les mêmes que ceux mesurés en 2007.

7.2 Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)

7.2.1 Emissions

**Répartition des émissions en HAP ¹
par secteur d'activité
sur la région Rhône-Alpes
(Total : 43 tonnes en 2003)**



Les émetteurs industriels de HAP implantés en région Rhône-Alpes font partie des plus importants de France. De ce fait la part des émissions du secteur Industrie-Energie est très élevée (soit 89% pour 4 HAP).

Le secteur résidentiel arrive en seconde position (émissions réparties sur toute la région), avec la combustion du bois qui représente 96 % des émissions de HAP de ce secteur.

Il convient de remarquer qu'un émetteur industriel situé sur la région Rhône-Alpes, qui était le plus important de France en 2003, n'émet plus de HAP depuis 2005 (grâce à un nouveau procédé de traitement de ses rejets). Sans tenir compte de cet établissement, la part du secteur industrie-énergie passe alors de 89% à 17% et la part du secteur résidentiel de 9% à 68% (voir aussi plus loin, la répartition des émissions du B(a)P sur la commune de Lyon et les tendances pour 2013).

7.2.2 Comparaison aux valeurs réglementaires

Seul le **Benzo(a)pyrène** possède un seuil réglementaire, fixé à **1 ng.m⁻³** comme valeur cible **en moyenne annuelle pour 2012**. Ce composé HAP sert de référence pour calculer la toxicité des autres HAP mesurés.

Valeurs Réglementaires HAP (ng.m ⁻³)		Benzo(a)pyrène
Valeur limite - Long Terme (Directives)	(Moy. 1an)	1

De même que pour les métaux lourds, les niveaux observés en HAP sur les deux sites de la Croix-Rousse sont comparables, voire même plus faibles que ceux enregistrés sur le site de référence Lyon-Centre.

La valeur réglementaire de 1 ng.m⁻³ pour le B(a)P n'a pas été dépassée.

¹ Source : Cadastre COPARLY (Année 2003 - v2008-1) ; Emissions calculées sur 4 HAP : benzo(a)pyrène, benzo(b)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène et indeno(1,2,3)pyrène

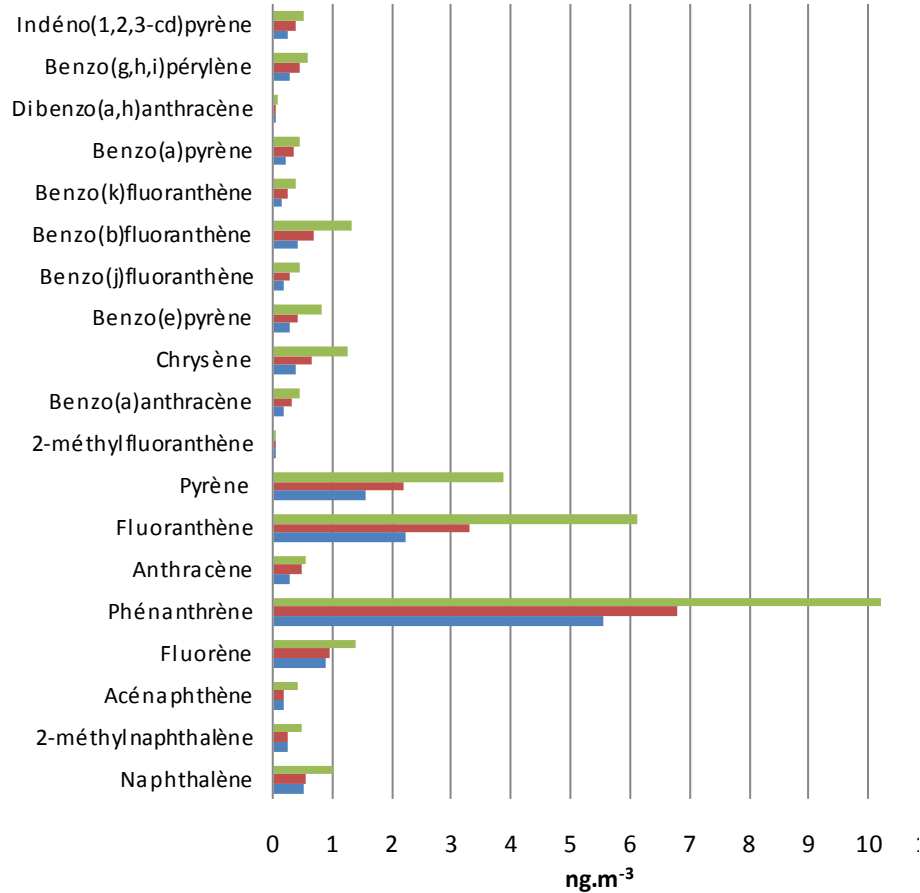
Résultats de mesures pour les HAP

	HAP ng.m ⁻³	Naphtalène	2-méthilynaphthalène	Acénaphthène	Fluorène	Phénanthrène	Anthracène	Fluoranthène	Pyrène	2-méthylfluoranthène	Benzo(a)anthracène	Chrysène	Benzo(e)pyrène	Benzo(j)fluoranthène	Benzo(b)fluoranthène	Benzo(k)fluoranthène	Benzo(a)pyrène	Dibenzo(a,h)anthracène	Benzo(g,h,i)pérylène	Indéno(1,2,3-cd)pyrène
Providence des Trinitaires	Moyenne	0,5	0,2	0,2	0,9	5,6	0,3	2,2	1,6	0,0	0,2	0,4	0,3	0,2	0,4	0,1	0,2	0,0	0,3	0,2
IUFM_Sud	Moyenne	0,5	0,3	0,2	1,0	6,8	0,5	3,3	2,2	0,0	0,3	0,6	0,4	0,3	0,7	0,2	0,3	0,1	0,4	0,4
Lyon centre	Moyenne	1,0	0,5	0,4	1,4	10,2	0,5	6,1	3,9	0,0	0,4	1,2	0,8	0,4	1,3	0,4	0,4	0,1	0,6	0,5
Providence des Trinitaires	Min (24h)	0,2	0,1	0,1	0,2	1,2	0,0	0,4	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
IUFM_Sud	Min (24h)	0,2	0,1	0,1	0,2	1,9	0,0	1,0	0,8	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
Lyon centre	Min (24h)	0,1	0,1	0,0	0,2	0,1	0,0	0,3	0,3	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
Providence des Trinitaires	Max (24h)	0,9	0,5	0,4	2,6	15,3	1,1	6,1	4,6	0,01	0,6	1,0	1,1	0,5	1,3	0,4	0,7	0,1	0,9	0,7
IUFM_Sud	Max (24h)	1,3	0,6	0,5	2,6	16,1	1,8	7,8	5,9	0,01	1,3	2,3	1,8	1,1	2,8	0,9	1,2	0,1	1,2	1,0
Lyon centre	Max (24h)	25,1	3,2	4,7	8,6	59,7	4,1	33,1	23,1	0,01	5,4	10,0	7,6	3,4	10,3	3,2	3,7	0,5	4,4	3,3

NB : Ces statistiques annuelles correspondent à 24 prélèvements pour les sites Trinitaires et IUFM_Sud et 110 prélèvements pour le site de Lyon-Centre.

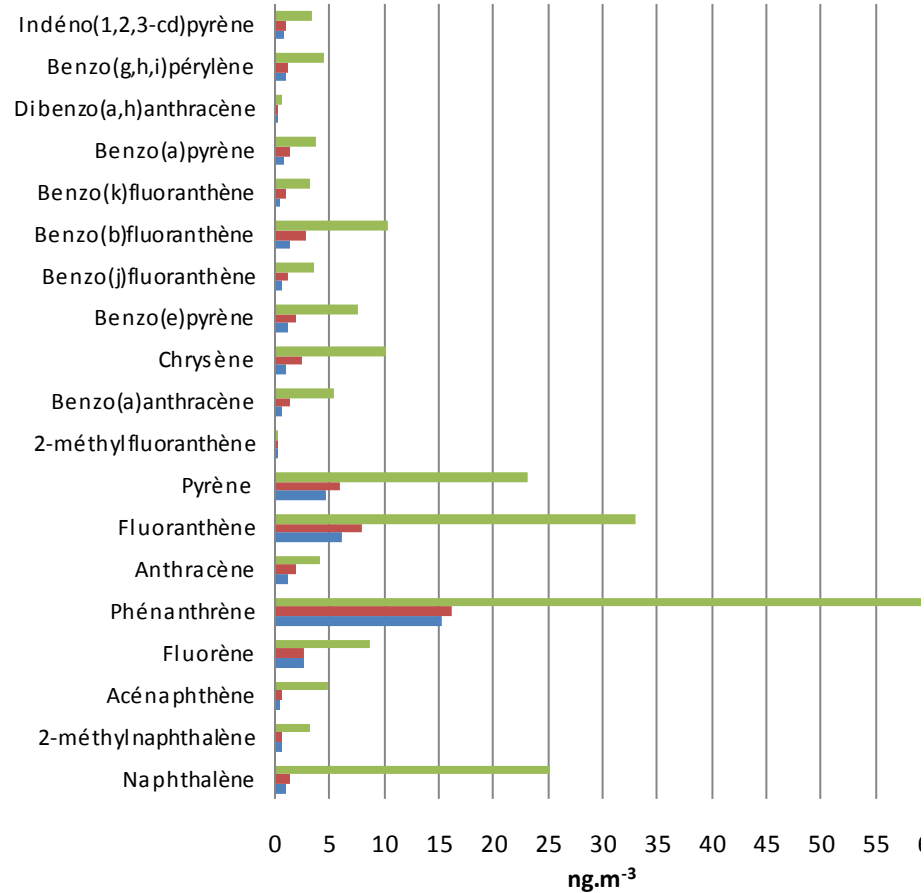
HAP - Moyennes

■ Lyon centre ■ IUFM-Sud ■ Providence des Trinitaires



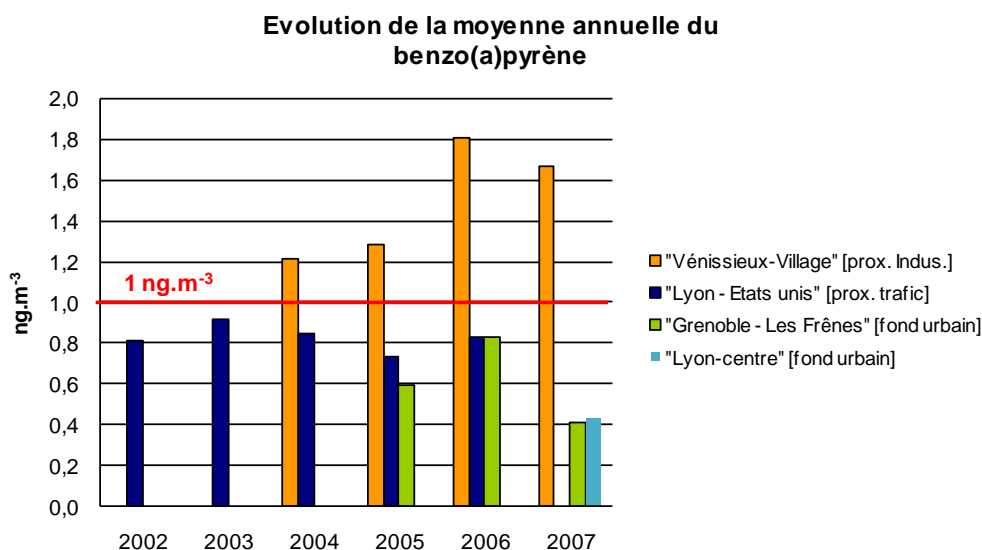
HAP - Maxima (sur 24h)

■ Lyon centre ■ IUFM-Sud ■ Providence des Trinitaires



7.2.3 Tendances à l'horizon 2013

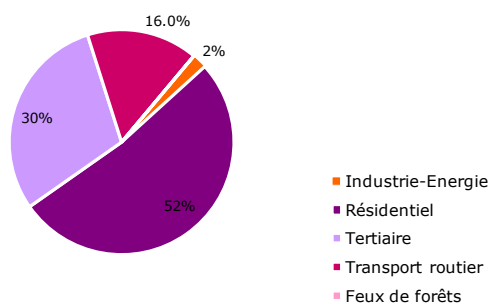
- **Valeurs mesurées au cours des dernières années**



Les mesures de B(a)P ont été stables en proximité automobile et plutôt en augmentation sur un site de proximité industrielle. Le seuil réglementaire de 1 ng.m^{-3} est dépassé uniquement sur un site de surveillance industrielle situé au sud de Lyon (Vénissieux).

- **Emissions actuelles sur la commune de Lyon**

Bap (9,8 kg)



Sur Lyon, la part du trafic routier correspond à 16% des émissions de Benzo(a)pyrène. Ces émissions sont essentiellement liées à l'échappement.

- **Tendance à l'horizon 2013**

Les normes EURO ne concernant pas les HAP, l'évolution des émissions de B(a)p liées au trafic à l'horizon 2013 est corrélée avec l'évolution des consommations ainsi qu'à la diésélisation du parc roulant.

Il est possible que l'évolution des carburants ait un impact sur les émissions de HAP mais aucune donnée n'est disponible à ce jour sur le sujet.

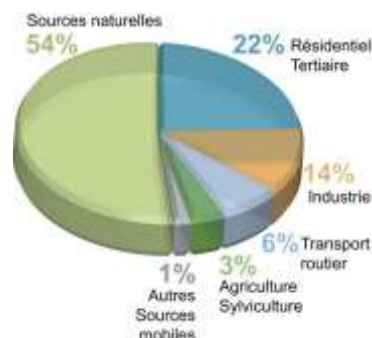
Enfin, les émissions du secteur résidentiel vont probablement évoluer au cours des prochaines années en fonction de la part que le chauffage au bois pourrait prendre dans les modes de chauffage individuels. Cependant, la modernisation des appareils devrait contrebalancer l'impact de l'utilisation du bois comme combustible de chauffage.

Compte tenu de ces incertitudes, il paraît raisonnable de considérer que les concentrations de Benzo(a)Pyrène seront stables entre 2007 et 2013.

7.3 Composés Organiques Volatils (COV)

7.3.1 Emissions

Répartition des émissions en COV¹
(Composés Organiques Volatils Non Méthaniques)
par secteur d'activité
sur la région Rhône-Alpes
(Total : 327 kilotonnes)



La région Rhône-Alpes comprend de larges zones couvertes par la végétation, qui constitue la source principale des émissions de COV.

Cependant, en agglomération, les parts des secteurs industriel, résidentiel et transport augmentent considérablement. De plus, il est à noter que la plupart des COV toxiques (benzène, toluène, composés chlorés,...) sont émis par les activités humaines.

7.3.2 Résultats et valeurs réglementaires

Seul le **Benzène** possède une valeur limite réglementaire en moyenne annuelle fixée à $5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ en 2010 ($8 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ en 2007 avec les marges autorisées) et un objectif de qualité de l'air à $2 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (toujours en moyenne annuelle).

Pour le **1,3-Butadiène**, la valeur de $2,25 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ correspond à un objectif de qualité de l'air du Royaume-Uni.

Parmi tous les COV mesurés pour cette étude, seuls 4 autres composés possèdent une valeur guide préconisée par l'OMS à plus ou moins long terme.

A noter tout de même que plusieurs des COV ont une toxicité reconnue par les différents organismes de santé, mais avec des seuils qui ne peuvent pas être directement traduits en valeur guide. C'est le cas, par exemple, de tous les composés chlorés produits uniquement par l'activité humaine.

Valeurs Réglementaires COV ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)		1,3-Butadiène	Benzène	Toluène	Dichlorométhane	1,2-Dichloroéthane	Tétrachloroéthylène
Valeur limite ou cible - Long Terme (Directives)	(Moy. 1an)		5				
Objectif QA ou Valeur Guide - Long Terme (OMS)	(Moy. 1an)	2,25	2				250
Valeur guide - Moyen Terme (OMS)	(Moy. 7j)			260	450		
Valeur guide - Court Terme (OMS)	(Moy. 24h)				3000	700	

Encore une fois, les niveaux observés sur les deux sites de la Croix-Rousse sont comparables à ceux du site de référence Lyon-Centre.

Aucun dépassement de valeurs réglementaires n'a été constaté sur l'ensemble des mesures réalisées.

¹ Source COPARLY : Cadastre Année 2003 (v2006-1)

Résultats pour les 31 composés précurseurs de l'ozone

	COV µg.m-3 (Canisters 24h)	éthane	éthylène	propane	propène	isobutane	n-butane	acétylène	trans-2-butène	1-butène	cis-2-butène	isopentane	n-pentane	1,3-butadiène	trans-2-pentène	1-pentène	cis-2-pentène	isoprène	1-hexène	n-hexane	benzène	iso-octane	n-heptane	toluène	octane	éthylbenzène	m+p-xylène	styrène	o-xylène	1,3,5-triméthylbenzène	1,2,4-triméthylbenzène	1,2,3-triméthylbenzène
Providence des Trinitaires	Moyenne	3,0	2,0	2,2	0,5	1,0	1,9	1,2	0,0	0,1	0,0	1,1	0,7	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,2	0,8	0,5	0,2	1,9	0,1	0,5	1,1	0,7	0,4	0,1	0,4	0,3
IUFM_Sud	Moyenne	4,3	1,9	3,2	0,6	1,6	2,9	0,7	0,0	0,1	0,0	1,9	1,5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,3	0,9	0,6	0,3	2,4	0,2	0,7	1,8	0,6	0,7	0,1	0,6	0,3
Lyon centre	Moyenne	4,3	3,2	3,6	1,0	1,8	3,7	1,0	0,1	0,3	0,1	4,0	1,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,4	0,3	0,7	1,8	0,8	0,4	5,4	0,3	1,1	3,3	2,4	1,4	0,2	0,9	0,9
Providence des Trinitaires	Min (24h)	1,1	0,5	0,9	0,1	0,2	0,5	0,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,1	0,1	0,7	0,0	0,2	0,4	0,2	0,1	0,0	0,1	0,1
IUFM_Sud	Min (24h)	1,7	0,5	1,1	0,2	0,5	1,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,4	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,4	0,3	0,1	1,0	0,0	0,3	0,5	0,2	0,2	0,0	0,1	0,1
Lyon centre	Min (24h)	1,5	0,9	1,3	0,2	0,5	1,4	0,2	0,0	0,1	0,0	1,5	0,5	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,8	0,3	0,2	2,3	0,1	0,5	1,6	0,8	0,7	0,0	0,4	0,4
Providence des Trinitaires	Max (24h)	7,1	9,1	6,8	1,7	3,7	7,5	8,6	0,2	0,4	0,2	3,5	3,0	0,6	0,3	0,1	0,2	0,5	0,1	0,5	2,3	1,0	0,5	3,6	0,2	0,8	2,2	4,4	0,7	0,2	0,8	0,6
IUFM_Sud	Max (24h)	8,3	5,0	8,9	1,9	4,9	10,0	1,8	0,3	0,7	0,2	5,0	4,6	0,7	0,3	0,1	0,2	0,3	0,1	1,2	1,9	1,3	0,9	4,8	0,8	1,4	3,4	2,2	1,7	0,3	1,7	0,6
Lyon centre	Max (24h)	12,5	11,4	12,6	3,6	8,8	15,0	3,6	0,6	1,6	0,8	17,4	4,5	0,8	0,7	0,6	0,3	3,2	0,9	2,3	3,9	1,7	1,1	21,3	0,7	2,4	6,5	6,4	2,5	0,4	1,9	1,6

NB : Ces statistiques annuelles correspondent à 24 prélèvements pour les sites Trinitaires et IUFM_Sud et 31 prélèvements pour le site de Lyon-Centre.

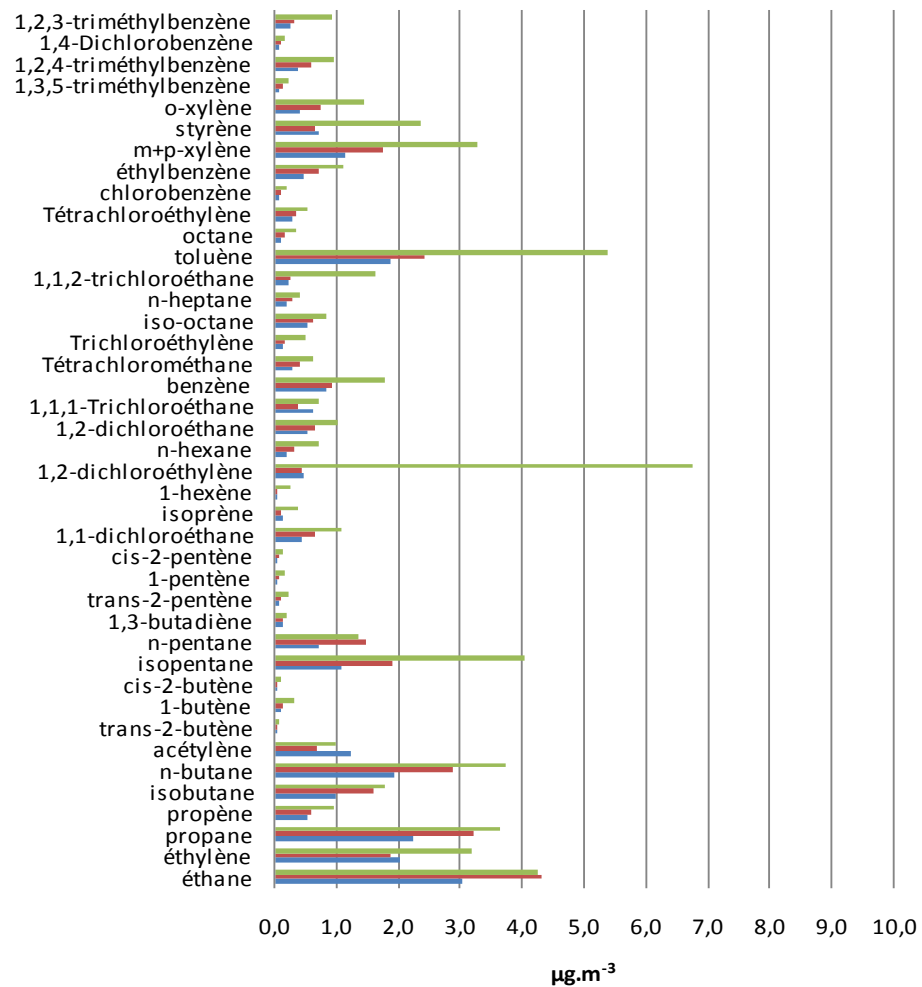
Résultats pour les composés chlorés

	COV µg.m ⁻³ (Canisters 24h)	1,1-dichloroéthane	1,2-dichloroéthylène	1,2-dichloroéthane	1,1,1-Trichloroéthane	Tétrachlorométhane	Trichloroéthylène	1,1,2-trichloroéthane	Tétrachloroéthylène	chlorobenzène	1,4-Dichlorobenzène
Providence des Trinitaires	Moyenne	0,4	0,5	0,5	0,6	0,3	0,1	0,2	0,3	0,1	0,1
IUFM_Sud	Moyenne	0,7	0,4	0,7	0,4	0,4	0,1	0,2	0,3	0,1	0,1
Lyon centre	Moyenne	1,1	6,8	1,0	0,7	0,6	0,5	1,6	0,5	0,2	0,1
Providence des Trinitaires	Min (24h)	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
IUFM_Sud	Min (24h)	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Lyon centre	Min (24h)	0,3	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0
Providence des Trinitaires	Max (24h)	1,2	3,3	1,6	2,6	0,6	1,0	2,7	0,9	0,1	0,2
IUFM_Sud	Max (24h)	1,7	2,3	2,3	1,3	0,9	0,5	2,7	1,1	0,3	0,4
Lyon centre	Max (24h)	3,7	24,9	3,7	2,7	5,8	1,8	6,7	2,8	0,7	0,7

NB : Ces statistiques annuelles correspondent à 24 prélèvements pour les sites Trinitaires et IUFM_Sud et 31 prélèvements pour le site de Lyon-Centre.

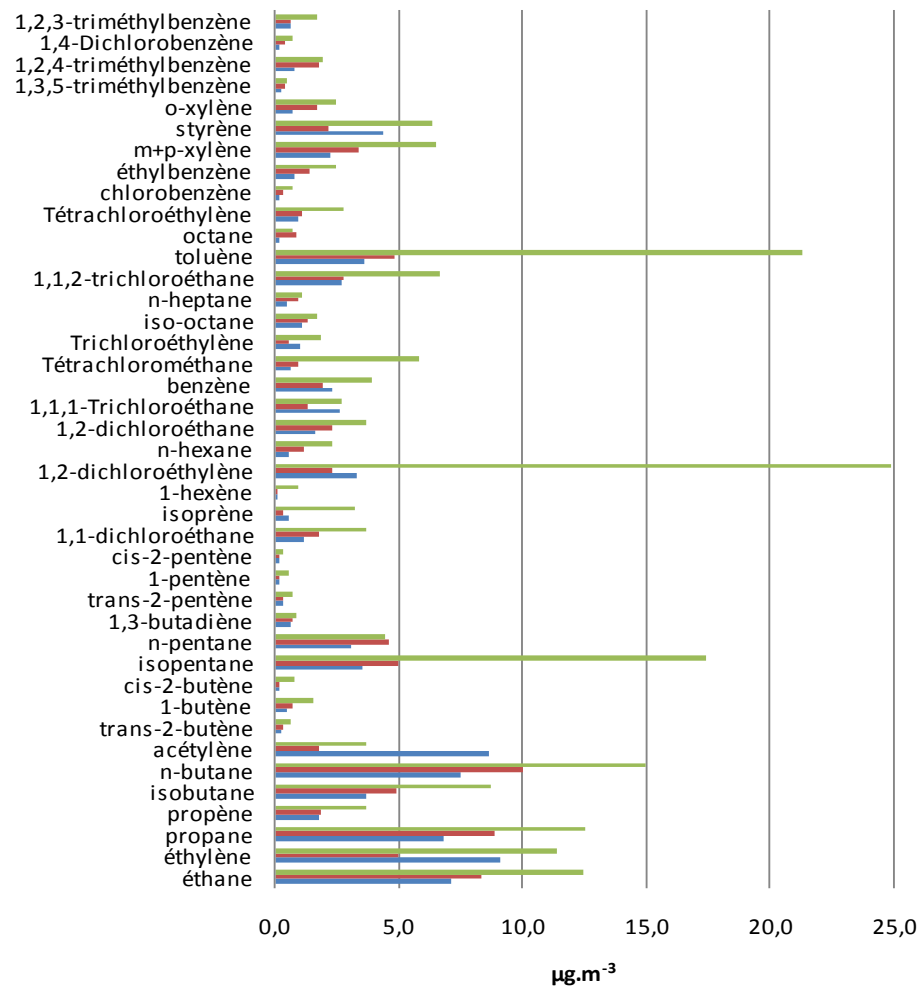
COV - Moyennes

■ Lyon centre ■ IUFM-Sud ■ Providence des Trinitaires



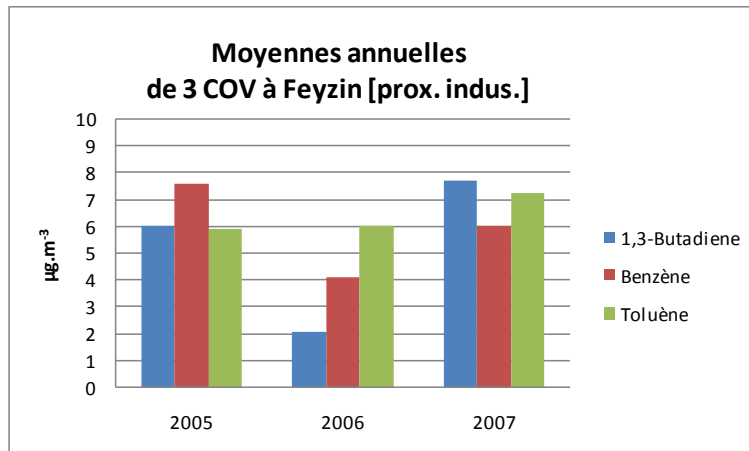
COV - Maxima (sur 24h)

■ Lyon centre ■ IUFM-Sud ■ Providence des Trinitaires

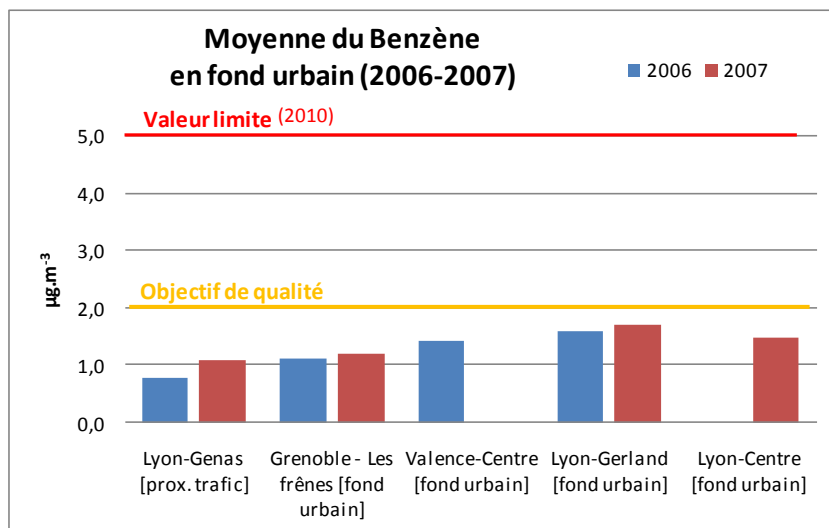


7.3.3 Tendances à l'horizon 2013

- Valeurs mesurées au cours des dernières années

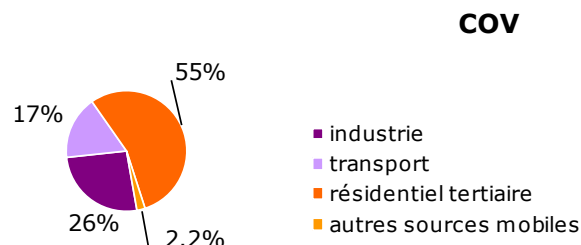


Les mesures de COV ont été historiquement réalisées en proximité industrielle. L'évolution des niveaux d'année en année est donc fortement liée aux émissions industrielles et aux conditions climatiques.



Depuis 2006, un suivi du Benzène a débuté sur plusieurs sites de fond urbain. Les niveaux respectent en moyenne annuelle l'objectif de qualité de l'air de $2 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

- Emissions actuelles sur la commune de Lyon



Sur Lyon, la part du trafic correspond à 17% des émissions de COV totaux, contre 55% pour le secteur résidentiel tertiaire et 26% pour le secteur industriel.

- **Tendance à l'horizon 2013**

Une diminution des COV déjà observée sur le trafic routier devrait se poursuivre avec :

- le nombre de stations-services équipées d'unité de récupération des COV augmentant (dans le cadre de la réglementation qui concernera prochainement les stations dont les ventes excèdent 1000 m³/an contre 3000 m³/an actuellement).
- la quasi disparition des anciens véhicules essence (qui relarguent des vapeurs d'essence au niveau du réservoir)
- la diminution des émissions à l'échappement avec la norme EURO.

Sur le domaine de la Croix-Rousse, les émissions calculées de COV (totaux) issus du trafic varient de 100 t/an en 2007 à 42 t/an en 2013. En revanche, aucune information n'est disponible sur l'évolution des spéciations de COV. Il est probable que la généralisation annoncée des agro-carburants conduise à une augmentation des concentrations de certains COV, et notamment pour la sous-famille des Aldéhydes. Il paraît donc très délicat d'évaluer la tendance en concentration entre 2007 et 2013 pour ces polluants.

8 Résultats de la Modélisation

Les cartes qui suivent présentent les concentrations évaluées par la modélisation sur l'ensemble de la zone étudiée, pour le dioxyde d'azote (NO₂) et les poussières (PM₁₀) en moyenne, sur 7 semaines, considérées comme représentatives de la moyenne annuelle.

8.1 Cartographies du quartier en 2007

Les travaux de modélisation ont été réalisés par l'Ecole Centrale de Lyon, sur la base :

- des résultats de la présente étude (tubes passifs, analyseurs, météo, émissions...)
- des résultats de l'étude de ventilation réalisée par Fluid'Alp,
- des données de trafic fournies par le Grand Lyon

Le modèle de dispersion utilisé (SIRANE) a permis de modéliser les cheminées de ventilation, les têtes de tunnel, ainsi que l'ensemble du réseau routier dense du quartier de la Croix Rousse, pour ensuite établir des cartographies présentant l'évaluation des concentrations en dioxyde d'azote et en particules sur l'ensemble de la zone d'étude.

L'ensemble des hypothèses de calculs et les résultats détaillés de ces simulations sont présentés dans le rapport de l'Ecole Centrale.

8.2 Tendances à l'horizon 2013 : 2 scénarii

Scénario 1 : « 2013, au fil de l'eau »

Un premier scénario a été étudié, en ne tenant compte que des évolutions attendues sur le parc roulant et sur la voirie dans la zone d'étude.

Scénario 2 : « 2013, avec rénovation du tunnel »

Le deuxième scénario tient compte des évolutions attendues avec le projet du Grand Lyon pour la rénovation du tunnel de la Croix-Rousse, qui prévoit la création d'un 2^{ème} tube pour accueillir exclusivement la circulation des transports en commun et des modes doux (vélos et piétons). A noter que le Grand Lyon ne prévoit pas de modifications significatives du trafic (volume, part modale, vitesse,...) à l'horizon 2013 avec ou sans réalisation du projet de rénovation lourde du tunnel existant.

Les pages suivantes présentent les cartographies du dioxyde d'azote (NO₂) et des poussières pour la situation actuelle et pour les deux scénarii à l'horizon 2013.

Pour 2007, la modélisation montre que les niveaux du fond urbain sur la zone de la Croix-Rousse sont inférieurs ou en limite des valeurs réglementaires pour le NO₂ et les particules PM₁₀. En revanche, ces valeurs sont dépassées sur les zones d'entrées/sortie du tunnel, sur une large partie des quais, ainsi que sur plusieurs artères avec une circulation dense. Ces résultats de modélisation corroborent donc les analyses faites dans ce rapport avec les résultats de mesures par tubes passifs et des analyseurs.

Pour 2013, la situation s'améliorer pour les 2 scénarii grâce à la baisse attendue des émissions automobiles. Néanmoins, les valeurs réglementaires ne seront a priori toujours pas respectées aux abords des zones d'entrée/sortie du tunnel, ni sur les grands axes.

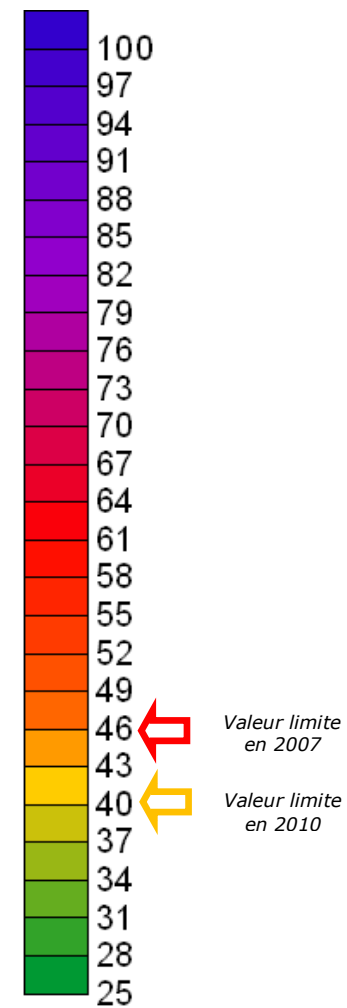
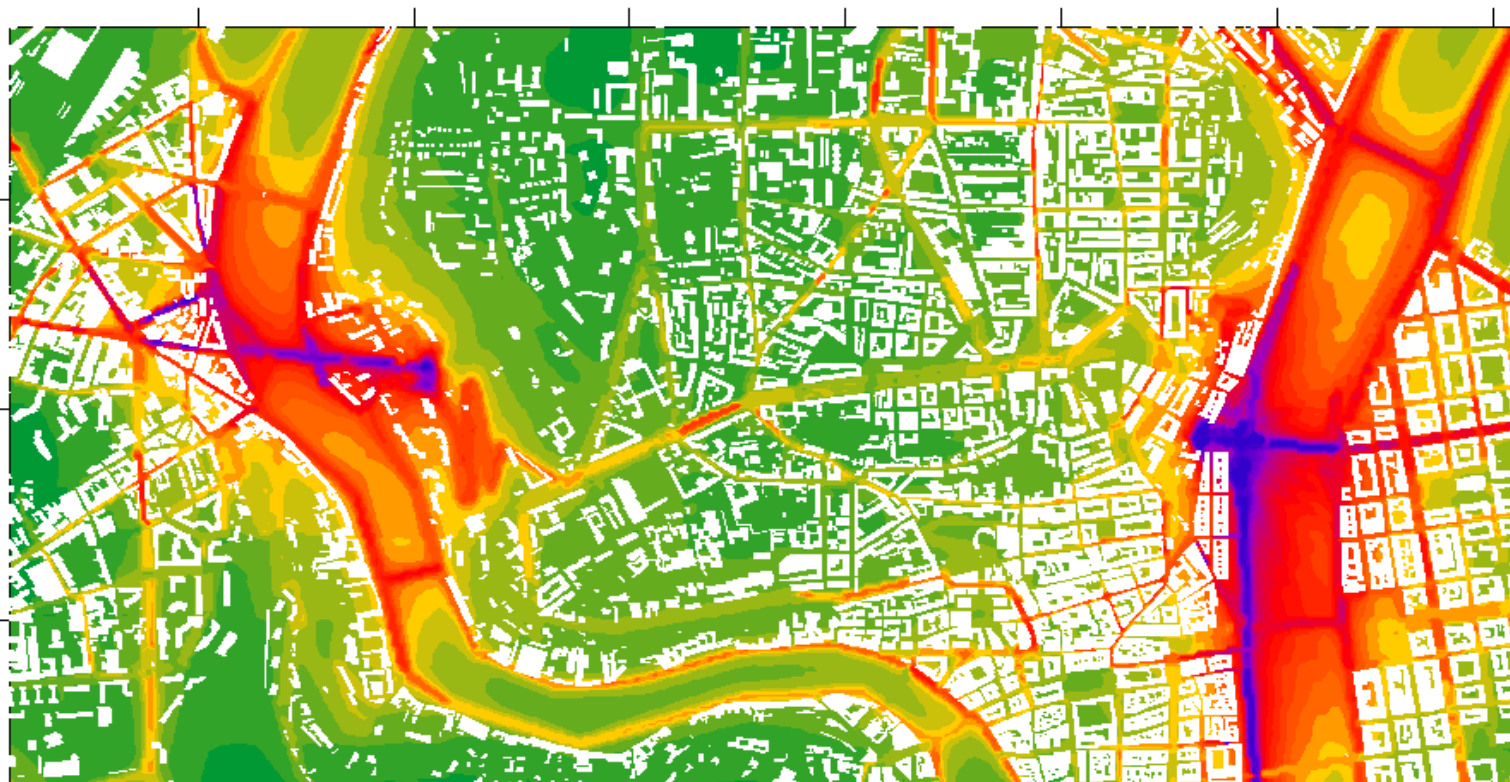
La dernière carte présente les écarts entre le scénario 1 et le scénario 2 (rénovation ou non du tunnel). Elle montre que ces deux scénarii sont quasiment identiques (différence relative¹ inférieure à 2%), avec même une très légère amélioration dans le scénario 2 au niveau des cheminées, ce qui s'explique par le fait que le projet du tunnel rénové ne prévoit une extraction d'air qu'en cas d'urgence (incendie, risque sanitaire,...).

Avec les incertitudes du modèle, ceci indique que la rénovation du tunnel n'a pas a priori d'impact attendu sur la qualité de l'air de la zone.

¹ Ecart relatif = (Scénario 2 - Scénario 1) / Scénario 1

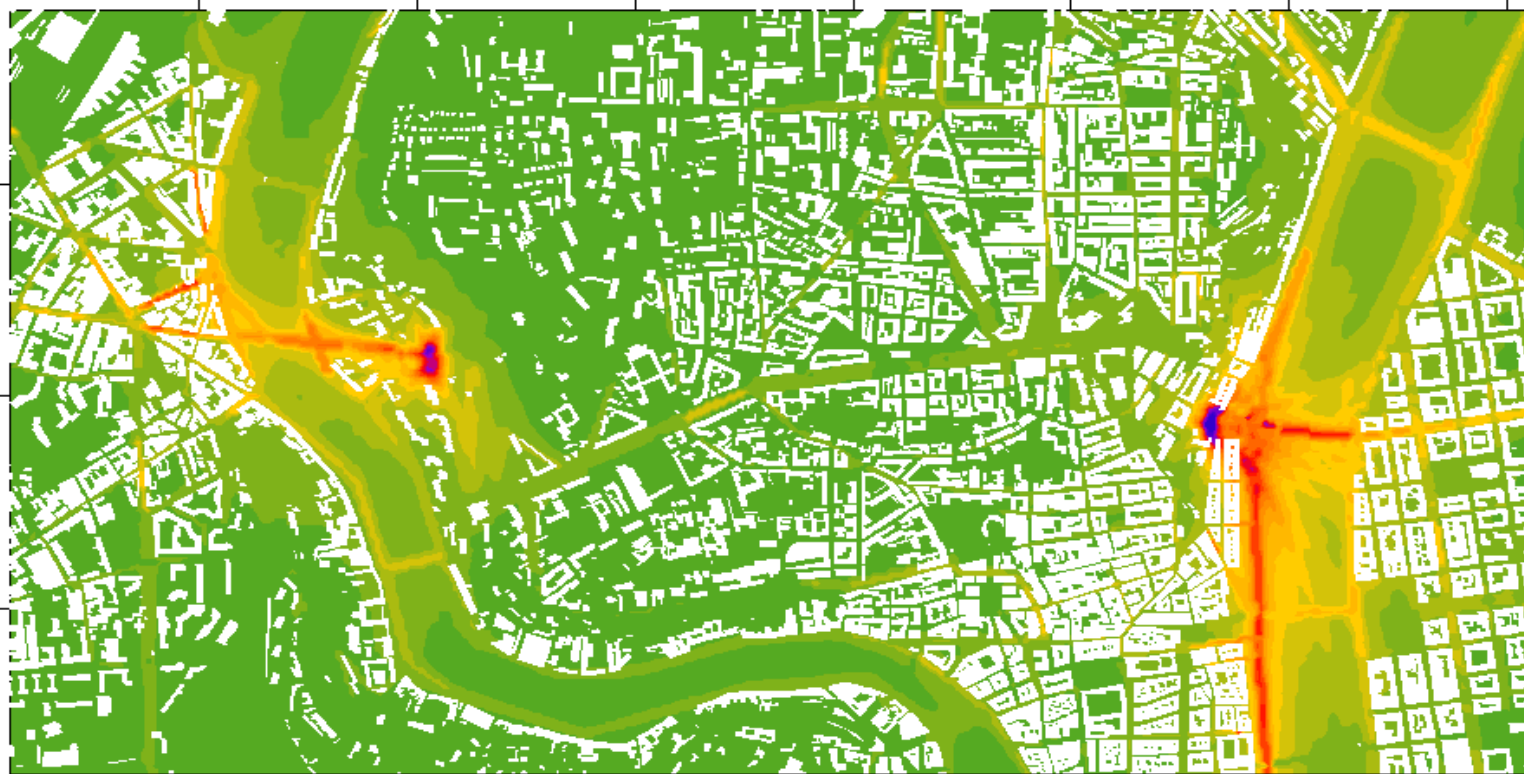
Moyenne annuelle NO2 2007 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Concentrations NO₂
en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

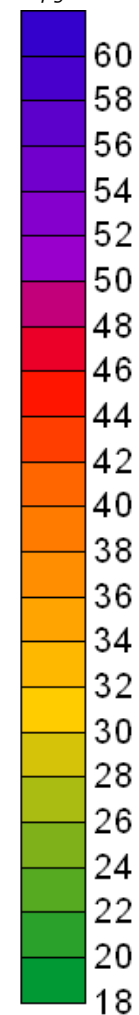


© Ecole Centrale de Lyon

Moyenne annuelle PM 2007 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)



Concentrations PM_{10}
en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$



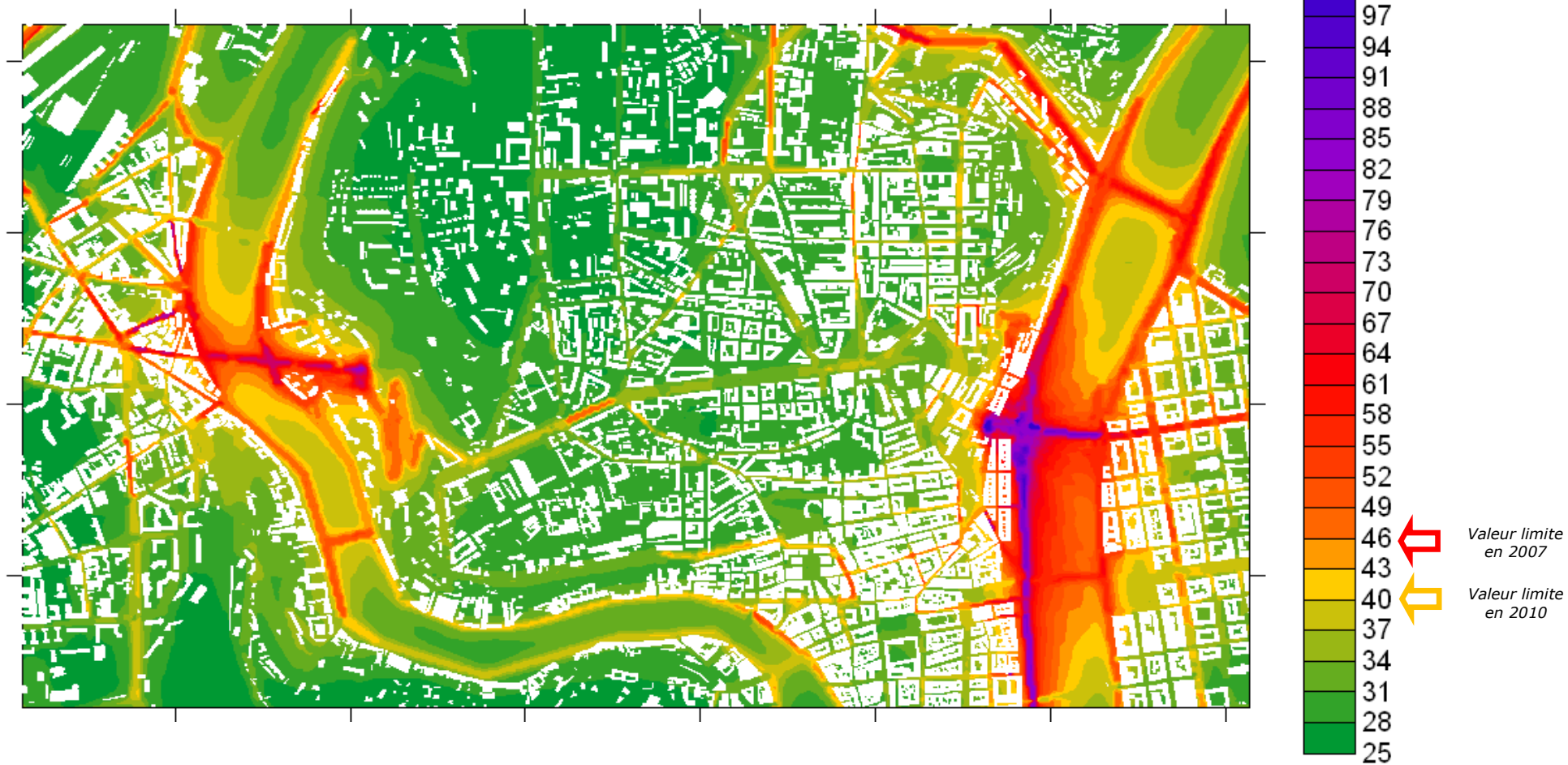
Valeur limite
(2005)

Objectif de
qualité de l'air

© Ecole Centrale de Lyon

Moyenne annuelle NO2 2013 1er scénario ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

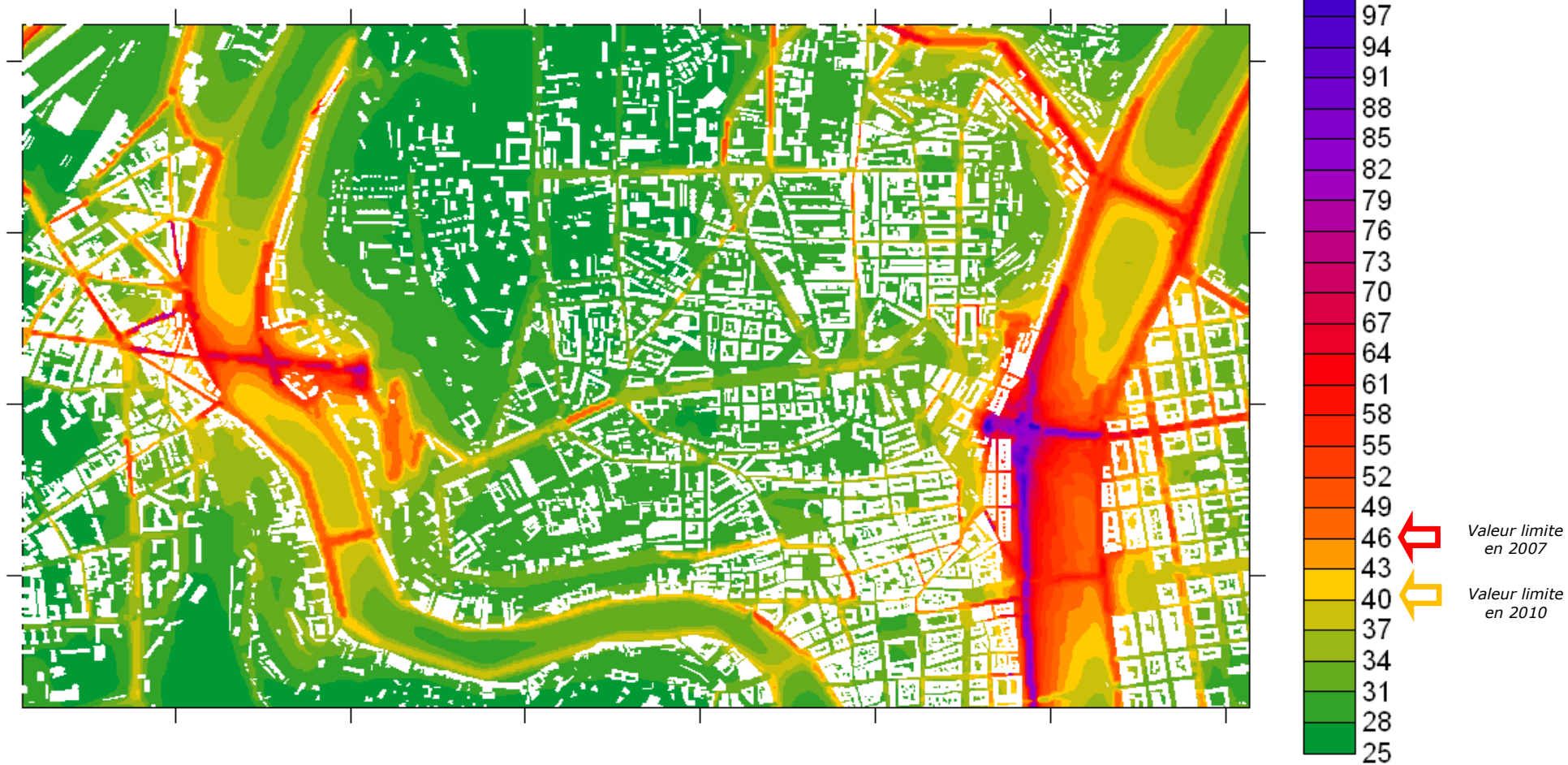
Concentrations NO₂
en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$



© Ecole Centrale de Lyon

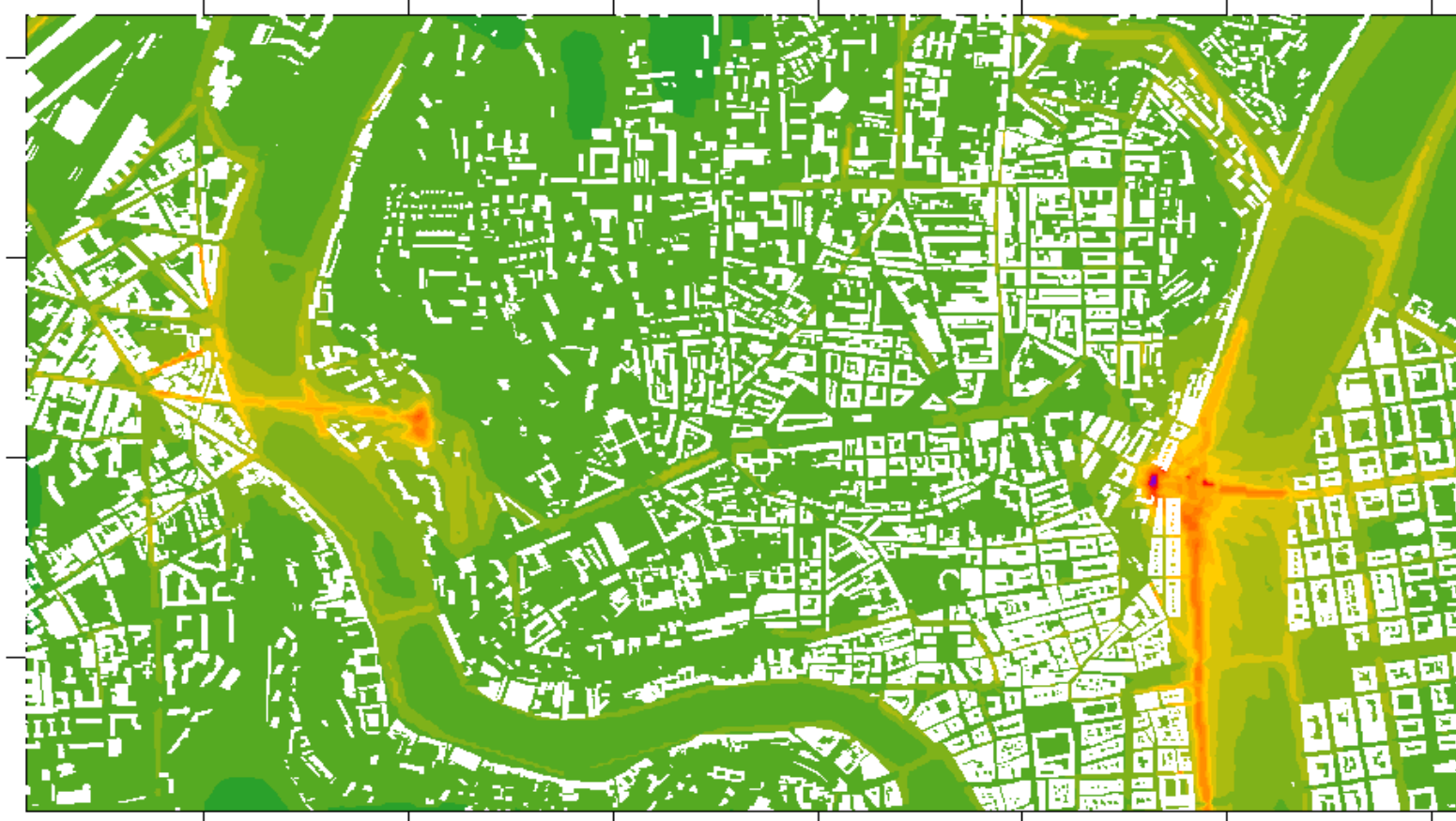
Moyenne annuelle NO2 2013 2e scénario (µg/m3)

Concentrations NO₂
en µg.m⁻³

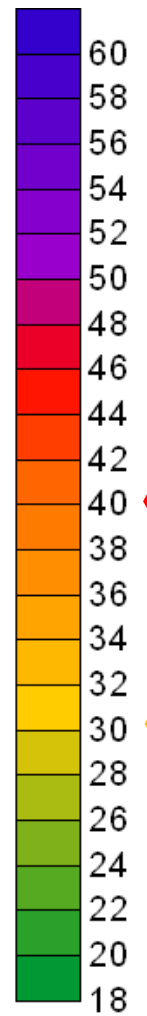


© Ecole Centrale de Lyon

Moyenne annuelle PM 2013 1er scénario ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)



Concentrations PM_{10}
en $\mu\text{g}.\text{m}^{-3}$



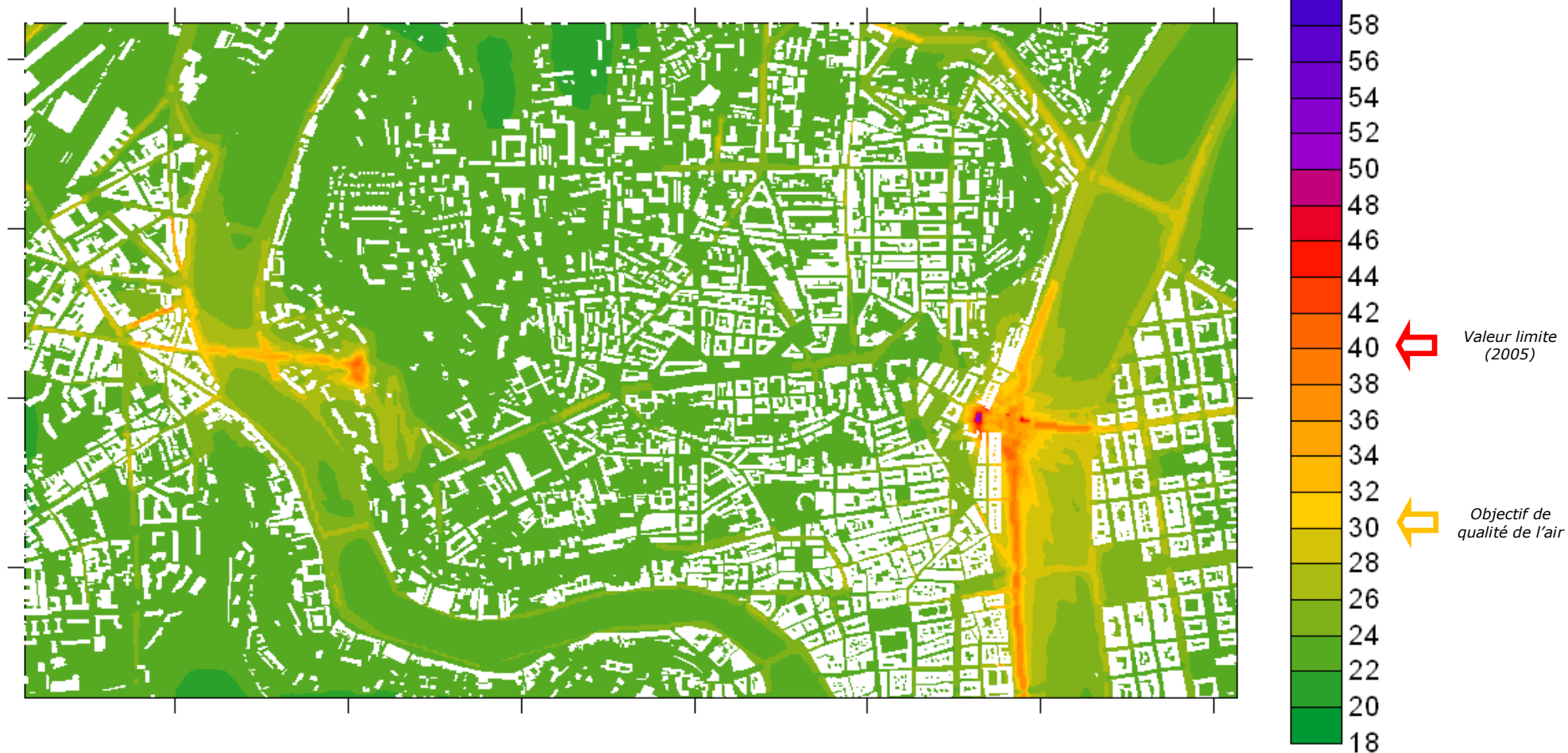
Valeur limite
(2005)

Objectif de
qualité de l'air

© Ecole Centrale de Lyon

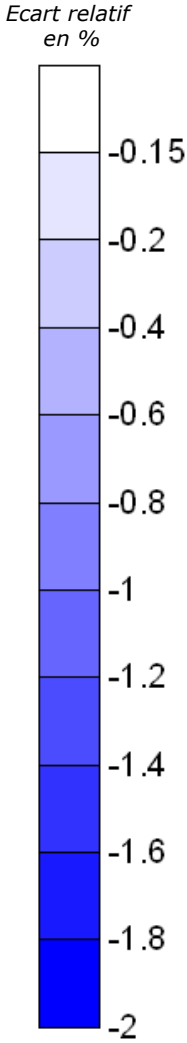
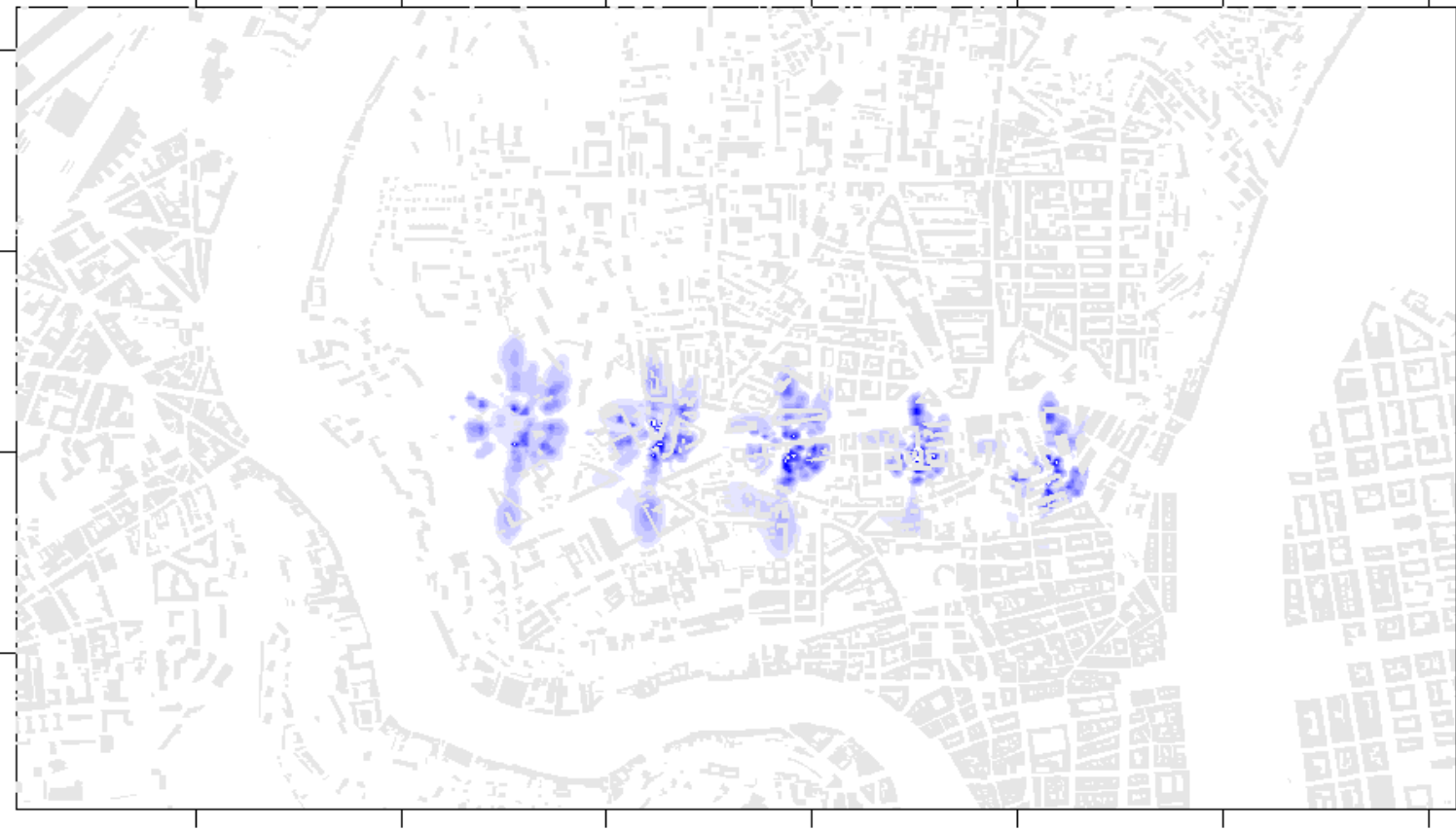
Moyenne annuelle PM 2013 2e scénario ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Concentrations PM_{10}
en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$



© Ecole Centrale de Lyon

Ecart relatif 05-2013 premier scénario / 05-2013 deuxième scénario NO2



© Ecole Centrale de Lyon

9 Conclusions et perspectives

L'important dispositif de mesure mis en œuvre pour cette étude a permis d'appréhender, d'une part, la répartition spatiale de la pollution atmosphérique à partir des mesures par tubes passifs (NO₂, Benzène, Aldéhydes,...) et d'autre part, d'analyser l'évolution des concentrations de polluants dans le temps en relation avec les variations des émissions, notamment celles du trafic automobile.

Les trois sites mobiles implantés pour effectuer des mesures en continu et des prélèvements (« Trinitaires », « IUFM_Sud » et « IUFM_Nord ») ont été représentatifs d'un fond urbain, avec des niveaux comparables aux valeurs mesurées sur des sites urbains de l'agglomération lyonnaise :

Dioxyde de soufre (SO₂)

- Les concentrations en SO₂ à la Croix-Rousse sont globalement faibles.
- sur les 4 périodes de mesure, les niveaux ont été inférieurs aux valeurs réglementaires et il n'y a eu aucune valeur horaire significativement élevée.

Dioxyde d'azote (NO₂)

- Les moyennes annuelles ont été proches de la valeur 40 µg.m⁻³ (Objectif de qualité de l'air et valeur limite en 2010), sans toutefois la dépasser.
- Des niveaux plus importants ont été observés en moyenne horaire sur le site des « Trinitaires », jusqu'à approcher le seuil d'information de 200 µg.m⁻³. L'origine de ces concentrations semble locale, mais n'a pas pu être reliée aux rejets de la cheminée du tunnel à proximité du site.
- L'évolution horaire des niveaux est bien corrélée avec les heures de pointe du trafic.

Particules fines (PM₁₀)

- Les niveaux en particules à la Croix-Rousse sont légèrement inférieurs aux niveaux mesurés sur le site de fond urbain « Lyon-Centre ».
- Les moyennes sur l'ensemble des 4 saisons ont été inférieures à l'objectif de qualité de l'air (30 µg.m⁻³)
- En revanche, la valeur limite de 50 µg.m⁻³ en moyenne journalière est dépassée plus de 35 fois dans l'année sur le site de fond IUFM_Nord et il en aurait été a priori de même sur les deux autres sites sondés à la Croix-Rousse, si les mesures avaient duré une année complète.
- L'origine de ces niveaux est vraisemblablement liée à la densité du trafic automobile sur le plateau de la Croix-Rousse.
- En période hivernale, quelques valeurs horaires ont pu atteindre jusqu'à 140 µg.m⁻³, mais sans lien apparent avec les rejets des cheminées du tunnel.

Métaux Lourds (ML)

- Aucun dépassement des normes en vigueur n'a été observé pour les métaux lourds réglementés (Nickel, Cadmium, Arsenic et Plomb) sur la période de mesure.
- Aucune valeur notable n'est apparue non plus pour le Chrome et le Zinc.
- Les niveaux moyens ont été homogènes sur les deux sites sondés
- A signaler qu'une valeur nettement plus élevée que les autres en Nickel a été observée, mais uniquement sur le site IUFM_Sud et sur un seul prélèvement. L'origine de cette valeur n'a pas été déterminée, mais aucune relation n'a pu être établie avec les rejets de la cheminée.

Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)

- Aucun dépassement des normes en vigueur n'a été observé pour le benzo(a)pyrène sur la période de mesure (valeur cible en 2012 de 1 ng.m⁻³ en moyenne annuelle).
- Les niveaux moyens ont été homogènes sur les deux sites sondés.

Autres Composés Organiques Volatils (COV)

- Pour les quelques composés réglementés, aucun dépassement des normes en vigueur n'a été observé sur la période de mesure.
- Pour les autres composés, les valeurs sont globalement inférieures ou égales aux niveaux observés sur le site de « Lyon-Centre ».

Les mesures par tubes passifs combinées à celles des analyseurs et aux travaux de modélisation ont permis d'évaluer **les concentrations sur l'ensemble du quartier de la Croix-Rousse pour le NO₂ et les particules PM₁₀** :

Les niveaux les plus élevés sont observés aux deux entrées/sorties du tunnel avec de fortes valeurs également sur les quais, côté Rhône et côté Saône (80 à 100 µg.m⁻³ pour le NO₂ et 45 à 60 µg.m⁻³ pour les PM₁₀). En s'éloignant des deux têtes de tunnel, les niveaux baissent rapidement et sensiblement (jusqu'à -50%).

A proximité des autres grands axes, les moyennes dépassent les objectifs de qualité de l'air (40 µg.m⁻³ pour le NO₂ ; 30 µg.m⁻³ pour les PM₁₀), mais également souvent les valeurs limites (46 µg.m⁻³ pour le NO₂ en 2007 ; 40 µg.m⁻³ pour les PM₁₀ depuis 2005).

Sur les sites plus éloignés des axes principaux, représentatifs du fond urbain du quartier de la Croix-Rousse, les moyennes pour les deux polluants sont légèrement inférieures ou très proches des objectifs de qualité de l'air. Les niveaux sont plus élevés sur la moitié Est de la zone d'étude que la moitié Ouest, en lien avec les densités de population et de trafic routier de chacune des zones.

Les mesures réalisées à proximité des cheminées montrent des moyennes comparables aux niveaux de fond urbain ou légèrement influencés par les grands axes (Montée des Esses, Bd de la Croix-Rousse,...). Elles ne portent pas de signature particulière pouvant être liée aux émissions routières du tunnel.

Enfin, deux scénarii prospectifs ont été étudiés pour 2013 : l'un appelé « Au fil de l'eau » tenant compte des évolutions attendues sur le parc roulant et sur la voirie dans la zone d'étude ; et l'autre appelé « Tunnel rénové » tenant compte des évolutions attendues avec le projet de rénovation du tunnel de la Croix-Rousse (création d'un 2^{ème} tube pour accueillir exclusivement la circulation des transports en commun et des modes doux).

Dans les deux cas, la situation devrait s'améliorer du fait notamment de la baisse des émissions attendue avec les réglementations EURO.

Les résultats de modélisation montrent que le projet de rénovation du tunnel n'a pas d'impact notable sur la qualité de l'air de la zone.

Néanmoins, les valeurs réglementaires ne seront a priori toujours pas respectées aux abords des zones d'entrée/sortie du tunnel, ni sur les grands axes de la Croix-Rousse.

Tableau de synthèse de la qualité de l'air sur la zone de la Croix-Rousse

Famille de polluants	Fond urbain (Mesures en continu)	Proximité trafic (Résultats tubes passifs ou modélisation)	Composés réglementés avec une valeur limite ou valeur cible (fixée par des Directives)	Composés avec un objectif de qualité de l'air ou une valeur guide (fixée par l'OMS, l'AFFSET,...)
Métaux Lourds	😊	—	Nickel, Cadmium, Arsenic, Plomb	Cadmium, Plomb
HAP	😊	—	Benzo(a)pyrène	
Aldéhydes	😊	😊		Formaldéhyde (valeur en air intérieur)
COV	😐	😐	Benzène	Benzène
	😊	—		Toluène, 1,3-Butadiène, 1,2-Dichloroéthane, Tétrachloroéthylène
Polluants « classiques » primaires	😊	—	Dioxyde de soufre	
	😐	😞	Dioxyde d'azote	
	😞	😞	Particules fines	
Polluants secondaires	😐	—	Ozone	

- 😞 Dépassement constaté de valeurs réglementaires
- 😐 Dépassement constaté de valeurs guides ou d'objectif de qualité de l'air
- 😐 Niveaux moyens, en limite de dépassement
- 😊 Niveaux globalement faibles ou comparables au fond urbain
- Pas de mesures

ANNEXE 1 : ADRESSES ET COORDONNEES DES SITES

Site	X_UTM31	Y_UTM31	Adresse
C1-Labo_Trinitaires	641271	5070567	Site mobile "Ecole Providence des Trinitaires" (Cheminée n°1)
C1-E50	641347	5070567	Ecole Providence des Trinitaires (transect)
C1-N100	641275	5070670	Parc de la cerisaie (transect)
C1-N200	641275	5070770	Rue Chazière n°45
C1-N50	641275	5070620	Parc de la cerisaie (transect)
C1-NE100	641315	5070660	Entrée du parc de la Cerisaie
C1-NE200	641340	5070705	Rue Chazières (résidence "Le Parc")
C1-NW100	641240	5070660	Parc de la cerisaie (transect)
C1-NW200	641200	5070690	Parc de la cerisaie (transect)
C1-S100	641290	5070450	Ecole Providence des Trinitaires (transect)
C1-S200	641300	5070395	Rue Bleton (impasse)
C1-S50	641285	5070495	Ecole Providence des Trinitaires (transect)
C1-SE100	641365	5070450	Ecole Providence des Trinitaires (transect)
C1-SE200	641385	5070400	Angle rue Bleton / rue Bony
C1-SW100	641220	5070442	Ecole Providence des Trinitaires (transect)
C1-SW200	641190	5070385	Montée des Esses / rue Poudrière
C1-W50	641216	5070558	Ecole Providence des Trinitaires (transect)
C2	641607	5070555	Rue Philippe De Lassalle / rue Anselme (Cheminée n°2)
C2-N_Labo_UIFM_Nord	641530	5070639	Site Semi-fixe "IUFM Nord" - 8 Rue Philippe De Lassalle
C2-S	641627	5070488	Rue Philippe De Lassalle / Bd Croix-Rousse
C3	641930	5070530	84-86 bd croix rousse (Sous Cheminée n°3)
C3-N10	641929	5070564	99-101 bd Croix Rousse
C3-N100	641950	5070775	Rue Jacquard / Avenue Cabias (grpe scolaire)
C3-N50	641940	5070630	Place Tabareau
C3-S100	641920	5070330	Rue des Chartreux / rue Ornano
C3-S50_Labo_IUFM_Sud	641900	5070435	Site mobile "IUFM Sud"
C4	642258	5070516	Croisement rue Raymond/rue Crimée (sous Cheminée n°4)
C4-N100	642235	5070610	Boulevard Croix-rousse (au niveau de la place des tapis)
C4-N50	642215	5070570	Rue St-François d'assise / boulevard croix rousse
C4-S50	642225	5070440	Rue St-François d'Assise / rue de l'Alma
C4-W	642220	5070510	Rue St-François d'Assises / Rue de Crimée (maison de retraite)
C5	642587	5070456	Rue de Sève (Sous Cheminée n°5)

C5-N	642594	5070521	Eglise St Bernard ; 15 rue Vaucanson (maternelle + crèche)
C5-S	642580	5070400	12 rue Lemot
TR	642830	5070440	place Michel Servet (Tête de tunnel côté Rhône)
TR-E	642923	5070432	Place M.Servet - pont de Lattre de Tassigny
TR-N	642860	5070510	Place Chazette / 3 Crs d'Herbouville
TR-S	642815	5070380	Ecole Michel Servet / 7 rue A.Lorraine
TS	641125	5070580	Av Birmingham (Tête de tunnel côté Saône)
TS-N	640884	5070760	Rue des Entrepôts / rue Jean Bouin (Lycée St Charles / Ecole des Entrepôts)
TS-S	640985	5070500	Place de Serin - Aire de Jeux
TS-W	640950	5070595	Av Birmingham / sortie du tunnel côté Saône
XR-01	642330	5071670	Bd Canuts / Montée de la Boucle
XR-02	642460	5071450	99 Gde rue de la Croix-Rousse / Place Joannes Ambre
XR-03	642915	5071415	rue de la Fontaine / passerelle Montée de la Boucle
XR-04	640910	5071360	57 quai Joseph Gillet ; angle rue Niepce / rue d'Ypres
XR-05	641155	5071250	83 rue Chazières (proximité crèche et internat)
XR-06	642363	5071349	Hôpital de la Croix-Rousse
XR-07	642620	5071170	Rue Belfort / rue Pailleron (Gpe scolaire)
XR-08	643130	5071190	Place Adrien Godien (début montée de la boucle)
XR-09	640750	5071000	Passerelle Mazaryk
XR-10	641750	5071030	22 rue Gorjus (Parc Popy / Crèche Popy)
XR-11	642130	5070990	Bd des Canuts / rue Pelletier
XR-12	642440	5070990	Gde rue de la Croix-Rousse / rue du Chariot d'Or
XR-13	642640	5070980	Rue Belfort / rue du Chariot d'Or
XR-14	642830	5070970	Rue Louis Thevenet / rue du Chariot d'Or (lycée M.Slevé)
XR-15	642640	5070740	Rue Belfort / Boussange / Austerlitz
XR-16	642385	5070620	Place de la Croix-Rousse
XR-17	642360	5070505	9 rue JB Say / au bout de la rue de Crimée
XR-18	642470	5070520	Ecole Raoul Dufy (Espace Vaucanson)
XR-19	642755	5070440	Ruelle des Fantasques
XR-20	642775	5070375	Ecole Michel Servet / Jardin Public
XR-21	642273	5070165	Rue du Jardin des Plantes
XR-22	641305	5069998	Cours Général Giraud
XR-23	641880	5070050	Place Rouville (Esplanade)
XR-24	642350	5070080	Rue Terme / rue du Jardin des plantes
XR-25	642745	5070130	Montée St Sebastien / Place Croix-Paquet

ANNEXE 2 : RESULTATS DES TUBES PASSIFS PAR SITE ET PAR CAMPAGNE – DIOXYDE D'AZOTE (NO₂)

Site	NO2_1a	NO2_1b	NO2_2a	NO2_2b	NO2_3a	NO2_3b	NO2_4a	NO2_4b	NO2 Moy annuelle* (*sans la campagne 2b)
C1-Labo_Trinitaires	21	23	24	20	36	31	35	54	32
C1-E50			24	17			33	51	36
C1-N100	26	20	24	17	32	28	32	53	31
C1-N200	31	27		20	36	34	38	55	37
C1-N50	23	22	24	16	34	28	34	52	31
C1-NE100			24	16			32	52	36
C1-NE200			29	19			38		33
C1-NW100			23	16			36	50	37
C1-NW200			25	16			34	52	37
C1-S100	27	26	27	20	36	29	35	56	34
C1-S200	47	43	44	42	52	45	43	67	49
C1-S50	28	27	27	18	38	33	37	50	34
C1-SE100			33	15			34	52	40
C1-SE200			32	23			40	60	44
C1-SW100			35	32			41	63	47
C1-SW200			63	51			52	80	65
C1-W50			29	26			35	55	40
C2	38	33	37	29	46	38	38	63	42
C2-N_Labo_UIFM_Nord	25	24	27	19	36	32	39	56	34
C2-S	45	36	39	28	45	40		66	45
C3	46	33	39	25	47	43	49	68	46
C3-N10	45	37	43	32	51	40	44	67	47
C3-N100	34	27	30	19	40	37	41	60	39
C3-N50	33	27	30	21	40	35	41	59	38
C3-S100	39	33	34	29	46	42	45	68	44
C3-S50_Labo_IUFM_Sud	25	30	32	26	46	37	42	66	40
C4	37	29	34	22	41	41	48	62	42
C4-N100	49	45	46	42	51	44	46	71	50
C4-N50	47	33	39	26	46	48	53	66	47
C4-S50	35	28	31	23	42	39	45	62	40
C4-W	39	30	34	26	46	43	60		42
C5	41	33	37	26	38	39	47	63	43

C5-N	34	25	26	22	36	33	39	56	36
C5-S	45	40	44	37	54	44	48	69	49
TR	120	79	99	46	73	85	94	127	97
TR-E	79	64	65	41	66	58	83	96	73
TR-N	67	62	58	46	47	52	54	84	61
TR-S	50	40	43	32	48	44	51	70	49
TS	131	78	108	39	76	77	78	95	92
TS-N	36	32	29	25	40	34	43	56	39
TS-S	42	36	41	30	45	38	41	65	44
TS-W	82	72	69	47	74	56	70	93	74
XR-01	48	45	44	41	52	44	53	73	51
XR-02	65	61	56	53	64	51	58	81	62
XR-03	59	49	45	42	52	49	63	79	57
XR-04	66	64	63	50	61	55	62	75	64
XR-05	29	25	24	22	32	28	36	55	33
XR-06	33	27	25	21	35	31	40	57	35
XR-07	49	44	40	39	54	44	51	75	51
XR-08	82	68	66	58	66	61	79	89	73
XR-09			46	31			55	70	57
XR-10	36	27	27	24	37	33	41	59	37
XR-11	49	45	41	36	54	41	52	71	50
XR-12	45	33	38	28	40	39	51	69	45
XR-13	48	36	37	26	47	38	49	69	46
XR-14	35	27	28	21	38	32	39	59	37
XR-15	57	48	50	41	63	46	48	75	55
XR-16	59	54	49	42	68	43	54	75	57
XR-17			40	46			48	70	53
XR-18	37	28		24	42	36	45	61	41
XR-19			51	35			46	68	55
XR-20	44	34	36	23	42	36	48	67	44
XR-21			38	30			49	64	50
XR-22	42	35	41	33	51	38	43	67	45
XR-23	35	28	28	24	45	37	43	65	40
XR-24	80	60	86	52	65	51	57	98	71
XR-25	73	58	65	51	69	64	86	88	72

ANNEXE 3 : RESULTATS DES TUBES PASSIFS PAR SITE ET PAR CAMPAGNE – BENZENE (C₆H₆)

Site	Benz_1a	Benz_1b	Benz_2a	Benz_2b	Benz_3a	Benz_3b	Benz_4a	Benz_4b	Benzene Moy annuelle* (*sans la campagne 2b)
C1-Labo_Trinitaires	1,1	0,7	1,1		1,3	1,9	1,2	2,0	1,3
C1-E50			0,8	0,7			1,4	2,0	1,4
C1-N100	1,1		0,9	0,7	1,4	2,0	1,1	1,9	1,4
C1-N200	1,3			1,0	1,5	2,0	1,6	2,9	1,9
C1-N50	1,1	0,7	0,8	0,7	1,4	2,0	1,3	2,0	1,4
C1-NE100			1,0	0,6			1,5	2,0	1,5
C1-NE200			1,2	0,9			1,6		1,4
C1-NW100			1,2	0,8			1,3	2,1	1,5
C1-NW200			0,9	0,7			1,2	2,1	1,4
C1-S100	1,1	0,7	1,0	0,7	1,5	2,1	1,3	2,0	1,4
C1-S200	1,4	1,0	1,4	1,2	1,8	2,4		2,1	1,7
C1-S50	1,2	0,8	1,1	0,6	1,4	2,2	1,3	2,0	1,4
C1-SE100			1,1	0,8			1,2	2,0	1,4
C1-SE200			1,2	0,8			1,4	2,3	1,6
C1-SW100			1,4	0,9				1,5	1,4
C1-SW200			1,7	1,4			1,5	2,5	1,9
C1-W50			1,1	0,7			1,1	1,9	1,4
C2	1,3	1,3	1,3	1,1	1,8		1,5	2,4	1,6
C2-N_Labo_UIFM_Nord	1,1	1,1	1,0	0,6	0,7	1,9	1,3		1,2
C2-S	1,6	1,0	1,4	1,2	1,9	2,4		3,5	2,0
C3	1,5	0,9	1,3	0,8	0,8		1,7	2,6	1,5
C3-N10	1,5	1,2	1,6	1,6	2,0	2,2	1,3	2,2	1,7
C3-N100	1,6	1,1	1,3	0,8	1,6	2,8	1,5	2,3	1,8
C3-N50	0,7	0,8	1,4	1,0	1,7	2,0	1,7	2,9	1,6
C3-S100	1,7	1,4	1,7	1,4	2,5	3,5	1,6	2,8	2,2
C3-S50_Labo_IUFM_Sud	1,1	1,0	1,2	1,0	1,6	2,2	1,6	2,2	1,6
C4	1,8	1,2	1,5	1,0	1,6	2,2	1,7		1,7
C4-N100	2,0	1,7	1,7	1,5	2,2		1,7	2,5	2,0
C4-N50	1,7		1,6	0,9	1,8	2,6	1,8	2,2	1,9
C4-S50	1,6	1,0	1,3	1,0	1,6	2,3	1,5	2,3	1,6
C4-W	1,6	1,0	1,4	0,9	1,8	2,5	1,9		1,7
C5	2,1	1,5	1,8	1,1	1,9	2,5	2,3	2,7	2,1

C5-N	1,6	0,9	1,2	0,7	1,5	2,1	1,6	2,0	1,6
C5-S	2,3	2,2	2,2	1,8	2,5	2,7	2,4	3,3	2,5
TR	3,6	2,4	3,5	0,8	2,1	3,6	2,6	4,6	3,2
TR-E	2,1	1,6	2,3	2,0	2,0	2,7		3,4	2,3
TR-N	2,2	1,9	2,2	1,6	1,6	3,0	1,7		2,1
TR-S	1,9	1,4	1,8	1,1	1,8	2,7	1,8	2,8	2,0
TS	0,9	1,9	3,5	1,3	3,0	4,0	2,9	3,7	2,8
TS-N	1,2	0,8		0,9	1,5	2,2	1,6	2,3	1,6
TS-S	1,5	1,0	1,5	1,0	2,0	2,6	1,6	2,7	1,9
TS-W	2,5	2,0	2,1	1,5	3,1	3,3	2,6	4,0	2,8
XR-01	1,6	1,2	1,6	1,3	2,1	2,8		2,8	2,0
XR-02	2,5	2,4	2,1	2,7	2,8	3,2		3,8	2,8
XR-03	1,7	1,4	1,7	1,1	2,1	2,8	1,7	3,1	2,1
XR-04	2,0	1,5	1,8	1,6	2,5	3,0	2,4	3,3	2,4
XR-05	1,3	0,8		0,7	1,3	1,9		2,7	1,6
XR-06	1,4	0,9	1,3	1,0	1,3	2,2	1,6	2,8	1,7
XR-07		1,8		1,7	2,4	2,9	2,1	3,4	2,5
XR-08	2,8	2,4	2,8	2,3	3,0	3,6	2,5	3,9	3,0
XR-09			1,7	1,0			2,2	3,0	2,3
XR-10	1,5	1,1	1,3	0,8	1,7	2,2	1,7	2,9	1,8
XR-11	1,5	1,4	1,7	1,1	1,9	2,5	1,8	2,5	1,9
XR-12	2,0	1,4	1,8	1,1	1,9		2,6	3,7	2,2
XR-13	1,9	1,5		1,5	2,2	2,7	2,5	3,6	2,4
XR-14	1,5		1,4	0,8	1,5	2,3	2,0	2,9	1,9
XR-15	2,2	2,0	2,6	2,0	3,1	3,3	2,3	3,6	2,7
XR-16	1,7	1,6	1,9	1,6	2,7	2,5		2,6	2,2
XR-17			1,7	1,3			2,0		1,9
XR-18	1,3	0,8			1,5		1,7	2,2	1,5
XR-19			2,2					2,7	2,4
XR-20	1,6		1,4	0,9	1,7	2,5	1,5	2,1	1,8
XR-21			1,2	0,9			1,7	2,5	1,8
XR-22	1,4	1,0	1,4	1,1	1,9	2,4	1,6	3,2	1,8
XR-23	1,3	1,1	1,2	0,8	1,7	2,3	1,5	2,5	1,6
XR-24	2,7	2,2	3,6	1,9	2,8	3,5	2,5	5,2	3,2
XR-25	2,4	1,9	2,8	2,1	3,2	3,8	3,7	3,3	3,0

ANNEXE 4 : REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES RECENSEES SUR LE THEME DES TUNNELS ROUTIERS

- "Emissions from diesel and gasoline engines measured in highway tunnels", Research report of Health Effect Institute, Gertler, Grosjean (2002)
- "Calcul des émissions de polluants des véhicules automobiles en tunnel", Rapport CETU, Marsault et Carlotti (2002)
- "Dépôt de poussières au voisinage des tunnels routiers", Rapport CETU, Gabet (1999)
- "Le traitement de l'air dans les tunnels routiers - état des connaissances", Rapport CETU, Marsault (1999)
- "Ventilation des tunnels routiers et Pollution de l'air", Notes Techniques de SCETAUROUTE (1997-1999)
- "NOx measurements in 3 Swedish road tunnels 1993-1996", Swedish National Road Administration (1997)
- "Some experience with ventilation control based on traffic data", published in Tunnel Control & Communication, A.Vardy Edt., 2nd Int. Conference, Amsterdam (1997)
- "Road tunnels and the environment", Proceedings of a workshop on Measurement techniques in energy systems and processes, pp. 83-108. E.Jacques, L.Possoz (1996)
- "Traffic pattern identification inside tunnels with a view to develop efficient pollution control systems", E. Jacques, L. Possoz, Université catholique de Louvain & Mitec SA, Belgium (année?)
- "Qualité de l'air à proximité des tunnels routiers - faisabilité de traitement des effluents", Convention ADEME / TEC Ingenierie n°950 30 18, MM. Carrie, Chezlepretre et Ventura (1995)
- "Essai en vue de la filtration et du traitement de l'air extrait des tunnels routiers", Rapport de la Mairie de Paris, Direction de la Voirie, P.Cauvin (1993)
- "8th and 9th International Conference on Aerodynamics and ventilation of vehicle tunnels", BHR Group Conference Series Publication, (1994 et 1997)
- "La pollution de l'air par la circulation automobile", Les dossiers du CETUR n°29 : Nuisances des transports, Ministère de l'équipement et du transport (1986)