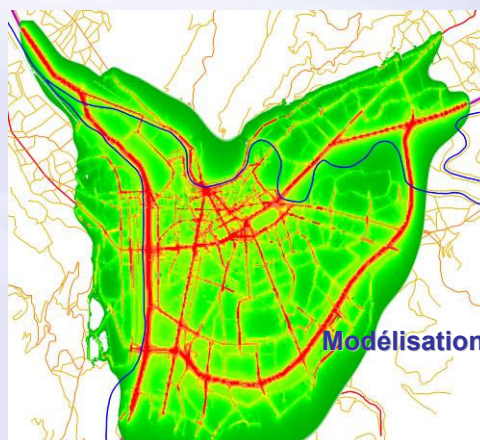


**ÉTUDE DE LA QUALITÉ DE L’AIR SUR
DIFFÉRENTS SITES DE
L’AGGLOMÉRATION GRENOBLOISE
MESURES ET MODELISATION REALISEES DANS LE CADRE DE
L’OBSERVATOIRE ENVIRONNEMENTAL DES DEPLACEMENTS EN 2006**



Octobre 2007

Surveillance de la qualité de l’Air
dans la Région Grenobloise
44 avenue Marcellin Berthelot
38100 Grenoble
Tél : 04 38 49 92 20
Fax : 04 38 49 08 80
E-mail : ascoparg@atmo-rhonealpes.org
Internet : www.atmo-rhonealpes.org



Membre agréé du réseau **Atmo**

ETUDE DE LA QUALITE DE L'AIR SUR DIFFERENTS SITES DE L'AGGLOMERATION GRENOBLOISE

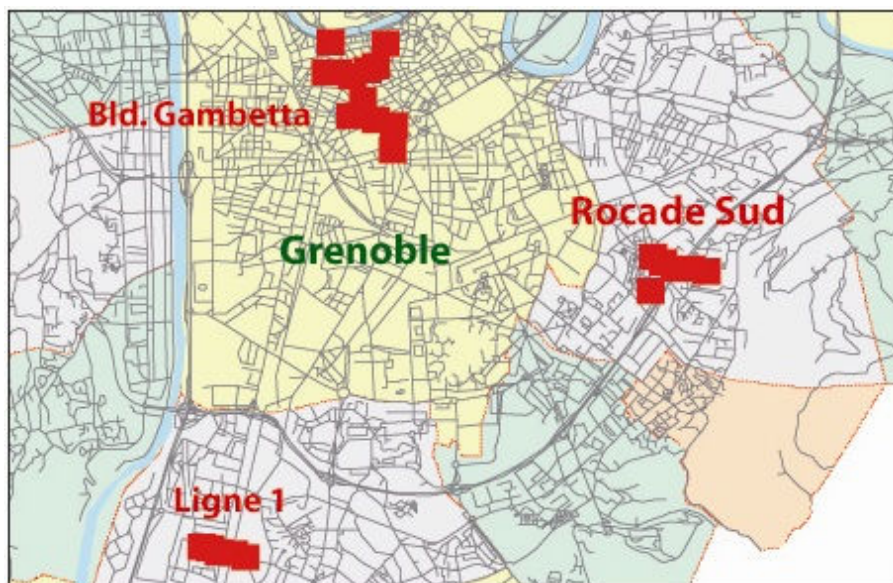
Mesures et modélisation réalisées dans le cadre de l'observatoire environnemental des déplacements en 2006

1	METHODOLOGIE ADOPTEE.....	4
1.1	Périodes de mesures.....	4
1.2	Calendrier de l'étude.....	4
1.3	Sites de mesures.....	5
1.4	Techniques de mesures.....	12
1.4.1	Les mesures temporaires par laboratoire mobile.....	12
1.4.2	Mesures en continu par analyseurs.....	12
1.4.3	Mesures par échantillonnage passif pour le benzène (C ₆ H ₆) et le dioxyde d'azote (NO ₂).....	12
2	Résultats des mesures.....	14
2.1	Représentativité des périodes de mesures.....	14
2.2	Niveaux de pollution mesurés.....	16
2.2.1	Les oxydes d'azote (NO _x).....	16
2.2.2	Les poussières en suspension (PM ₁₀).....	31
2.2.3	Le benzène (C ₆ H ₆).....	37
2.2.4	Le dioxyde de soufre (SO ₂).....	40
3	Modélisation de la qualité de l'air.....	43
3.1	Présentation du modèle SIRANE.....	43
3.2	Description des données d'entrée.....	44
3.2.1	Le réseau de rues.....	44
3.2.2	Les données d'émissions.....	44
3.2.3	Les données météorologiques.....	45
3.2.4	Pollution de fond.....	45
3.3	Comparaison modèle – mesures pour les oxydes d'azote (NO _x) et les Particules (PM ₁₀).....	46
3.4	Calcul des concentrations annuelles de dioxyde d'azote (NO ₂) dans les rues de l'agglomération grenobloise.....	47
3.5	Calcul de la carte de la concentration moyenne annuelle de dioxyde d'azote dans l'agglomération grenobloise.....	48
3.6	Calcul de l'exposition de la population à la pollution de proximité automobile.....	50
3.6.1	Exposition de la population en 2006.....	50
3.6.2	Evolution de l'exposition de la population entre 2004 et 2006.....	51

INTRODUCTION

Depuis plusieurs années, le SMTC (Syndicat Mixte des Transports en Commun) et l'ASCOPARG entretiennent une collaboration dans le cadre de **l'Observatoire environnemental des déplacements de l'agglomération grenobloise**. Dans le cadre de cette convention avec le SMTC, l'ASCOPARG a réalisé depuis 2004 des mesures de qualité de l'air sur plusieurs secteurs de l'agglomération grenobloise.

Ces mesures effectuées dans le cadre de l'Observatoire environnemental des déplacements ont débuté en 2004 sur **6** secteurs de l'agglomération grenobloise. Elles ont permis notamment la validation d'un modèle de qualité de l'air de l'agglomération grenobloise, SIRANE, qui a été mis en place en 2005. Les travaux de modélisation ont ensuite permis d'établir des perspectives de qualité de l'air pour l'horizon 2012 en tenant compte des évolutions liées à la mise en place du Plan de Déplacements Urbain. Ces mesures se sont poursuivies en 2005 sur **4** secteurs de l'agglomération et sur **3** secteurs en 2006.



3 secteurs en 2006 :

- ▶ **Boulevard Gambetta** (Grenoble)
- ▶ **Ligne 1** (Echirolles)
- ▶ **Rocade Sud** (Saint Martin d'Hères)

Les travaux effectués en 2006 doivent permettre de dresser un bilan de qualité de l'air sur le secteur du **Boulevard Gambetta** dans le centre de Grenoble ; ils serviront aussi à l'élaboration d'un état initial de la qualité de l'air avant la mise en place d'une ligne de tramway.

Les mesures effectuées sur la **ligne 1** à Echirolles constituent un état de la qualité de l'air après la mise en place de cette ligne de bus en site propre.

Et les mesures effectuées à Saint Martin d'Hères à proximité de la **Rocade Sud** constituent la première phase d'une étude de l'impact sur la qualité de l'air des voies rapides urbaines (A480 et Rocade Sud) sur la qualité de l'air.

1 METHODOLOGIE ADOPTEE

1.1 Périodes de mesures

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

L'**hiver**, la réactivité photochimique des polluants est faible. Les polluants primaires, comme les oxydes d'azote (NOx) et poussières en suspension (PM₁₀) sont présents à des concentrations importantes, car les phénomènes météorologiques (absence de dispersion, inversion de température) sont favorables à leur accumulation dans l'atmosphère.

L'**été**, la réactivité photochimique des polluants est importante. La température et le rayonnement solaire plus important jouent un rôle déterminant en influençant la vitesse de nombreuses réactions chimiques et favorisant la formation de polluants dits " secondaires " dont l'ozone (O₃).

En raison de la forte variabilité de la qualité de l'air sur un territoire, mais aussi dans le temps (le comportement des polluants atmosphériques locaux est fortement lié aux conditions climatiques et donc aux saisons), les mesures doivent être également réparties dans l'année avec un **minimum de 8 semaines de mesures**, soit 14% de l'année (directive européenne 1999/30/CE du 22 avril 1999 pour le SO₂, NO₂, PM₁₀ et directive européenne 2000/69/CE du 16 novembre 2000 pour le CO et benzène) pour être considérées comme représentatives de la qualité de l'air d'un site donné et permettre une comparaison avec les normes en vigueur.

1.2 Calendrier de l'étude

Afin de pouvoir comparer les résultats des mesures à la réglementation, 12 semaines de mesures (**4 campagnes de 3 semaines**) ont été réalisées en 2006 sur chaque site : chaque campagne étant caractéristique d'une saison (les campagnes sont indiquées en rouge sur le schéma suivant).

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Rocade Sud – Saint Martin d'Hères	Red	Red	Light Blue	Light Blue	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green
Ligne 1- Echirolles	Light Blue	Light Blue	Light Blue	Light Blue	Light Blue	Light Blue	Light Blue	Light Blue	Light Blue	Light Blue	Light Blue	Light Blue
Bld. Gambetta - Grenoble	Light Blue	Light Blue	Light Blue	Light Blue	Light Blue	Light Blue	Light Blue	Light Blue	Light Blue	Light Blue	Light Blue	Light Blue

Campagnes		Date début	Date de fin	Saison	
1	Rocade Sud – Saint Martin d'Hères	04/01/06	03/02/06	Hiver	Durée de chaque campagne = 3 semaines
	Ligne 1- Echirolles	03/02/06	21/02/06		
	Bld. Gambetta - Grenoble	22/02/06	15/03/06		
2	Rocade Sud – Saint Martin d'Hères	04/04/06	26/04/06	Printemps	
	Ligne 1- Echirolles	26/04/06	16/05/06		
	Bld. Gambetta - Grenoble	17/05/06	07/06/06		
3	Rocade Sud – Saint Martin d'Hères	05/07/06	26/07/06	Été	
	Ligne 1- Echirolles	26/07/06	16/08/06		
	Bld. Gambetta - Grenoble	17/08/06	06/09/06		
4	Rocade Sud – Saint Martin d'Hères	04/10/06	25/10/06	Automne	
	Ligne 1- Echirolles	25/10/06	14/11/06		
	Bld. Gambetta - Grenoble	15/11/06	06/12/06		

Tableau 1-1 Date des campagnes de mesures

1.3 Sites de mesures

Le programme de mesures, établi en partenariat avec le SMTC, s'inscrit sur plusieurs années. Les polluants mesurés sur ces sites temporaires sont les oxydes d'azote (NOx : NO et NO₂), les poussières en suspension (PM₁₀), le dioxyde de soufre (SO₂) et le benzène (C₆H₆).

En 2004, 6 secteurs de l'agglomération grenobloise avaient été sondés (Etude de la qualité de l'air – Mesures réalisées par l'ASCOPARG dans le cadre du PDU – Mesures réalisées en 2004).

En 2005, 4 sites ont été choisis dans l'agglomération de Grenoble en complément des stations fixes de l'ASCOPARG. Les mesures effectuées Place Vaucanson à Grenoble et Place de la République à Gières complétaient cet observatoire mis en place en 2004. Les laboratoires mobiles installés au Carrefour de la Carronnerie (Meylan) et au rond point du Grésivaudan (Meylan) ont aussi fait partie de l'évaluation de la qualité de l'air sur le tracé de la ligne de bus 6020 entre Meylan et Grenoble.

L'objectif de ces mesures effectuées en 2006 pour l'Observatoire environnemental des déplacements est multiple. Elles doivent permettre de caractériser la qualité de l'air dans le secteur de Saint Martin d'Hères à proximité de la **Rocade Sud**, sur la **ligne 1** à Echirolles (ces mesures constituent l'évaluation après la mise en place de cette ligne de bus) et sur le **boulevard Gambetta** dans l'hypercentre de Grenoble.

Sites de mesures par laboratoires mobiles	
Nom du site	Photos
<p>Groupe scolaire Henri Barbusse - SMH (Saint Martin d'Hères)</p> <p>Typologie du site de mesures : Site urbain de fond influencé par la Rocade Sud (150m)</p> <p>Code site : SMTC2006_SMH_01</p>	
<p>Ligne 1 (Echirolles)</p> <p>Typologie du site de mesures : Proximité automobile (influence du Cours Jean Jaurès)</p> <p>Code site : SMTC2006_Ligne1_01</p>	
<p>Boulevard Gambetta (Grenoble)</p> <p>Typologie du site de mesures : Proximité automobile (influence du Boulevard Gambetta)</p> <p>Code site : SMTC2006_Gambetta_06</p>	

Tableau 1-2 Implantation des laboratoires mobiles dans le cadre de l'Observatoire environnemental des déplacements en 2006

Le site « Groupe scolaire Henri Barbusse » peut être considéré comme un site urbain de fond car il est représentatif du niveau de pollution auquel est exposée la population dans ce secteur. L'étude des résultats montrera par la suite que ce site est aussi influencé par la rocade sud située à 150 mètres.

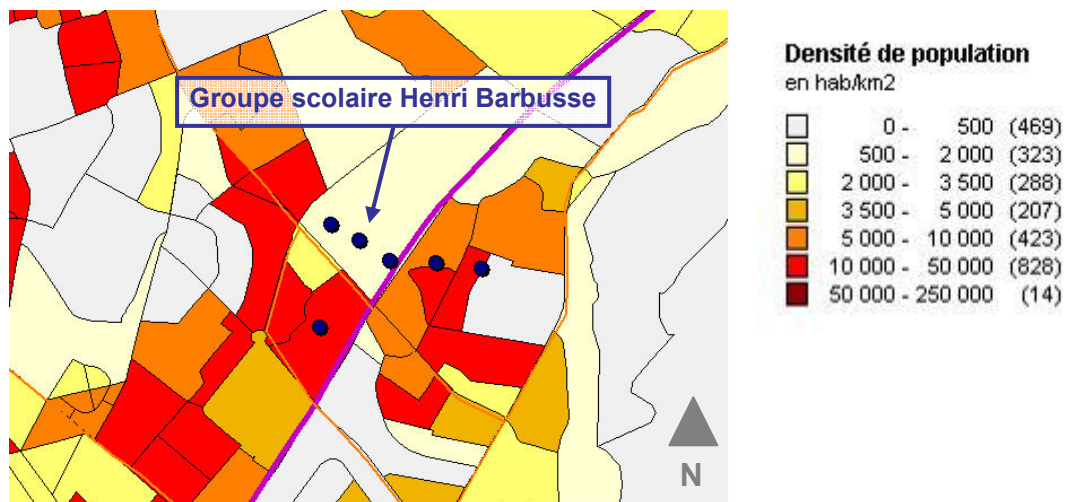


Figure 1.1 Densité de population à proximité de groupe scolaire Henri Barbusse à Saint Martin d'Hères

Ces mesures réalisées à l'aide de **laboratoire mobile** (site équipé d'une remorque de mesures, indiqué par mob dans le tableau suivant) ont été complétées par des mesures par **tubes à diffusion**.

Ces tubes à diffusion ont permis une évaluation spatiale des concentrations de dioxyde d'azote (NO₂) et benzène (C₆H₆) dans le périmètre du site de mesures.

Ces sites de mesures de la qualité de l'air sont représentatifs de deux types d'environnements :

- « Influence trafic automobile » : la qualité de l'air du site est influencée par le trafic automobile à proximité
- « Fond Urbain » : la qualité de l'air n'est pas influencée par une source de pollution mais est représentative de la qualité de l'air moyenne d'un plus grand ensemble de sources à l'échelle d'une ville ou agglomération.

Code du site	Nom du site		Typologie
SMTC2006_Gambetta_01	Intersection entre Boulevard Gambetta et Foch	tube 	Influence trafic automobile
SMTC2006_Gambetta_02	Parc Hoche	tube 	Fond urbain
SMTC2006_Gambetta_03	Intersection entre Boulevard Gambetta et rue Berthe de Boissieux	tube 	Influence trafic automobile
SMTC2006_Gambetta_04	Place Championnet	tube 	Influence trafic automobile
SMTC2006_Gambetta_05	Boulevard Gambetta au niveau du Lycée Champollion	tube 	Influence trafic automobile
SMTC2006_Gambetta_06	Site mobile Boulevard Gambetta	mob 	Influence trafic automobile
SMTC2006_Gambetta_07	Avenue Alsace Lorraine	tube 	Influence trafic automobile
SMTC2006_Gambetta_08	Intersection entre Cours Jean Jaurès et Avenue Alsace Lorraine	tube 	Influence trafic automobile
SMTC2006_Gambetta_09	Place Victor Hugo	tube 	Influence trafic automobile
SMTC2006_Gambetta_10	Rue Félix Poulat	tube 	Fond urbain avec influence bd Agutte Sembat
SMTC2006_Gambetta_11	Jardins de ville	tube 	Fond urbain
SMTC2006_Gambetta_12	Place Hubert Dubedout	tube 	Influence trafic automobile
SMTC2006_SMH_01	Groupe scolaire Henri Barbusse –SMH (site mobile)	mob 	Site de fond influencé par la rocade sud située à 150m
SMTC2006_SMH_02	Groupe scolaire Henri Barbusse (cour de récréation)	tube 	Transect nord - rocade sud
SMTC2006_SMH_03	Proximité Rocade Sud (20m)	tube 	Proximité rocade sud (20m)
SMTC2006_SMH_04	Rue Malfangeat – Saint Martin d'Hères	tube 	Transect sud - rocade sud
SMTC2006_SMH_05	Stade R.Barran – Saint Martin d'Hères	tube 	Fond urbain - Saint Martin d'Hères le Village
SMTC2006_SMH_06	Rue Garcia Lorca – Saint Martin d'Hères	tube 	Fond Saint Martin d'Hères
SMTC2006_Ligne1_01	Ligne 1 - site mobile	mob 	Influence trafic automobile - Cours Jean Jaurès
SMTC2006_Ligne1_02	Avenue Auguste Ferrier - proximité voie ferrée	tube 	Influence trafic automobile
SMTC2006_Ligne1_03	Avenue Auguste Ferrier - Entrée Caterpillar	tube 	Influence trafic automobile
SMTC2006_Ligne1_04	Avenue Pierre Manhès - Face salon Marocain	tube 	Influence trafic automobile
SMTC2006_Ligne1_05	Avenue Pierre Manhès – Arrêt bus Daniel Casanova	tube 	Influence trafic automobile

Tableau 1-3 Sites de mesures par laboratoire mobile et tubes à diffusion



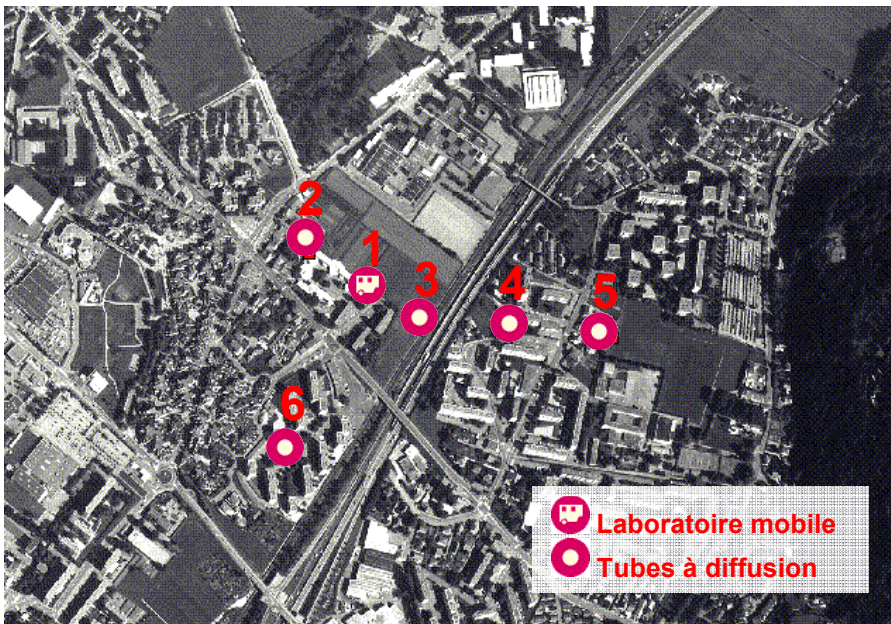
Site de mesures par **laboratoire mobile** en 2006



Site de mesures par **tubes à diffusion** en 2006



Sites de mesures réalisées en 2004 et 2005 dans le cadre d'autres études (PDU 2004 et 2005, cartographie régionale du dioxyde d'azote et du benzène en 2005)

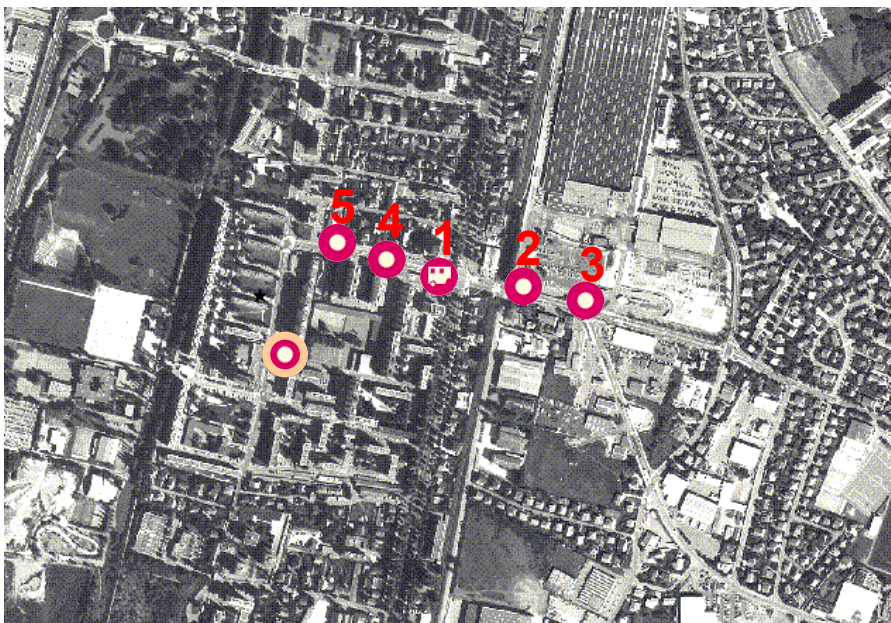


◀Rociade Sud – Saint Martin d'Hères

Mesure de la qualité de l'air à proximité de la Rociade Sud à Saint Martin d'Hères

Les sites de mesures ont été installés de façon à mesurer la qualité de l'air à différentes distances de la Rociade Sud. Cette disposition en « **transect** » permet d'étudier l'impact de la Rociade Sud.

Distance des sites par rapport à la Rociade Sud (en m)					
2	1	3	4	5	6
tube	Mob	tube	Tube	Tube	tube
250	150	20	90	240	150

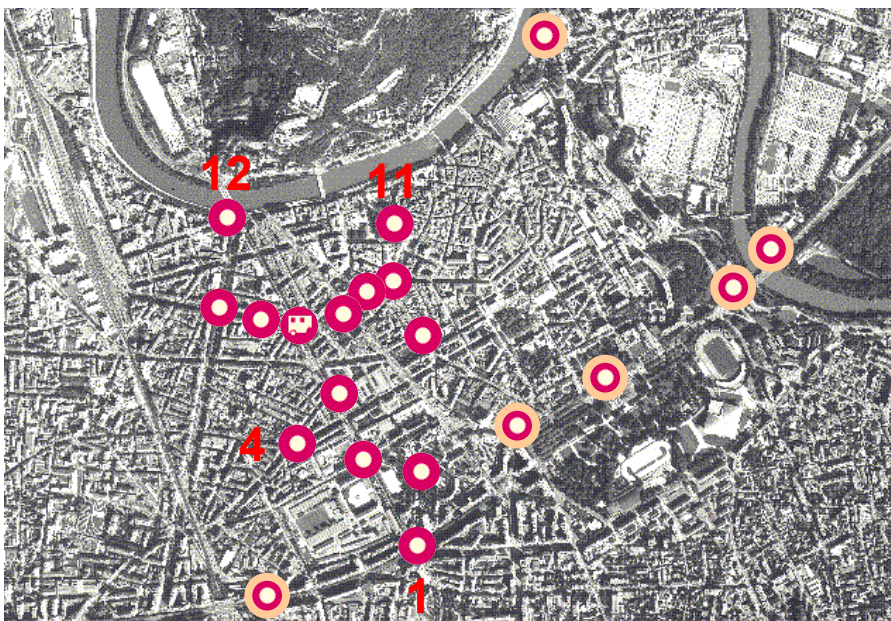


◀Ligne 1 – Echirrolles

Mesure de la qualité sur le tracé de la ligne de bus n°1 à Echirrolles

Les sites de mesures ont été installés de façon à mesurer la qualité de l'air à différentes distances du Cours Jean Jaurès à Echirrolles (**transect**).

Distance des sites par rapport au cours Jean Jaurès (en m)				
5	4	1	2	3
tube	tube	mob	tube	tube
200	120	20	120	225



◀Boulevard Gambetta – Grenoble

Mesure de la qualité de l'air dans l'hypercentre de Grenoble (secteur du Boulevard Gambetta)

Les sites de mesures ont été installés de façon à mesurer la qualité de l'air le long du boulevard Gambetta (entre la porte de France et le boulevard Foch) ainsi que sur des rues perpendiculaires (**transects**).

Afin d'évaluer les concentrations de polluants mesurées sur les sites de l'étude, une comparaison des mesures est effectuée avec des **stations fixes** de l'ASCOPARG dont le comportement des polluants est bien connu et sert de référence.

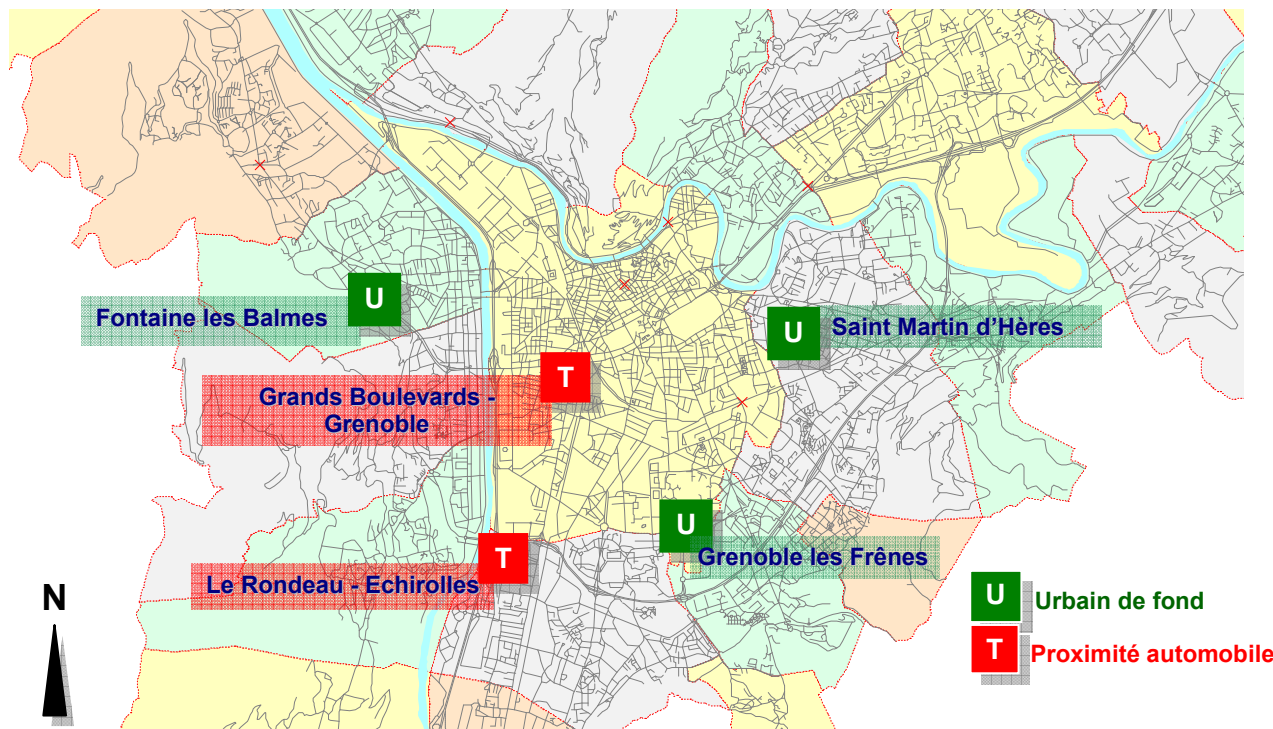


Figure 1.2 Stations fixes de surveillance de la qualité de l'air de l'ASCOPARG

Les 3 stations urbaines de fond **U** (Fontaine les Balmes, Grenoble les Frênes et Saint Martin d'Hères) permettent de caractériser la **pollution urbaine de fond**. La moyenne annuelle de la pollution de fond de l'agglomération grenobloise est calculée sur la base de la moyenne annuelle de ces 3 stations.

Les 2 stations « trafic » (ou aussi appelées « proximité automobile ») **T** permettent de caractériser l'impact du trafic automobile sur la qualité de l'air.







Sites fixes de mesures de l'ASCOPARG			
<p>Rondeau Echirolles</p> <p>Typologie du site de mesures : <i>Proximité automobile</i> (Référence Rocade Sud)</p>			<ul style="list-style-type: none"> ■ NOx ■ CO ■ PM₁₀ ■ COV¹ □ SO₂
<p>Les stations " trafic " sont situées à proximité immédiate du trafic automobile et représentent donc le niveau maximum d'exposition à la pollution liée au trafic automobile.</p>			
<p>Grenoble les Frênes Grenoble</p> <p>Typologie du site de mesures : <i>Fond urbain</i> ATMO²</p>			<ul style="list-style-type: none"> ■ NOx □ CO ■ PM₁₀ ■ COV (+ HAP³) ■ SO₂ ■ O₃ (Ozone) ■ Métaux lourds
<p>Fontaine les Balmes Fontaine</p> <p>Typologie du site de mesures : <i>Fond urbain</i> ATMO</p>			<ul style="list-style-type: none"> ■ NOx □ CO ■ PM₁₀ □ COV ■ SO₂ ■ O₃ (Ozone)
<p>Saint Martin d'Hères Saint Martin d'Hères</p> <p>Typologie du site de mesures : <i>Fond urbain</i> ATMO</p>			<ul style="list-style-type: none"> ■ NOx □ CO ■ PM₁₀ □ COV ■ SO₂ ■ O₃ (Ozone)
<p>Une station " urbaine de fond " permet de suivre l'exposition moyenne de la population aux phénomènes de pollution atmosphérique dits " de fond " dans les centres urbains.</p>			
<p>Versoud Versoud</p> <p>Typologie du site de mesures : <i>Péri – urbain</i> ATMO</p>			<ul style="list-style-type: none"> ■ NOx □ CO □ PM₁₀ □ COV □ SO₂ ■ O₃ (Ozone)
<p>Voreppe Voreppe</p> <p>Typologie du site de mesures : <i>Péri - urbain</i></p>			<ul style="list-style-type: none"> ■ NOx ■ O₃ (Ozone)
<p>Une station " péri-urbaine " permet le suivi moyen d'exposition de la population aux phénomènes de pollution atmosphérique dits " de fond " à la périphérie du centre urbain.</p>			

Tableau 1-4 Sites fixes de mesures de l'ASCOPARG pris en référence pour l'étude

¹ COV : Composés Organiques Volatils (le benzène C₆H₆ fait partie de la famille des COV)

² ATMO : Station participant au calcul de l'indice ATMO de l'agglomération grenobloise

³ HAP : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (exemple de HAP : le benzo[a]pyrène)

Sites fixes de mesures de l'ASCOPARG			
<p>Charavines Charavines</p>			<ul style="list-style-type: none"> ■ NOx ■ O₃ (Ozone)
<p>Typologie du site de mesures : <i>Rural</i></p>			
<p>Une station " rurale " permet le suivi de la qualité de l'air en zone rurale. Elle permet le suivi de l'exposition des écosystèmes et de la population à la pollution atmosphérique de fond, notamment photochimique, à l'échelle régionale.</p>			

Tableau 1-5 Sites fixes de mesures de l'ASCOPARG pris en référence pour l'étude

1.4 Techniques de mesures

L'organisation de l'ASCOPARG suit les référentiels d'assurance qualité ISO 9001 et 17025. Toutes les dispositions prises pour le système assurance qualité sont applicables pour la présente étude, comme la maintenance du parc d'appareils de mesures par le service technique et la conduite de la présente étude.

1.4.1 Les mesures temporaires par laboratoire mobile

Les laboratoires mobiles (remorques, camions) utilisés pour réaliser les contrôles ponctuels de la qualité de l'air dans le cadre d'études sont équipés des mêmes appareils que ceux utilisés dans les stations fixes de mesures. Ces équipements sont climatisés en été et chauffés en hiver afin de respecter la température de fonctionnement des appareils. Les analyseurs sont calibrés tous les 15 jours à l'aide de gaz étalons reliés à la référence du Bureau National de Métrologie – Laboratoire National d'Essai (BNM-LNE), pour une qualité de mesure identique à celle pratiquée sur le réseau fixe.



La remorque laboratoire sur la ligne 1 à Echirolles (◀) et dans le groupe scolaire Henri Barbusse à Saint Martin d'Hères (▶)



Intérieur de la remorque laboratoire(▲)

Figure 1.3 Photos de la remorque laboratoire d'ASCOPARG

1.4.2 Mesures en continu par analyseurs

Les mesures en continu par analyseurs automatiques sont effectuées pour les polluants suivants : les oxydes d'azote (NO_x), les poussières en suspension (PM₁₀) et le dioxyde de soufre (SO₂).

Pour établir un bilan initial de la qualité de l'air et estimer l'importance des dépassements de valeurs réglementaires, il est indispensable de disposer de données précises produites par les analyseurs.

1.4.3 Mesures par échantillonnage passif pour le benzène (C₆H₆) et le dioxyde d'azote (NO₂)

Par définition, 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 (du charbon actif pour le benzène et le toluène) est dans ce cas induit par convection naturelle et diffusion (Loi de Fick).

Cette **méthode indicative** qui donne une moyenne sur plusieurs jours (correspondant à la durée d'exposition du tube) est moins précise que les analyseurs de référence (mesure horaire en automatique et en continu), mais présente l'avantage d'être moins onéreuse et donc de pouvoir multiplier les points de mesures.

Les échantillonneurs passifs (ou tubes à diffusion) utilisés dans le cadre de cette étude pour la mesure du benzène sont fournis par la Fondation Salvatore Maugeri (laboratoire de recherche italien - Padova) et analysés par le Laboratoire Interrégional de Chimie de l'ASPA (Association pour la Surveillance et l'Etude de la Pollution Atmosphérique en Alsace – Schiltigheim 67).

Les tubes Benzène (C₆H₆) et dioxyde d'azote (NO₂) sont exposés dans l'air ambiant sur une période d'une semaine à 10 jours (définie selon les recommandations), puis renvoyés pour analyse afin de déterminer la concentration des polluants piégés.



Mesure du Benzène, Toluène et Xylène par tube à diffusion (Radiello)



Mesure du dioxyde d'azote (NO₂) par tube à diffusion (Passam)

Figure 1.4 Photos des tubes à diffusion de mesure du benzène (Marque : Radiello) et tubes de mesure du dioxyde d'azote (Marque : Passam AG)

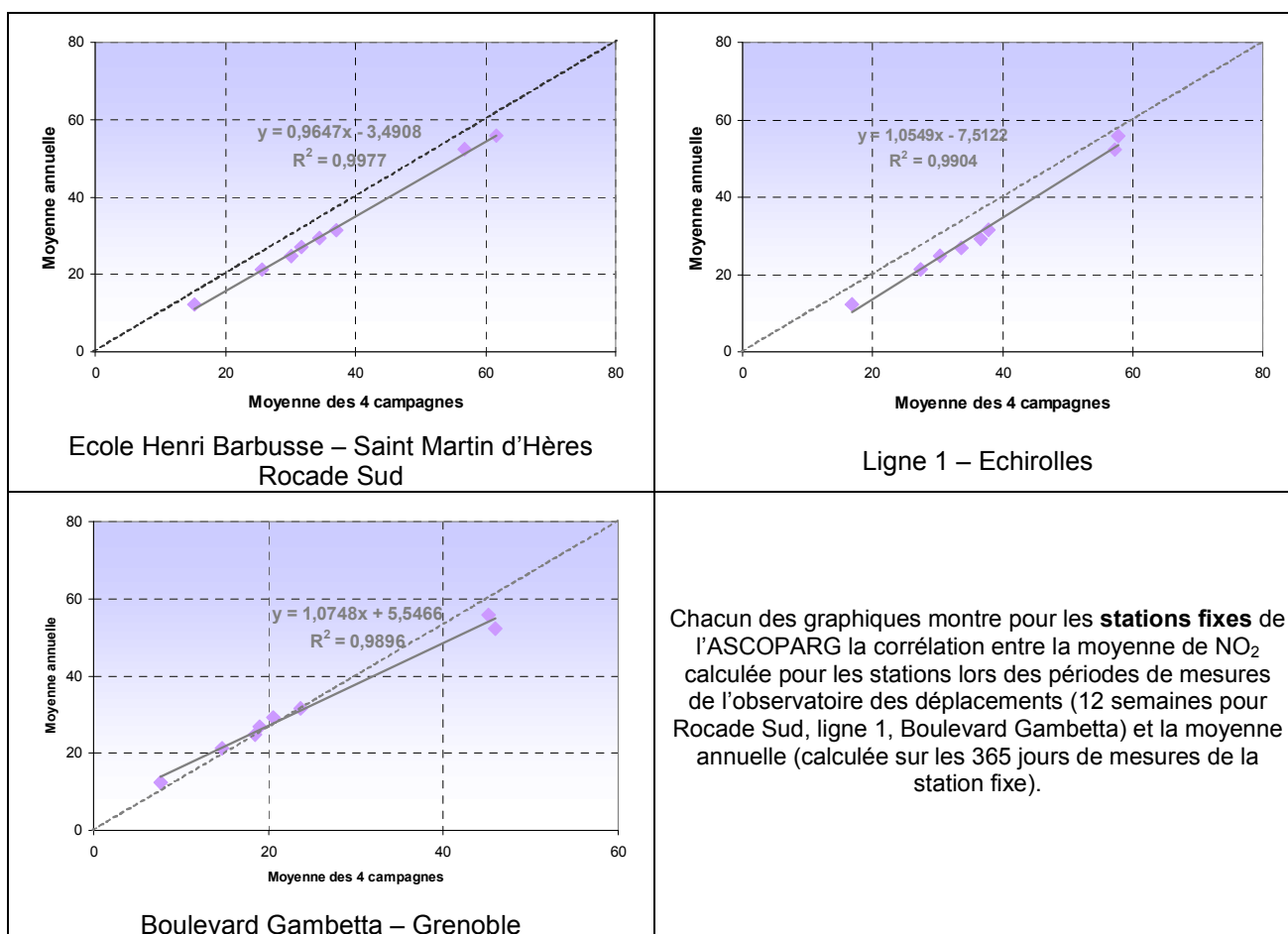
2 Résultats des mesures

2.1 Représentativité des périodes de mesures

Les directives européennes 1999/30/CE du conseil du 22 avril 1999 et la directive 2000/69/CE du 16 novembre 2000 imposent dans le cadre de mesures ponctuelles un **minimum de 8 semaines** de mesures également réparties sur toute l'année.

Dans le cadre de cette étude, 12 semaines de mesures ont été réalisées sur chacun des sites en 2006.

Il est nécessaire de vérifier si les mesures effectuées sont représentatives de l'année 2006 afin de pouvoir les comparer aux valeurs réglementaires. Cette vérification se fait en utilisant les stations fixes de référence de l'ASCOPARG. En effet, celles-ci ont fonctionné tout l'année, y compris pendant les campagnes de mesures de l'Observatoire des déplacements. Si pour une station fixe, la moyenne calculée pendant les 12 semaines de mesures où on été effectuées les mesures est proche de la moyenne annuelle (moyenne des 12 mois de mesures de la station fixe), alors ces 12 semaines de mesures seront considérées comme représentatives de l'année 2006.



Chacun des graphiques montre pour les **stations fixes** de l'ASCOPARG la corrélation entre la moyenne de NO₂ calculée pour les stations lors des périodes de mesures de l'observatoire des déplacements (12 semaines pour Rocade Sud, ligne 1, Boulevard Gambetta) et la moyenne annuelle (calculée sur les 365 jours de mesures de la station fixe).

Figure 2.1 Ecart entre la moyenne mesurée du NO₂ pendant les 8 semaines de l'étude et la moyenne annuelle pour les stations fixes de l'ASCOPARG (Le Rondeau, Fontaine les Balmes, Grenoble les Frênes, Le Versoud, Voreppe et Charavines)

Pour les sites fixes de référence, l'écart entre la moyenne calculée pendant les 4 campagnes de mesures (12 semaines, soit 23% de l'année) et la moyenne annuelle calculée sur l'année civile est faible. Cependant la moyenne calculée sur les 12 semaines de mesures doit être corrigée pour améliorer l'estimation de la moyenne annuelle.

L'estimation de la moyenne annuelle (= moyenne des 12 semaines de mesures corrigée) sur les sites de l'étude est ainsi considérée comme valide et peut donc être comparée aux valeurs réglementaires.

Dans le cas de la ligne 1 à Echirolles, les mesures effectuées en 2006 constituent l'évaluation de la qualité de l'air après la mise en place de cette ligne de bus.

L'ASCOPARG avait procédé à une campagne de mesures avant la mise en place de la ligne 1 entre décembre 1999 et février 2000. Même si elles ont duré 8 semaines, ces mesures effectuées en période hivernale ne sont pas représentatives de l'année 2000 car l'hiver est la période favorable aux fortes concentrations de polluants primaires.

Les résultats des mesures effectuées en 1999-2000 seront donc corrigés, pour le NO₂ et les PM₁₀, afin d'être représentatifs de l'année 2000 et de pouvoir être comparés aux résultats des mesures effectuées en 2006.

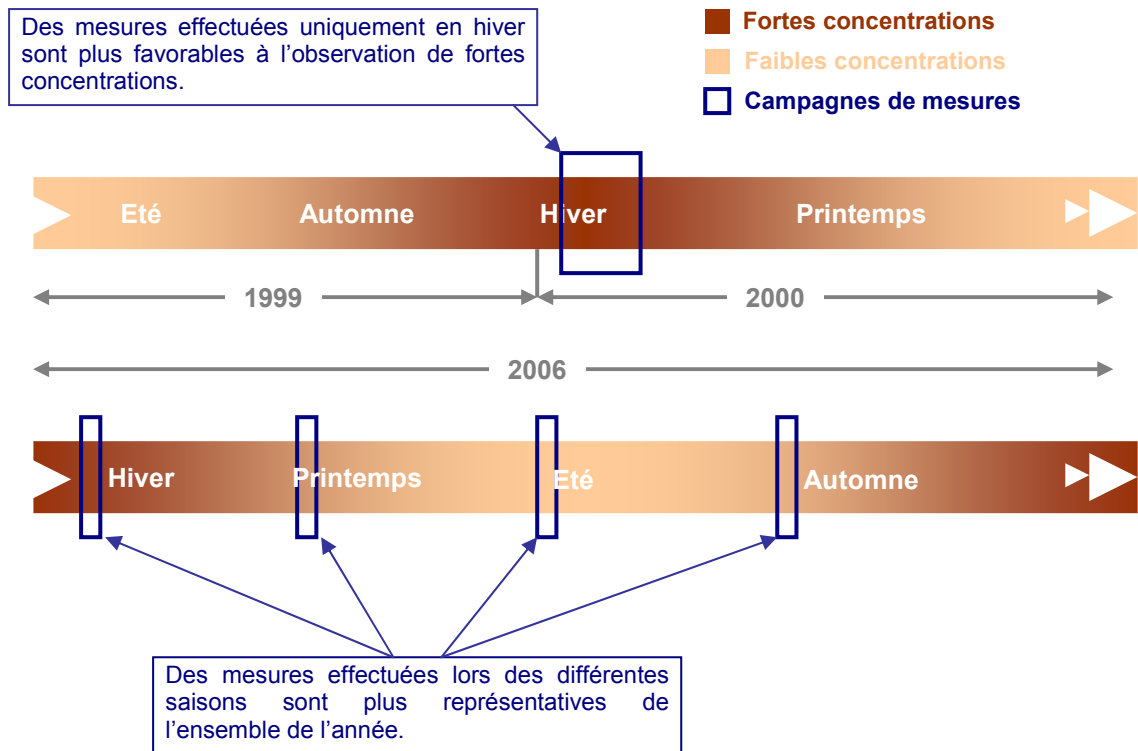


Figure 2.2 Plan d'échantillonnage des campagnes de mesures de la ligne 1

2.2 Niveaux de pollution mesurés

2.2.1 Les oxydes d'azote (NOx)

2.2.1.1 Le monoxyde d'azote (NO)

Le monoxyde d'azote (NO) est émis lors des combustions (le NO est issu de la combinaison à haute température de l'oxygène et de l'azote de l'air : $N_2+O_2 \rightarrow 2NO$). Il se transforme rapidement dans l'air en NO₂ (quelques secondes à quelques minutes).

Dans le cas d'un site à proximité du trafic automobile, les concentrations mesurées sont liées à l'intensité des émissions, et donc au trafic automobile, à la configuration de la rue et aux conditions météorologiques. Les conditions météorologiques comme la stabilité de l'atmosphère, la dispersion par le vent ou le lessivage par les précipitations influent directement sur la qualité de l'air.

La configuration d'une rue en « canyon » peut favoriser l'accumulation des polluants.

Le graphique 2.2 illustre les concentrations moyennes annuelles de NO estimées sur les 3 sites de l'Observatoire des déplacements et les concentrations mesurées sur les sites fixes.

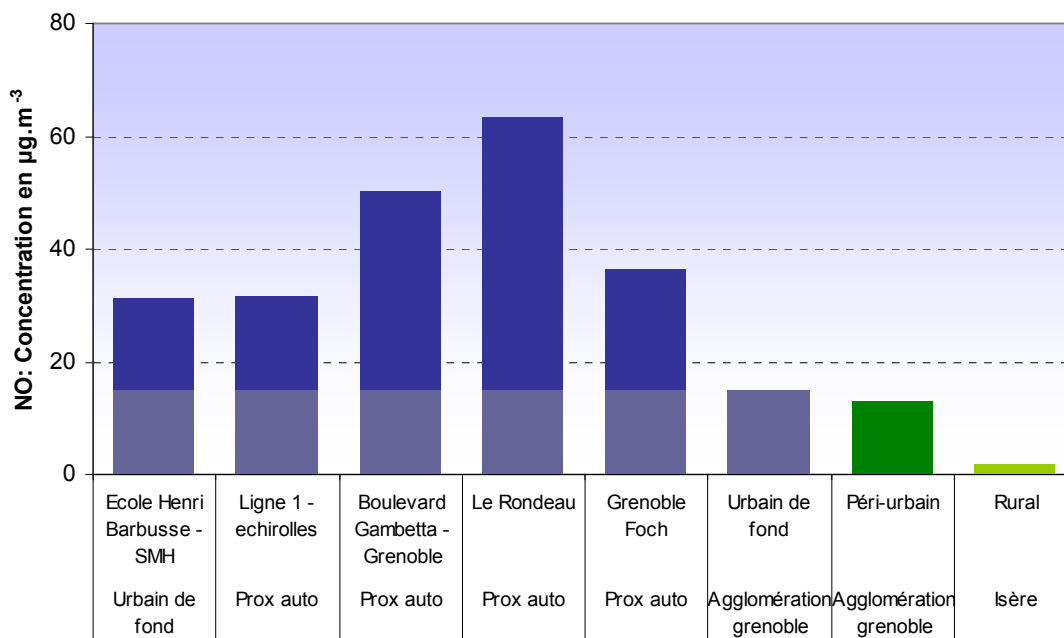


Figure 2.3 Estimation des concentrations moyennes annuelles de monoxyde d'azote (NO) sur les sites de l'observatoire des déplacements et concentration moyenne annuelle mesurée sur les sites fixes de l'ASCOPARG

Sur les trois sites (Ecole Henri Barbusse, Ligne 1 et Boulevard Gambetta), les résultats des mesures confirment **l'influence du trafic automobile** avec des niveaux moyens plus de deux fois supérieurs à ceux mesurés en situation de fond (31 à 50 µg.m⁻³ sur les sites de l'observatoire contre 15 µg.m⁻³ en site urbain de fond).



Parmi les sites de l'observatoire 2006, les niveaux les plus importants ont été mesurés sur le site du Boulevard Gambetta (50 µg.m⁻³ en moyenne annuelle). Sur ce site, le trafic est important (~17000 véhicules par jour) et la configuration de la rue n'est pas favorable à la dispersion des polluants (configuration en canyon).

Les niveaux de NO sur le site de l'école Henri Barbusse sont supérieurs au niveau de fond urbain. Ils confirment donc l'influence du trafic automobile de la Rocade Sud (trafic supérieur à 80000 véhicules par jour) sur la qualité de l'air de ce site qui est situé à **150 mètres de la Rocade**.

Les résultats statistiques horaires du NO observés sur les sites temporaires de l'observatoire du PDU et sites fixes de l'ASCOPARG ont été résumés dans les tableaux suivants (tableau 2-1).

2.2.1.1.1 Résultats des mesures de NO pendant les 12 semaines de mesures

Station	Henri Barbusse - SMH	Ligne 1 – echirolles	Boulevard Gambetta – Grenoble	St Martin d'Herès	Grenoble Les Frenes	Fontaine Les Balmes	Versoud	Voreppe Volouise	Charavines
Typologie	Urbain de fond	Prox auto	Prox auto	Urbain de fond	Urbain de fond	Urbain de fond	Péri-urbain	Péri-urbain	Rural
% de données valides	77%	97%	100%	97%	96%	97%	96%	98%	97%
Moyenne horaire	31	32	50	20	14	11	13	13	2
Maximum horaire	495	378	364	431	312	301	206	230	63
Percentile 99,8 horaire	419	324	227	170	115	91	110	110	16
Percentile 99,2 horaire	342	231	155	242	152	130	133	135	25
Percentile 98 horaire	271	174	136	170	115	91	110	110	16
Percentile 90,4 horaire	133	77	88	64	46	36	46	44	4
Percentile 50 horaire	11	14	26	2	1	2	1	2	1
Minimum horaire	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Station	Henri Barbusse - SMH	Ligne 1 – echirolles	Boulevard Gambetta - Grenoble	Le Rondeau	Grenoble Foch
Le Typologie	Urbain de fond	Prox auto	Prox auto	Prox auto	Prox auto
% de données valides	77%	97%	100%	97%	98%
Moyenne horaire	31	32	50	64	37
Maximum horaire	495	378	364	484	519
Percentile 99,8 horaire	419	324	227	244	188
Percentile 99,2 horaire	342	231	155	286	252
Percentile 98 horaire	271	174	136	244	188
Percentile 90,4 horaire	133	77	88	157	98
Percentile 50 horaire	11	14	26	43	17
Minimum horaire	0	0	0	0	0

▲ Le premier tableau illustre les statistiques de NO sur les sites de l'Observatoire comparées aux statistiques des sites de référence urbains, péri-urbains et rural

◀ Le deuxième tableau illustre les statistiques de NO sur les sites de l'observatoire comparées aux sites de référence en proximité automobile.

Tableau 2-1 Statistiques horaires du NO pendant les 4 campagnes de mesures

2.2.1.1.2 Variation horaire : influence du trafic automobile

Dans le cas de polluants d'origine automobile comme pour le NO, les concentrations dans l'air sont dépendantes des conditions météorologiques, mais aussi des variations de trafic automobile.

En proximité automobile, ces concentrations augmentent fortement en début et en fin de journée (07h-08h et 17h-19h), en relation avec les heures de pointe du matin et du soir liées notamment aux déplacements pendulaires domicile - travail.

La nuit, avec la diminution générale du trafic, les niveaux de NO sont homogènes (~10-30 µg.m⁻³) sur l'ensemble de l'agglomération. La journée, l'écart de concentration de NO entre les sites s'explique par l'intensité du trafic à proximité du site de mesures ; les sites les plus exposés au trafic automobile enregistrant les plus fortes concentrations de NO (~90-100 µg.m⁻³) sur ces sites alors que l'augmentation des concentrations de NO est plus faible sur les sites urbains de fond (~40 µg.m⁻³).

Les niveaux moyens de NO sont plus faibles en fin de journée (vers 19 heures) par rapport au pic du matin (à 8 heures) car les inversions de température sont moins fréquentes en fin de journée ; la dispersion verticale des polluants est plus efficace en fin de journée. Les pointes de concentration du soir ne sont pas forcément de la même intensité qui est donc fonction des apparitions d'inversion de température qui peuvent donc amplifier le phénomène d'accumulation des polluants.

Cette influence du trafic automobile s'observe aussi sur les profils moyens hebdomadaires avec la baisse des concentrations de polluants en fin de semaine et plus particulièrement le dimanche. En effet, dans l'agglomération grenobloise, les niveaux de fond en NO diminuent de 50% à 60% le week-end (samedi et dimanche) par rapport à la semaine.

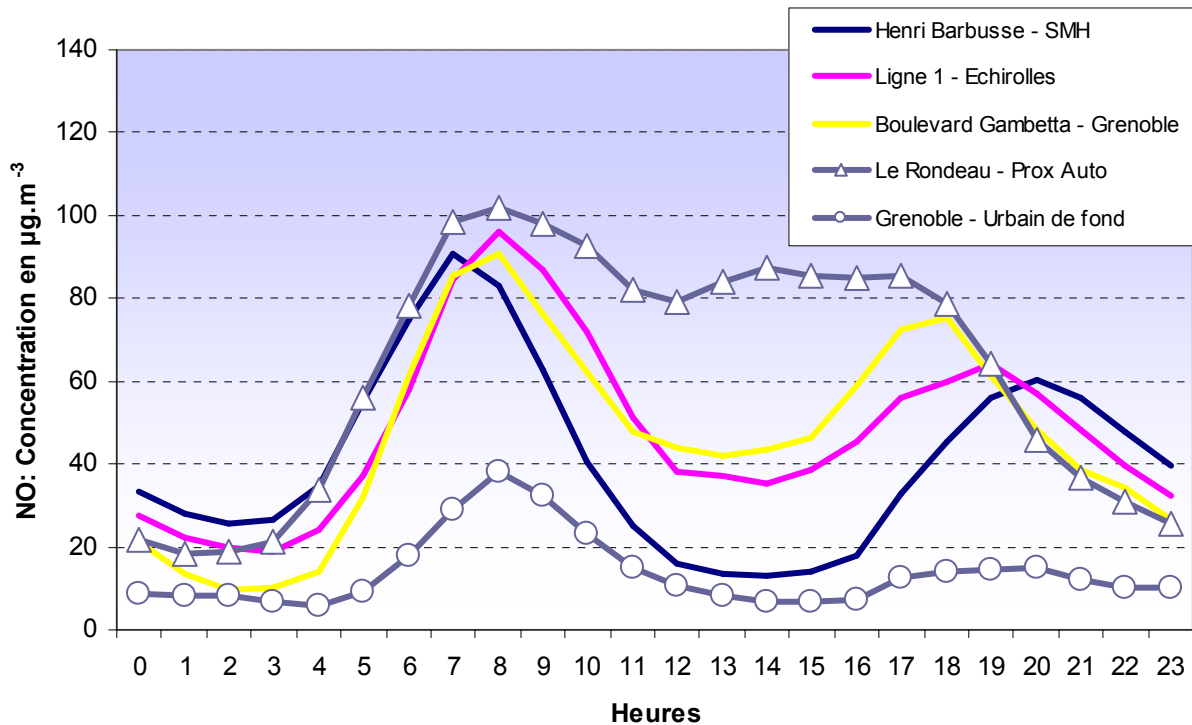


Figure 2.4 Profil moyen horaire du NO sur les sites de l'Observatoire environnemental des déplacements

2.2.1.1.3 Estimation de la moyenne annuelle et comparaison par rapport à la réglementation

Il n'existe pas de réglementation concernant le NO. Cependant, cette mesure permet de bien caractériser l'activité du trafic automobile.

En résumé pour le monoxyde d'azote (NO)

La mesure du monoxyde d'azote dans un environnement est un bon traceur de l'influence des sources de pollution, et plus particulièrement du trafic automobile.

Les profils moyens de NO et les concentrations supérieures au niveau de fond en NO montrent une influence directe du trafic automobile sur les 3 sites de mesures (Proximité de la Rocade Sud à Saint Martin d'Hères, ligne 1 à Echirolles et Boulevard Gambetta à Grenoble).

Les niveaux de NO mesurés sont directement liés à l'intensité du trafic automobile à proximité du site de mesures. Parmi les sites de l'observatoire de 2006, les niveaux les plus forts sont mesurés sur le boulevard Gambetta, lieu exposé à un trafic automobile très important (17000 véhicules par jour). De plus, la configuration de ce boulevard en « canyon » est défavorable à la dispersion des polluants.

2.2.1.2 Le dioxyde d'azote (NO₂)

Le dioxyde d'azote (NO₂) résulte de l'oxydation rapide (quelques secondes à quelques minutes) du monoxyde d'azote (NO) qui est émis lors des combustions.

Le graphique 2.4 illustre les concentrations moyennes de NO₂ corrigée sur les 3 sites de l'Observatoire environnemental des déplacements avec une comparaison des niveaux mesurés sur les stations fixes de référence de l'agglomération grenobloise.

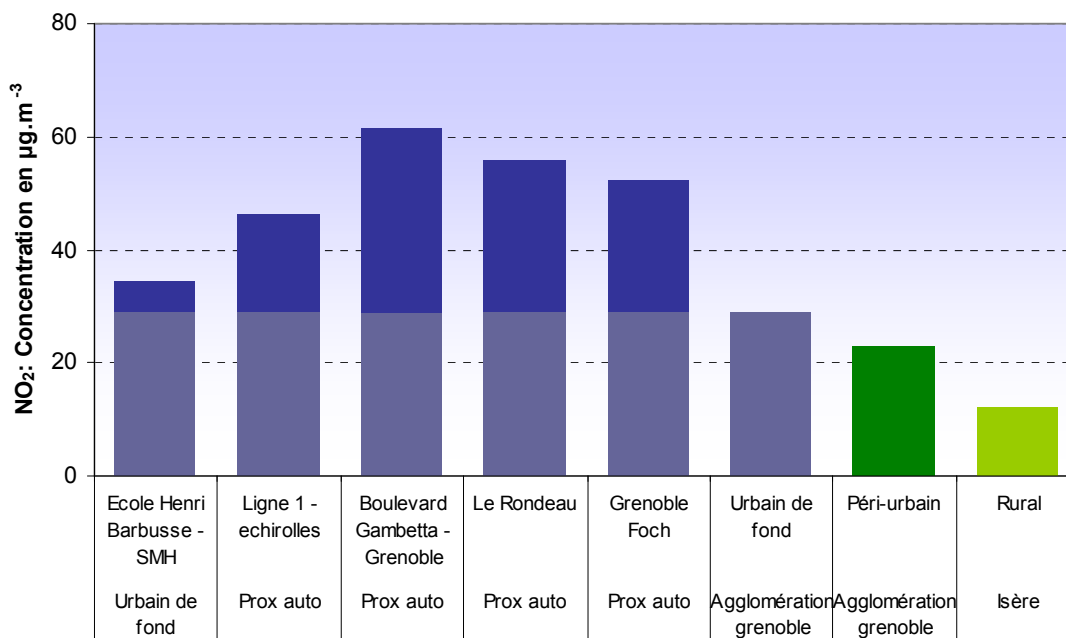


Figure 2.5 Estimation des concentrations moyennes annuelles de dioxyde d'azote (NO₂) sur les sites de l'observatoire des déplacements et concentration moyenne annuelle mesurée sur les sites fixes de l'ASCOPARG

Les concentrations de NO₂ confirment l'influence du trafic automobile sur ces trois sites avec des niveaux moyens de dioxyde d'azote (34 à 61 µg.m⁻³) supérieurs au niveau de fond de l'agglomération grenobloise (~29 µg.m⁻³ en 2006).

Les oxydes d'azote (NO_x = NO + NO₂) constituent des traceurs de la pollution d'origine automobile. En effet, 47% des émissions de NO_x de l'agglomération grenobloise sont dues au transport routier.

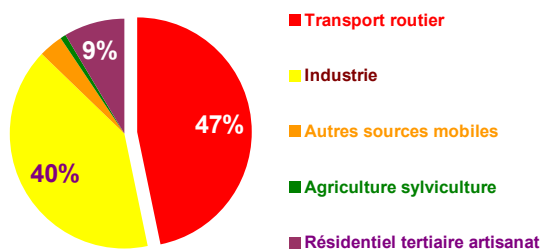


Figure 2.6 Répartition des émissions d'oxydes d'azote (NO_x) dans l'agglomération grenobloise (Source : Cadastre ASCOPARG – Emissions 2003 par zone – Version 2006-1 maj. le 31/05/2006)

Les niveaux les plus importants sont mesurés sur le site du Boulevard Gambetta. Avec une moyenne annuelle de 62 µg.m⁻³, ils sont deux fois plus importants que le niveau de fond de l'agglomération grenobloise (~29 µg.m⁻³). Ces résultats confirment la forte influence du trafic automobile (~17000 véhicules par jour) sur ce site combinée à la configuration de la rue en canyon qui ne favorise pas la dispersion des polluants.

L'étude du rapport NO/NO_2 confirme l'influence du trafic automobile sur les trois sites de l'observatoire environnementale des déplacements. En effet, selon la proximité des sources de NO_x ($\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$), le rapport NO/NO_2 sera différent :

- **$\text{NO}/\text{NO}_2 > 1$** : le NO est prédominant par rapport au NO_2 . Le site est sous l'influence directe d'une source de NO_x . En effet, le NO est un produit de la combustion résultant de l'association de l'oxygène et de l'azote de l'air à haute température.
- **$\text{NO}/\text{NO}_2 < 1$** : le NO_2 est prédominant par rapport au NO. Les oxydes d'azote (NO_x) sont présents sous leur forme la plus oxydée, le NO_2 .

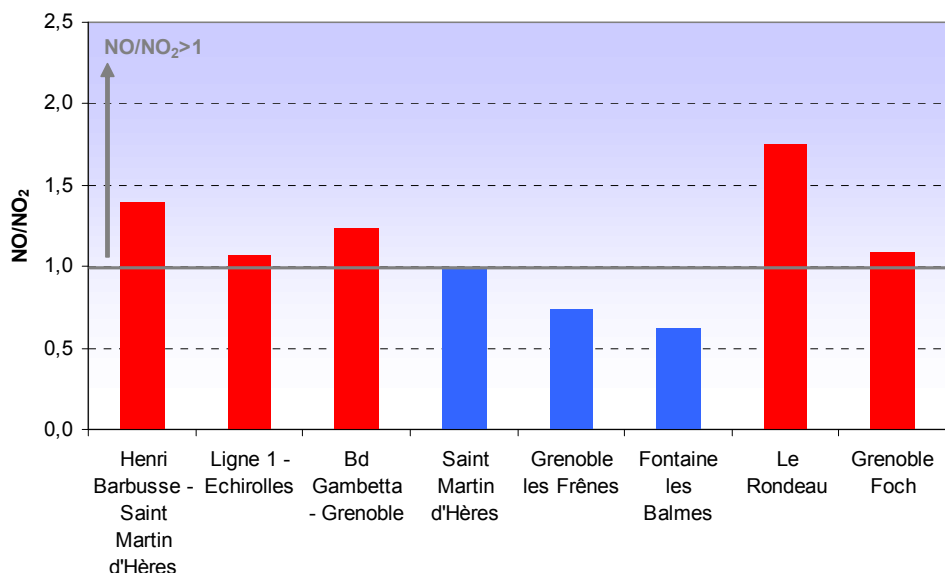


Figure 2.7 Rapport NO/NO_2 caractérise l'influence des sources de pollution

A proximité des trois sites de l'Observatoire, des mesures complémentaires de dioxyde d'azote (NO_2) ont été réalisées par tubes à diffusion (tableau 2.11). Ces mesures par tubes à diffusion permettent d'étudier la variation spatiale du dioxyde d'azote autour des trois sites par laboratoire mobile et de caractériser les niveaux mesurés sur ces 3 sites par rapport à leur environnement.



Installation de tubes à diffusion sur le boulevard Gambetta

Dans le tableau suivant, les statistiques (maximum, moyenne, minimum) ne concernent que les moyennes annuelles des sites de l'observatoire de 2006.

Ainsi, dans le cadre des mesures effectuées en 2006 sur le secteur du boulevard Gambetta, les concentrations annuelles sont comprises entre $35 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ dans les jardins de ville et $88 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ sur la place Hubert Dubedout. La moyenne des sites de mesures dans le secteur du boulevard Gambetta est de $56 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

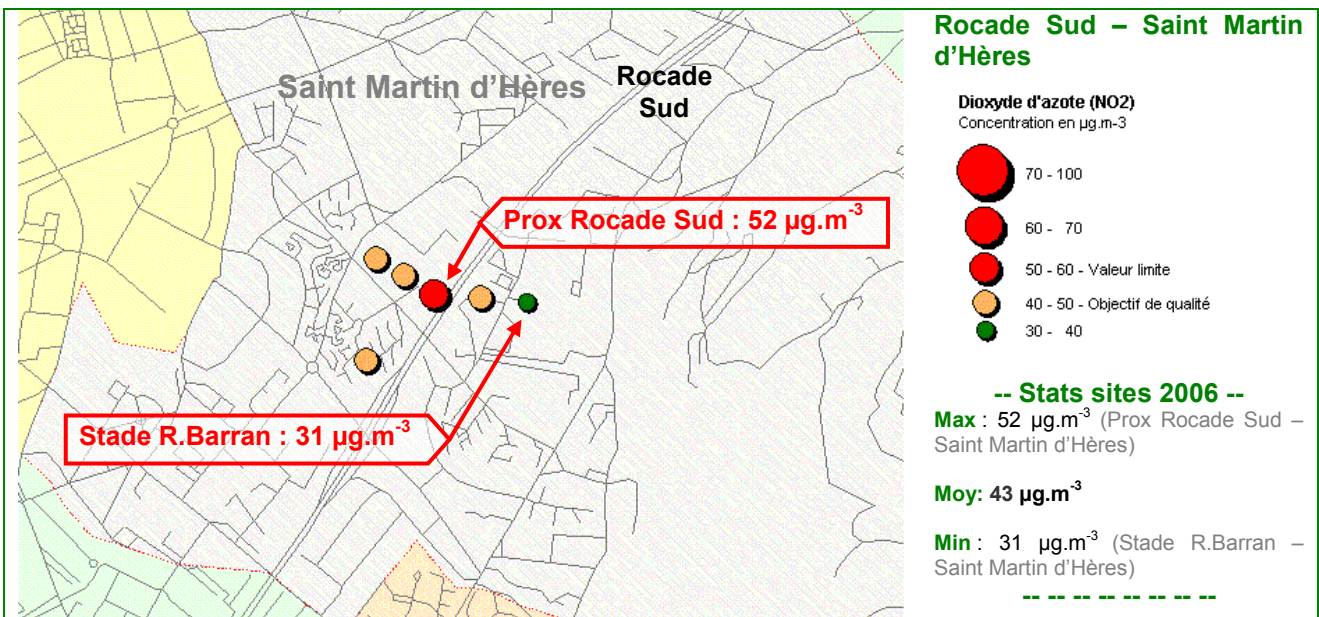
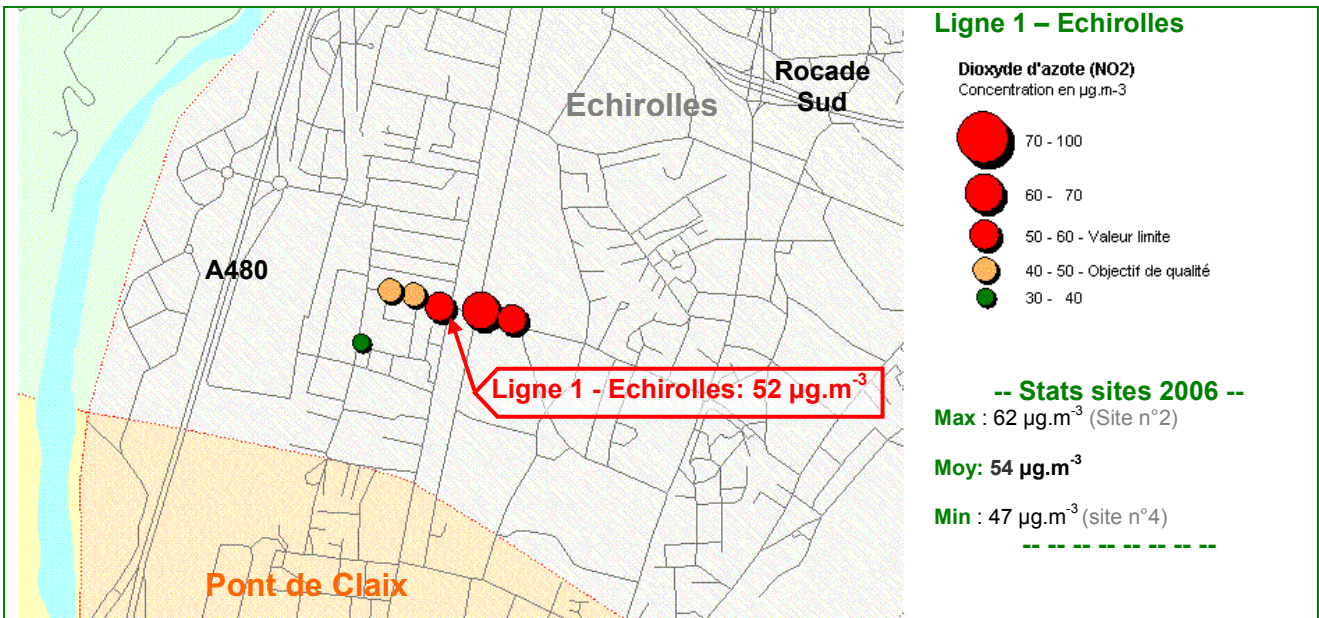
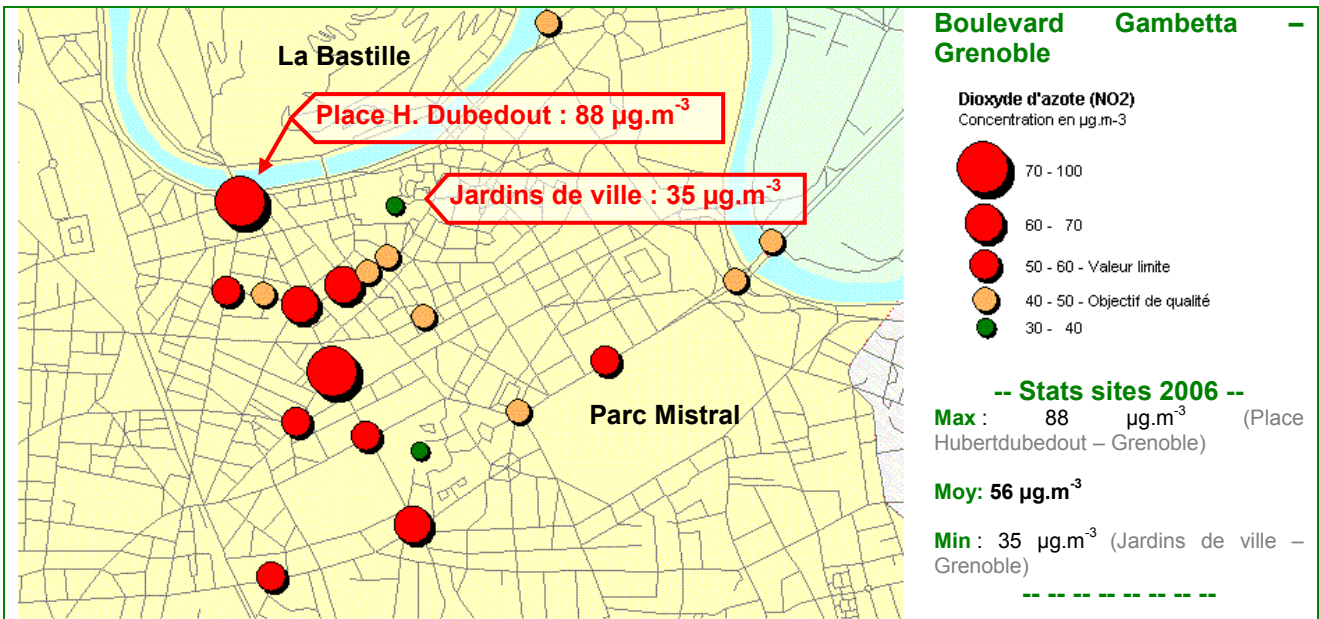
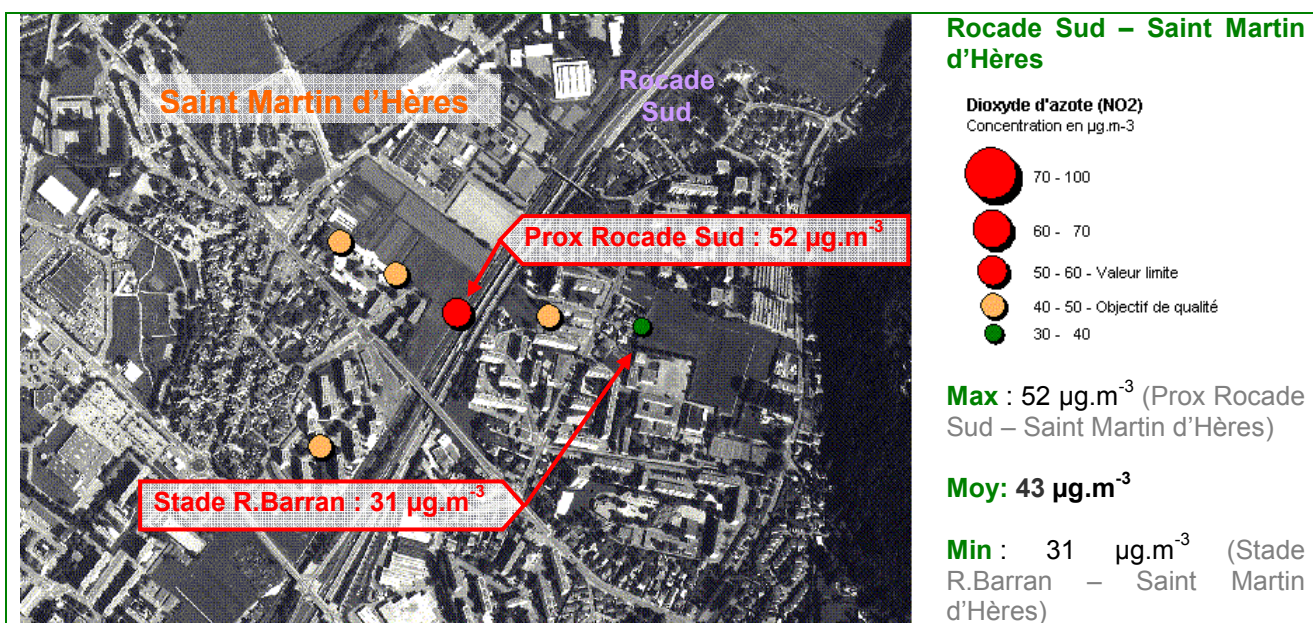
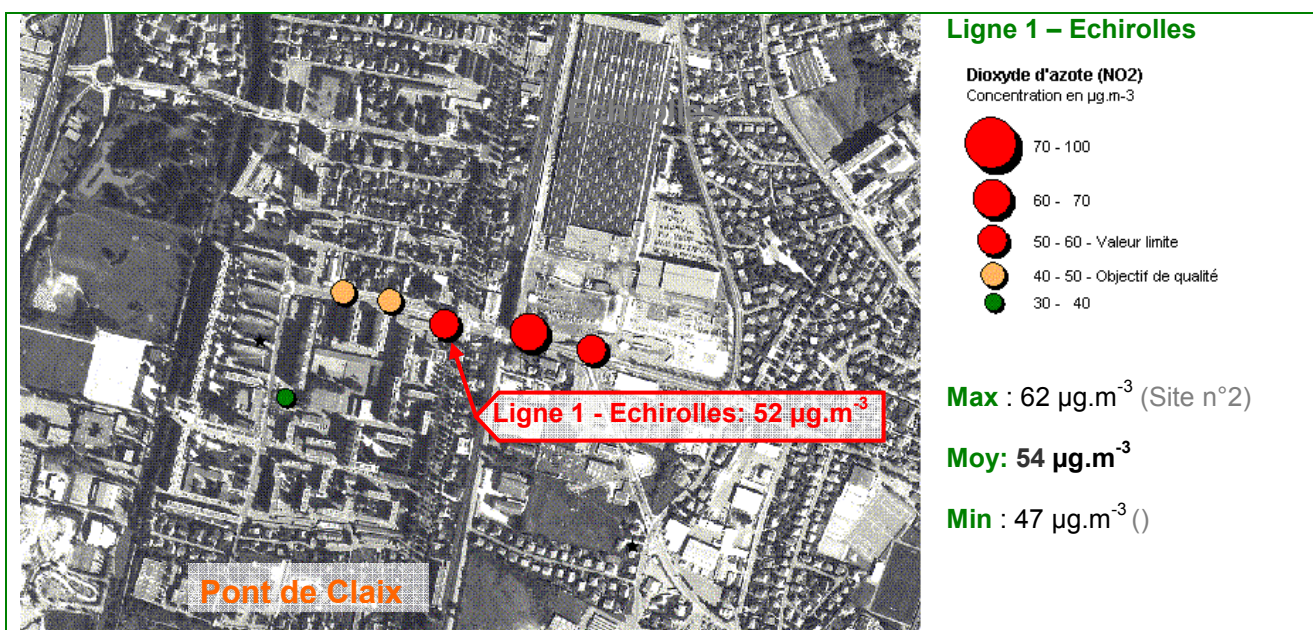
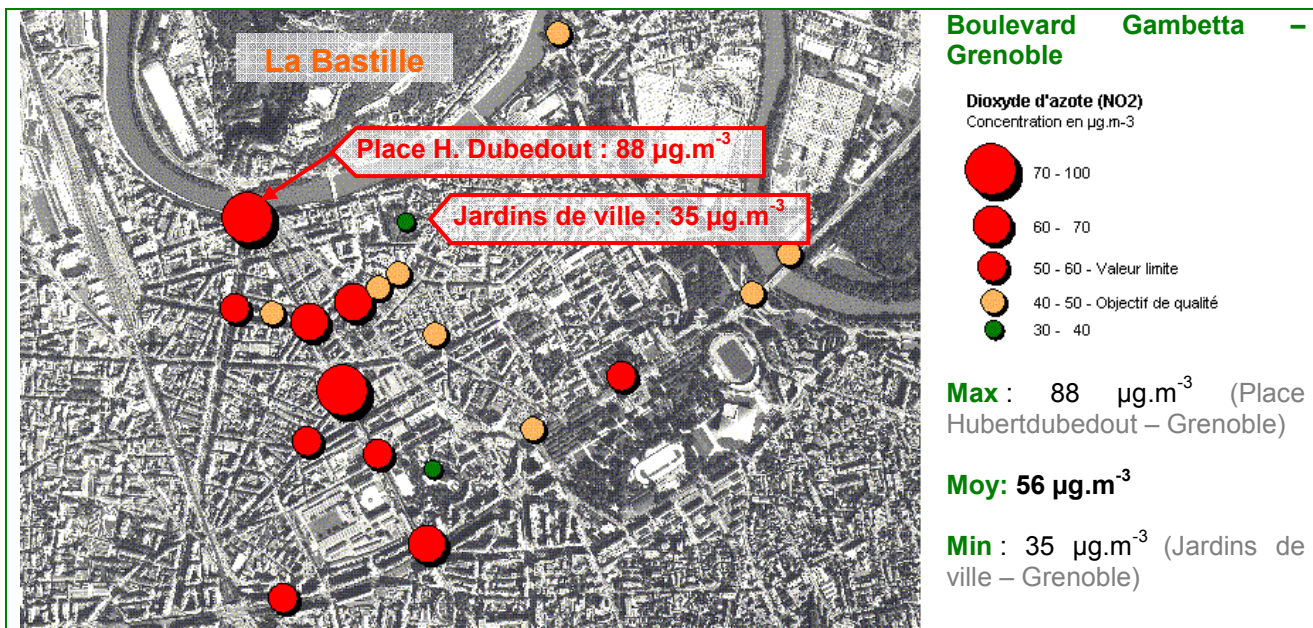


Figure 2.8 Concentrations moyennes annuelles de dioxyde d'azote (NO₂)



2.2.1.2.1 Dioxyde d'azote (NO₂) dans le secteur du Boulevard Gambetta (Hyper centre de Grenoble)

Les mesures par tubes à diffusion confirment les résultats précédents avec des **niveaux importants de dioxyde d'azote sur l'ensemble du boulevard Gambetta** (supérieurs à 57 µg.m⁻³ sur l'ensemble du boulevard compris entre la place Hubert Dubedout et l'intersection avec le Boulevard Foch). Les niveaux les plus importants ont été mesurés sur la Place Hubert Dubedout (88 µg.m⁻³ en moyenne annuelle, soit 3 fois les niveaux de fond).

Dans ce secteur, les niveaux les plus faibles ont été mesurés sur les sites de fond (Parc Hoche ~ 37µg.m⁻³ et jardins de ville ~35 µg.m⁻³ : dans ces deux parcs les niveaux de dioxyde d'azote restent influencés par le trafic automobile des rues voisines car ils sont supérieurs au niveau de fond de l'agglomération).

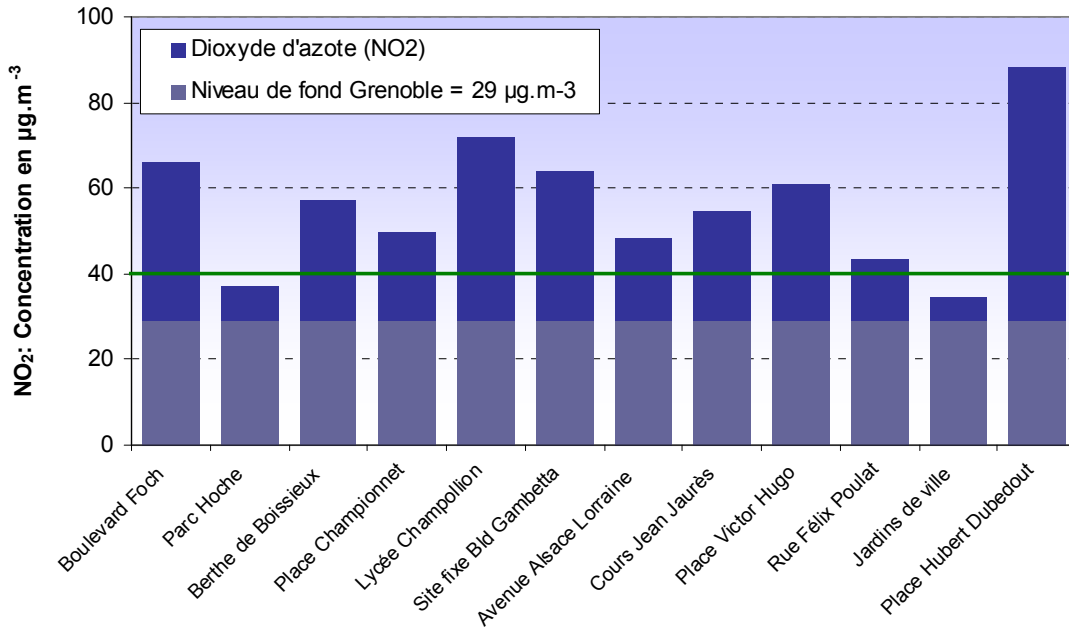


Figure 2.9 Concentration en dioxyde d'azote sur le secteur du boulevard Gambetta.

2.2.1.2.2 Dioxyde d'azote (NO₂) à proximité de la ligne 1 à Echirolles

Les niveaux de dioxyde de d'azote mesurés sont importants et relativement homogènes (47 à 62 µg.m⁻³). En effet, tous ces sites de mesures étaient proches du cours Jean Jaurès (~19000 véhicules par jour). Mais ils étaient aussi influencés par le trafic automobile des deux avenues perpendiculaires au cours Jean Jaurès : l'avenue Auguste Ferrier et l'avenue Pierre Manhès (qui connaissent aussi un trafic important).



Site n°2 (Avenue Auguste Ferrier)

Site n°3 (Avenue Pierre Manhès)

Figure 2.10 Sites de mesures de la ligne 1 à Echirolles

Le site Echirolles « fond urbain » correspond à des mesures effectuées en 2005 dans le cadre de l'étude de cartographie du dioxyde d'azote et du benzène en Rhône-Alpes. Ce site est un site de fond, faiblement influencé par le trafic automobile avec une concentration proche du niveau de fond de l'agglomération. Sur les autres sites, les résultats confirment l'influence du trafic automobile du cours Jean Jaurès ou des rues perpendiculaires.

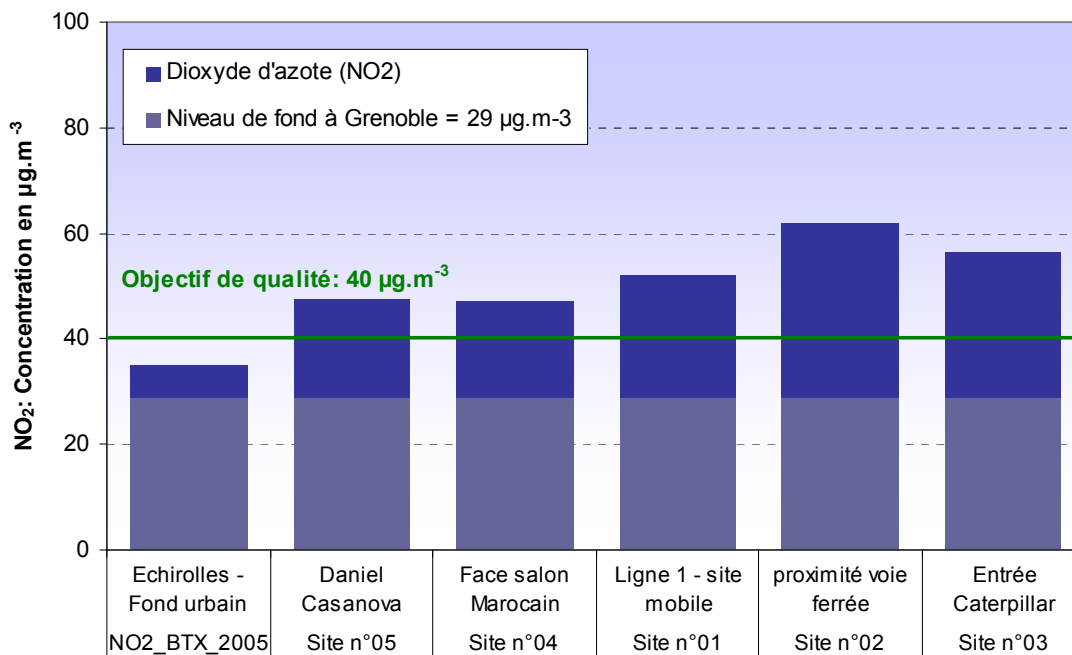


Figure 2.11 Concentration en dioxyde d'azote sur le secteur de la ligne 1 à Echirolles

La comparaison entre les mesures effectuées sur la ligne 1 à Echirolles en 2000 et en 2006 est difficile. En effet, la qualité de l'air de l'agglomération grenobloise a évolué en 6 ans. Cette diminution est visible sur le graphique suivant avec le niveau urbain de fond et le boulevard Foch. De plus, les mesures effectuées en 2000 ne sont pas représentatives de l'année 2000 car elles ont duré 8 semaines en hiver (période la plus favorable à de fortes concentrations de NO₂).

Entre les mesures de dioxyde d'azote (NO₂) effectuées en 2000 et celles effectuées en 2006, il y a eu sur le site de la ligne 1 à Echirolles une diminution de concentration de 8 µg.m⁻³ (~ -13% en 6 ans). Mais cette diminution des concentrations de NO₂ n'est pas spécifique à ce secteur mais est générale à l'ensemble de l'agglomération sur la même période.

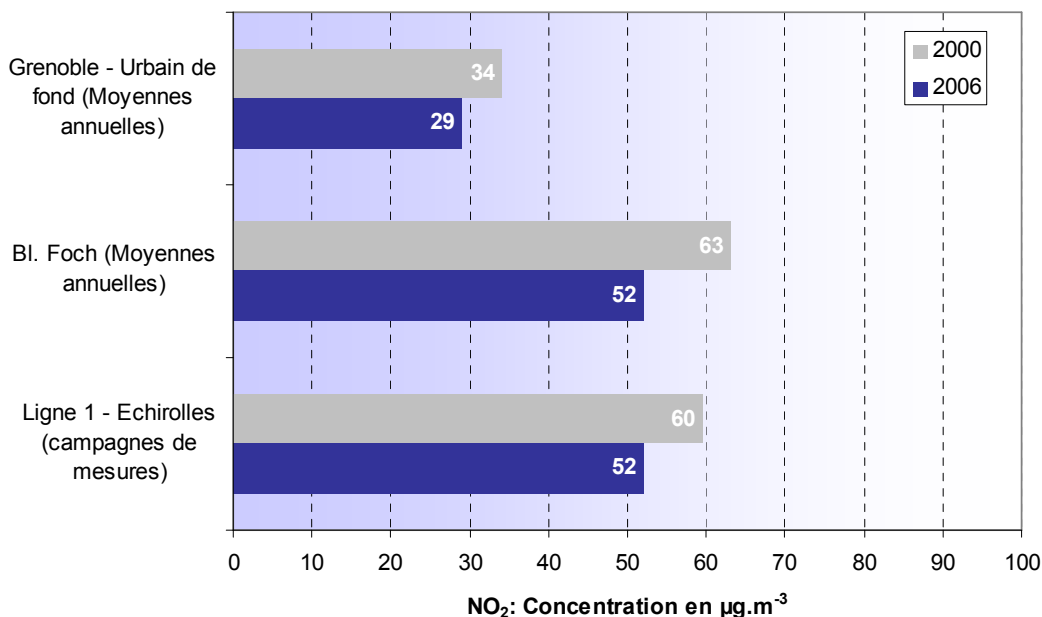


Figure 2.12 Evolution des concentrations de dioxyde d'azote entre 2000 et 2006

2.2.1.2.3 Dioxyde d'azote à proximité de la Rocade Sud à Saint Martin d'Hères

Les sites de mesures constituent un transect par rapport à la rocade Sud ; ils ont été choisis afin de pouvoir caractériser la qualité de l'air à différentes distances de la Rocade Sud (de quelques mètres à 250 mètres). Les concentrations les plus importantes ont été logiquement mesurés sur le site le plus proche de la Rocade Sud (~52 µg.m⁻³ sur le site n°3 qui est situé à 20m de la Rocade Sud).

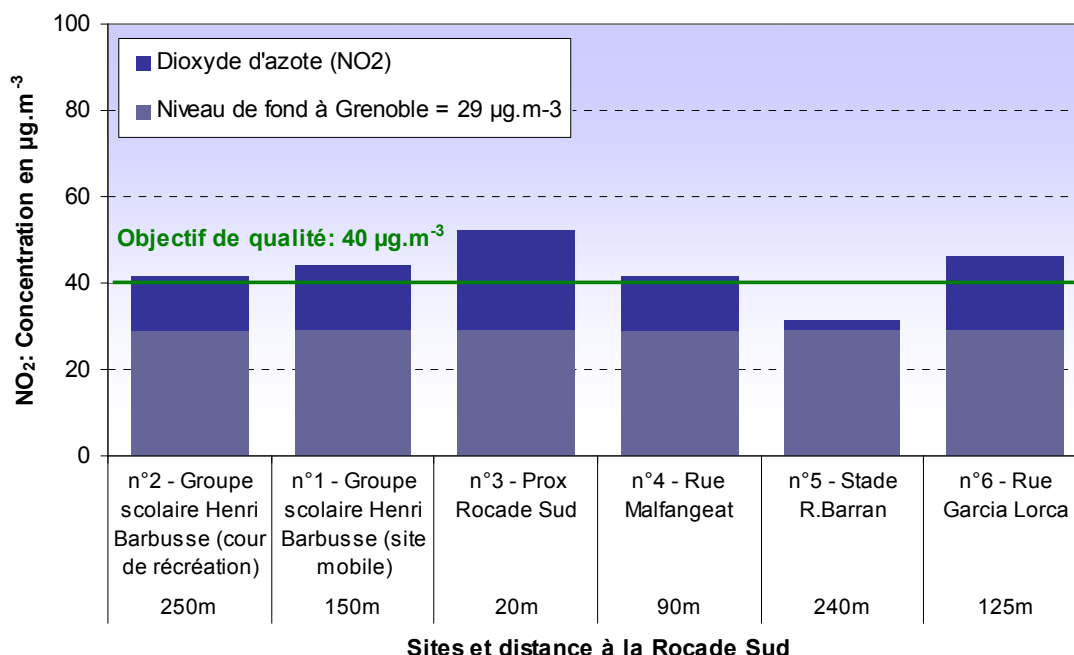


Figure 2.13 Concentrations en dioxyde d'azote (NO₂) à Saint Martin d'hères

Cependant, il est intéressant de noter que la décroissance des concentrations de NO₂ n'est pas identique des deux côtés de la Rocade Sud. L'influence de la Rocade Sud va bien plus loin dans un sens que dans l'autre. En effet, à 250 mètres de la Rocade Sud, les niveaux sont plus importants du côté ouest (44 µg.m⁻³ à l'école Henri Barbusse à 150 m de la Rocade contre 31 µg.m⁻³ sur le stade R. Barran à 240 m). Cette différence peut s'expliquer par des conditions de dispersion différentes entre les deux côtés de la Rocade Sud. Du côté Est, la dispersion des polluants pourrait être bloquée par un mur anti bruit plus haut (mur en béton surélevé par plexiglas) et des immeubles d'habitation.

2.2.1.2.4 Résultats des mesures de NO₂ pendant les 12 semaines de mesures

Dans les résultats suivants, le calcul de la moyenne horaire tient compte des corrections faites pour l'estimation de la moyenne annuelle.

Station	Henri Barbusse - SMH	Ligne 1 - echirrolles	Boulevard Gambetta - Grenoble	St Martin d'Heres	Grenoble Les Frenes	Fontaine Les Balmes	Versoud	Voreppe Volouise	Charavines
Typologie	Urbain de fond	Prox auto	Prox auto	Urbain de fond	Urbain de fond	Urbain de fond	Péri-urbain	Péri-urbain	Rural
% de données valides	76%	97%	100%	97%	96%	97%	96%	98%	97%
Moyenne horaire	34	46	62	31	29	27	21	25	12
Maximum horaire	140	174	165	146	127	101	87	92	86
Percentile 99,8 horaire	122	155	156	85	80	74	62	66	42
Percentile 99,2 horaire	109	134	130	100	89	83	69	73	53
Percentile 98 horaire	93	108	120	85	80	74	62	66	42
Percentile 90,4 horaire	72	81	93	61	59	56	45	50	27
Percentile 50 horaire	34	38	48	27	24	22	18	21	9
Minimum horaire	2	4	0	0	0	0	0	0	0

Station	Henri Barbusse - SMH	Ligne 1 - echiroilles	Boulevard Gambetta - Grenoble	Le Rondeau	Grenoble Foch
Typologie	Urbain de fond	Prox auto	Prox auto	Prox auto	Prox auto
% de données valides	76%	97%	100%	97%	98%
Moyenne horaire	34	46	62	56	52
Maximum horaire	140	174	165	194	196
Percentile 99,8 horaire	122	155	156	124	109
Percentile 99,2 horaire	109	134	130	137	126
Percentile 98 horaire	93	108	120	124	109
Percentile 90,4 horaire	72	81	93	100	84
Percentile 50 horaire	34	38	48	52	51
Minimum horaire	2	4	0	0	0

▲ Le premier tableau illustre les statistiques de NO₂ sur les sites de l'Observatoire comparées aux statistiques des sites de référence urbains, péri-urbains et rural

◀ Le deuxième tableau illustre les statistiques de NO₂ sur les sites de l'observatoire comparées aux sites de référence en proximité automobile

Tableau 2-2 Statistiques horaires du NO₂ et estimation de la moyenne annuelle en µg.m⁻³

Les concentrations moyennes confirment l'influence du trafic automobile sur les 3 sites choisis pour l'observatoire environnemental des déplacements. En effet, les niveaux mesurés sur ces trois sites (34 à 61 µg.m⁻³) sont bien supérieurs aux niveaux de fond à Grenoble (~29 µg.m⁻³ en 2006).

Parmi les sites temporaires de l'Observatoire environnemental, les niveaux les plus importants ont été mesurés sur le site du boulevard Gambetta. Ces niveaux confirment l'influence du trafic automobile sur ce site. Cette influence est accentuée par la configuration des rues en centre ville qui ne favorise pas la dispersion des polluants.

2.2.1.2.5 Variation horaire et journalière : influence du trafic automobile

Comme pour le NO, les profils moyens horaires montrent **aussi une influence du trafic automobile** avec une augmentation des concentrations pendant les heures de pointe du trafic vers 7-8 heures et 17-19 heures (Figure 2.12).

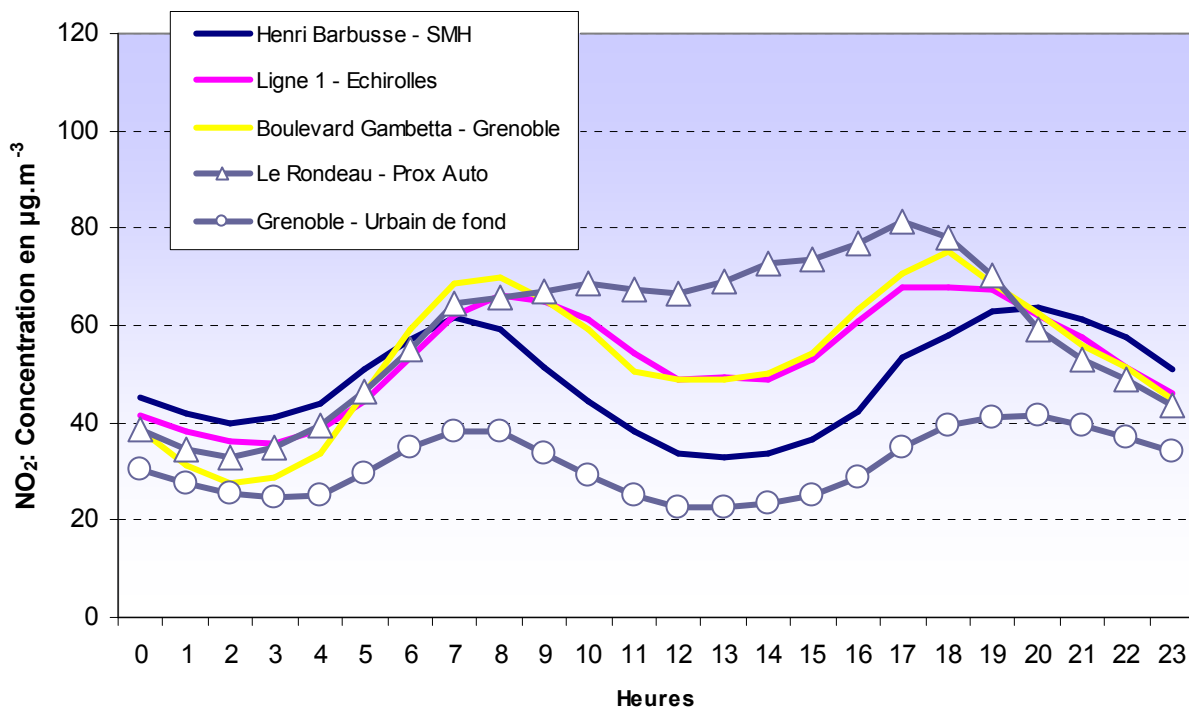


Figure 2.14 Profils Profil moyen horaire du NO₂ pendant les 12 semaines de mesures de l'étude

2.2.1.2.6 Estimation de la moyenne annuelle et comparaison à la réglementation

Les résultats statistiques horaires observés sur les sites de mesures de l'étude permettent de calculer pour ces sites une estimation de la moyenne annuelle qui peut être comparée à la moyenne annuelle des stations fixes de l'ASCOPARG. L'estimation de la moyenne annuelle est calculée sur la base de la moyenne corrigée des 4 campagnes de mesures (Figure 2.13).

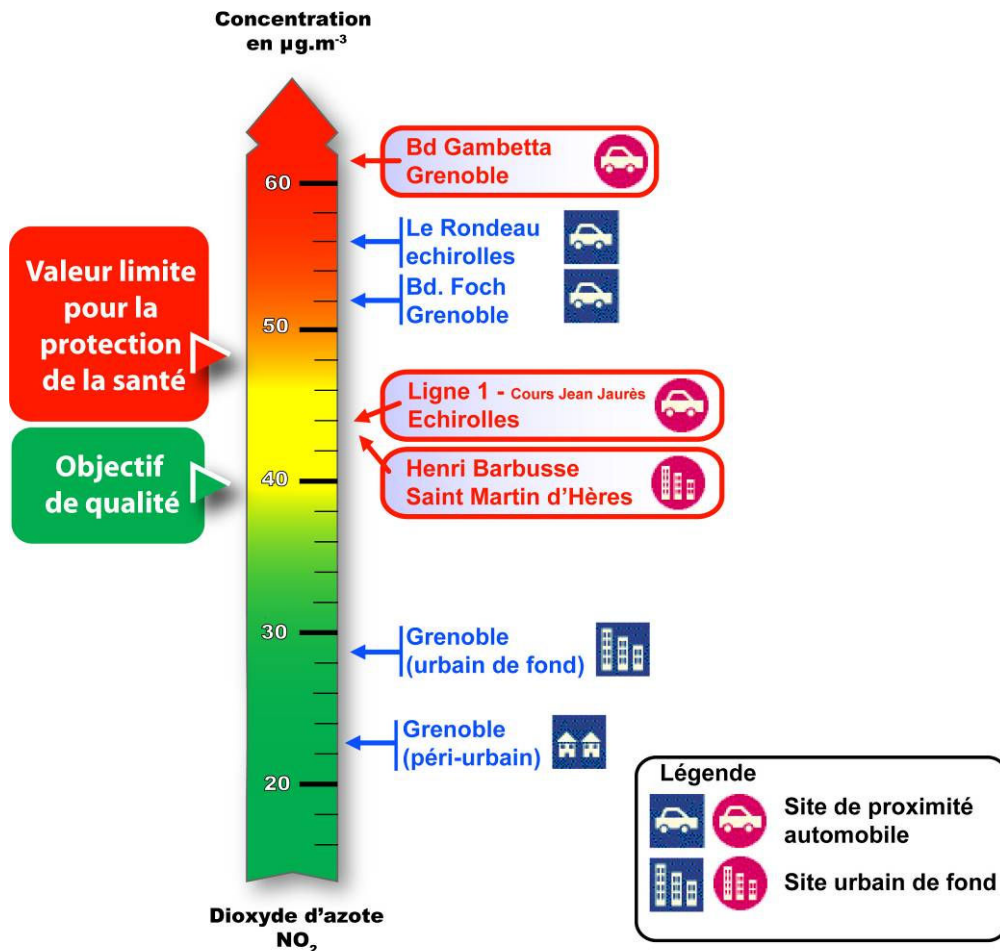


Figure 2.15 Comparaison des mesures de NO₂ par rapport à la réglementation

Sur tous les sites influencés par le trafic automobile, les concentrations de NO₂ sont logiquement supérieures à celles enregistrées en fond urbain à Grenoble (~29 µg.m⁻³) et péri-urbain (23 µg.m⁻³).

La comparaison à la réglementation montre que les trois sites de l'Observatoire des déplacements ne respectent pas en 2006 l'objectif de qualité du NO₂ (concentrations moyennes supérieures à 40 µg.m⁻³ en moyenne annuelle).

Les mesures effectuées par tubes à diffusion montrent que l'ensemble des sites étudiés sur le boulevard Gambetta ne respecte pas l'objectif de qualité de qualité (40 µg.m⁻³ en moyenne annuelle)

Le site du boulevard Gambetta, du Rondeau et du boulevard Foch ne respectent pas non plus la valeur limite pour la protection de la santé humaine (concentrations supérieures à 52 µg.m⁻³ en moyenne annuelle).

Il est aussi intéressant de noter que la diminution des niveaux de dioxyde d'azote sur le boulevard Foch constatée entre 2003 et 2005 (-20%) s'est confirmée en 2006. Cette diminution est certainement liée à la mise en place de la troisième ligne de tramway qui se serait accompagnée d'une réduction des émissions de NOx sur le boulevard Foch.

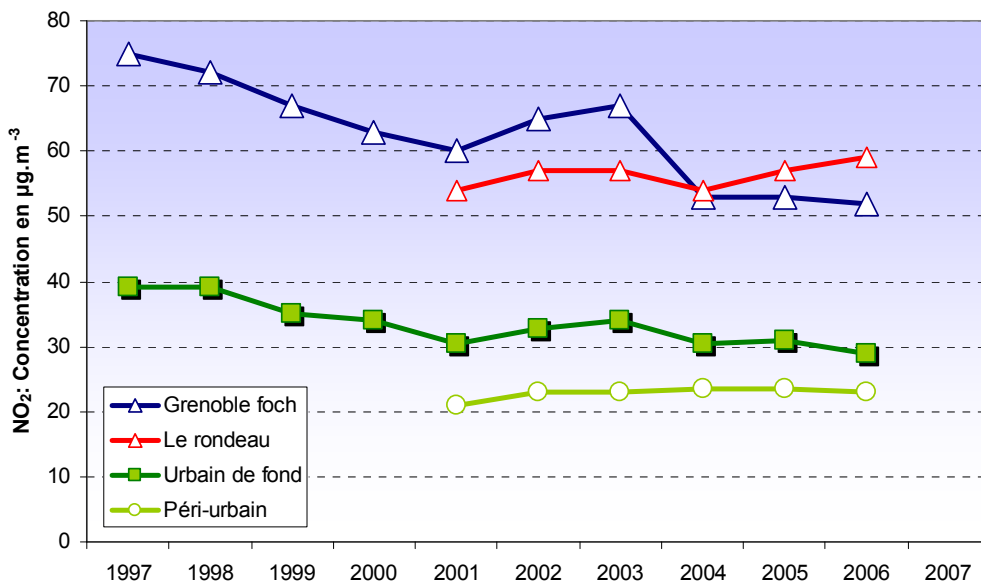


Figure 2.16 Evolution des concentrations moyennes de NO₂ à Grenoble depuis 1997

Cette réduction des émissions est liée à la diminution du trafic automobile sur le boulevard (50000 véhicules par jour en 2002 à 25000 véhicules par jour – Source : SMTc, PDU 2006-2012).

En résumé pour le dioxyde d'azote (NO₂) :

Les mesures effectuées dans le cadre de l'observatoire des déplacements depuis 2004 confirment que les niveaux de dioxyde d'azote (NO₂) ne sont pas homogènes dans l'agglomération grenobloise et sont principalement liés à l'activité automobile. En effet, le transport routier représente 53% des émissions de NOx dans l'agglomération grenobloise.

Les niveaux de fond à Grenoble (~ 29 µg.m⁻³ en 2006) sont plus importants que ceux mesurés en périphérie grenobloise (+ 6 µg.m⁻³ par rapport aux sites péri-urbains).

Globalement, les niveaux de NO₂ augmentent en se rapprochant des axes de circulation et du centre de l'agglomération où le réseau routier est très dense. Cette constatation sera vérifiée par les travaux de modélisation qui montrent une dégradation de la qualité de l'air à proximité des voies rapides urbaines (rocade sud et A480) et dans l'hyper-centre de Grenoble (sur les grands boulevards).

En situation de proximité automobile, les niveaux en dioxyde d'azote ne sont pas conformes à l'objectif de qualité pour les trois sites de mesures en 2006.

Ces niveaux dépassent aussi la valeur limite pour la protection de la santé humaine sur les sites influencés par un fort trafic automobile (les Boulevards Gambetta et Foch, le site du Rondeau).

Concernant l'étude de la ligne 1, les niveaux mesurés de dioxyde d'azote ont diminué sur le site de mesures à Echirolles. Cette diminution (-13% en 6 ans) n'est pas propre à ce secteur car elle s'observe aussi sur d'autres sites de l'agglomération. Cette diminution locale peut donc s'expliquer par la mise en place de la ligne 1 mais aussi par une diminution générale des concentrations de NOx.

2.2.2 Les poussières en suspension (PM₁₀)

Le graphique suivant illustre l'estimation des concentrations moyennes de PM₁₀ sur les 3 sites de l'observatoire en comparaison des niveaux mesurés toute l'année sur les stations fixes de référence de l'agglomération grenobloise.

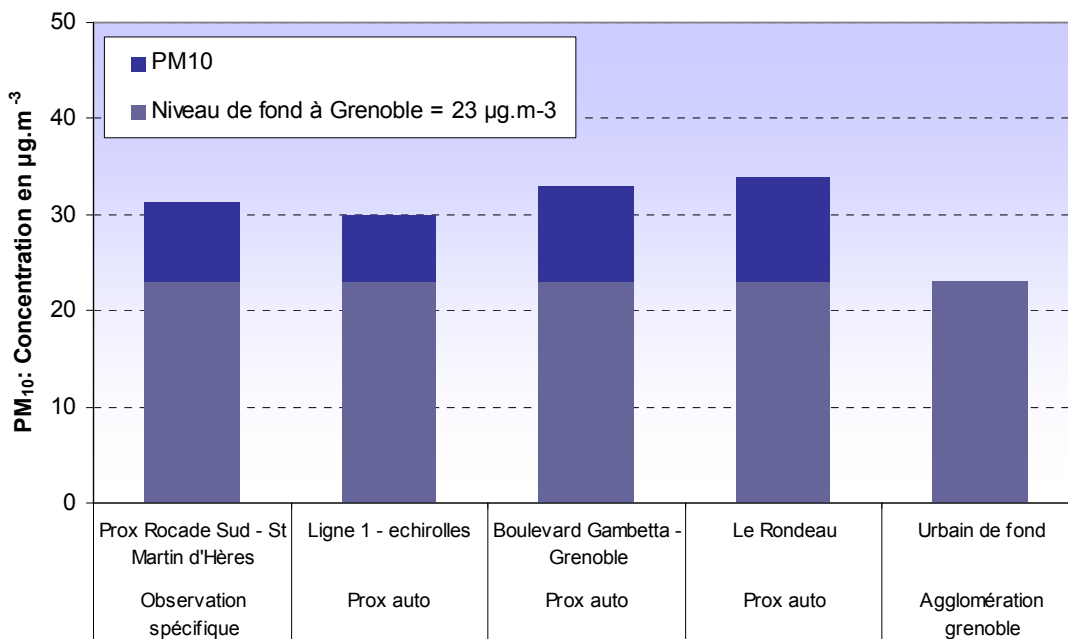


Figure 2.17 Estimation des concentrations moyennes annuelles de poussières PM₁₀ sur les sites de l'observatoire et concentrations moyennes annuelles mesurées sur les sites fixes de l'ASCOPARG

Sur les trois sites de l'étude, les concentrations moyennes annuelles de PM₁₀ sont supérieures à la concentration moyenne en site urbain de fond (~23 µg.m⁻³).

Cependant, l'écart entre les stations de proximité automobile (30-33 µg.m⁻³) et les stations de fond est plus faible que pour les autres polluants (NO et NO₂). Ce faible écart est lié au fait que le trafic automobile n'est pas l'émetteur le plus important de PM₁₀. En effet, le trafic automobile ne représente que le 3^{ème} émetteur de PM₁₀ de l'agglomération grenobloise avec 25% des émissions totales derrière le résidentiel/tertiaire (~38% des émissions de PM₁₀) et l'industrie (~30%).

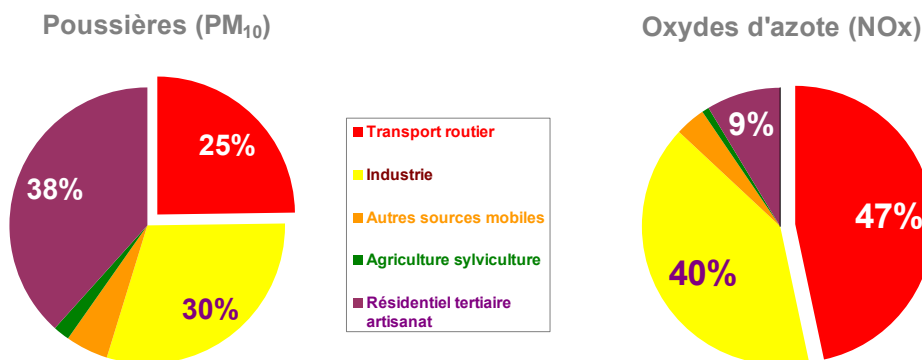


Figure 2.18 Répartition des émissions de poussières (PM₁₀) et d'oxydes d'azote (NOx) dans l'agglomération grenobloise (Source : Cadastre ASCOPARG – Emissions 2003 par zone – Version 2006-1 maj. le 31/05/2006)

2.2.2.1.1 Statistiques horaires des PM₁₀ pendant les 12 semaines de mesures

Les résultats statistiques horaires des PM₁₀ observés sur les sites temporaires de l'observatoire des déplacements et sites fixes de l'ASCOPARG ont été résumés dans les tableaux suivants.

Station	Henri Barbusse - SMH	Ligne 1 - Echirolles	Boulevard Gambetta - Grenoble	St Martin d'Herès	Grenoble Les Frènes	Fontaine Les Balmes	Le Rondeau
Typologie	Urbain de fond	Prox Auto	Prox Auto	Urbain de fond	Urbain de fond	Urbain de fond	Prox Auto
% de données valides	95%	99%	100%	99%	98%	99%	99%
Moyenne horaire	31	30	33	22	23	22	34
Maximum horaire	156	156	87	163	233	100	307
Percentile 99,8 horaire	142	140	73	64	69	64	93
Percentile 99,2 horaire	128	126	64	82	79	76	116
Percentile 98 horaire	112	108	59	64	69	64	93
Percentile 90,4 horaire	75	71	45	42	46	42	62
Percentile 50 horaire	30	28	23	19	20	18	29
Minimum horaire	1	0	0	0	0	0	0

Tableau 2-3 Statistiques horaires des PM₁₀ et estimation de la moyenne annuelle en µg.m⁻³

2.2.2.1.2 Statistiques journalières des PM₁₀ pendant les 12 semaines de mesures

Parmi les valeurs réglementaires, les PM₁₀ font l'objet d'une valeur limite pour la protection de la santé humaine fixée à 55 µg.m⁻³ pour le centile 90,4 (c'est-à-dire que la concentration moyenne journalière de PM₁₀ ne doit pas dépasser 55 µg.m⁻³ plus de 35 jours par an).

Par ailleurs, les arrêtés interpréfectoraux (juillet 2006) fixent en Rhône-Alpes pour les PM₁₀ un **seuil d'information et de recommandations** à 80 µg.m⁻³ et un **seuil d'alerte** à 125 µg.m⁻³ en moyenne journalière.

Les résultats statistiques journaliers observés en 2006 sur les stations fixes de l'agglomération grenobloise ont été résumés dans les tableaux suivants (Tableau 2.4).

	St Martin d'Herès	Grenoble Les Frènes	Fontaine Les Balmes	Le Rondeau
	Urbain de fond	Urbain de fond	Urbain de fond	Trafic
Nombre de dépassements du seuil de 55 µg.m ⁻³ en moyenne journalière (doit être inférieur à 35 pour ne pas dépasser la valeur limite)	8	11	9	42
Nombre de dépassement du seuil d'information et de recommandations : 80 µg.m ⁻³ en moyenne journalière	0	0	0	5
Nombre de dépassement du seuil d'alerte : 125 µg.m ⁻³ en moyenne journalière	0	0	0	0

Tableau 2-4 Statistiques journalières des PM₁₀ sur les sites fixes de l'agglomération grenobloise en 2006

En 2006, avec 42 dépassements du seuil de 55 µg.m⁻³ en moyenne journalière, le site du Rondeau ne respecte pas la valeur limite pour la protection de la santé fixée à 55 µg.m⁻³ pour le centile 90,4. Ce site respectait en 2005 la valeur limite pour la protection de la santé (seulement 20 dépassement des 55 µg.m⁻³ en moyenne journalière).

Tous les autres sites fixes de l'agglomération de Grenoble ont aussi respecté cette valeur réglementaire en 2006 (Tableau 2.4).

Le tableau suivant illustre les dépassements mesurés sur les trois sites de l'observatoire en 2006 avec une estimation des dépassements des différents seuils sur l'année 2006.

Concernant les dépassements du seuil journalier de 55 µg.m⁻³, le site du groupe scolaire Henri Barbusse enregistre 15 dépassements alors que le site du Rondeau enregistre 17 dépassements pendant la même

période. Cette comparaison entre les deux sites permet d'estimer à 37 le nombre de jours de dépassements du seuil journalier de 55 µg.m⁻³ sur le site du groupe scolaire Henri Barbusse à Saint Martin d'Hères.

	Henri Barbusse - SMH	Ligne 1 - Echirolles	Boulevard Gambetta - Grenoble
	Urbain de fond	Prox Auto	Prox Auto
Nombre de dépassements du seuil de 55 µg.m ⁻³ en moyenne journalière (doit être inférieur à 35 pour ne pas dépasser la valeur limite)	15/37	2/11	3/63
Nombre de dépassement du seuil d'information et de recommandations : 80 µg.m ⁻³ en moyenne journalière	3/3	0/-	1/-
Nombre de dépassement du seuil d'alerte : 125 µg.m ⁻³ en moyenne journalière	0/0	0/0	0/0

Tableau 2-5 Statistiques journalières des PM₁₀ pendant les 12 semaines de mesures

Les deux sites du groupe scolaire Henri Barbusse à Saint Martin d'Hères et du boulevard Gambetta à Grenoble ont une estimation du nombre de dépassements du seuil journalier de 55 µg.m⁻³ qui n'est pas conforme à la valeur limite pour la protection de la santé.

Le **seuil d'information et de recommandations** (80 µg.m⁻³ en moyenne journalière) n'a pas été dépassé en 2006 à Grenoble sur les stations urbaines de fond. Toutefois, il a été dépassé 5 fois sur les sites du Rondeau (site de proximité automobile), 3 fois sur le site du groupe scolaire Henri Barbusse et 1 fois sur le boulevard Gambetta.

Il n'est pas possible de faire une estimation du nombre de dépassements du seuil d'information et de recommandations pour les sites de la ligne 1 et du boulevard Gambetta.

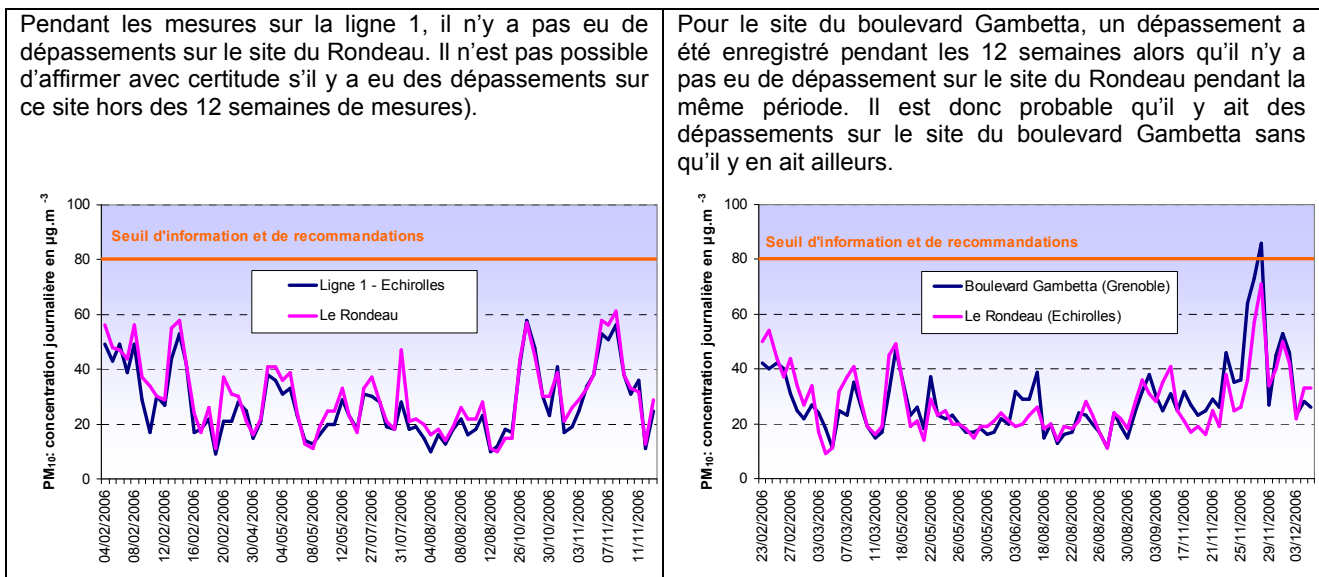


Figure 2.19 Concentrations moyennes journalières de PM₁₀ pendant les 12 semaines de mesures

Le seuil d'information et de recommandations a également été dépassé en mars 2007 sur plusieurs sites l'agglomération grenobloise. Les conditions météorologiques n'étaient pas favorables à la dispersion des polluants. De plus, la circulation atmosphérique plaçait Grenoble dans la trajectoire d'une masse d'air déjà très chargée en particules.

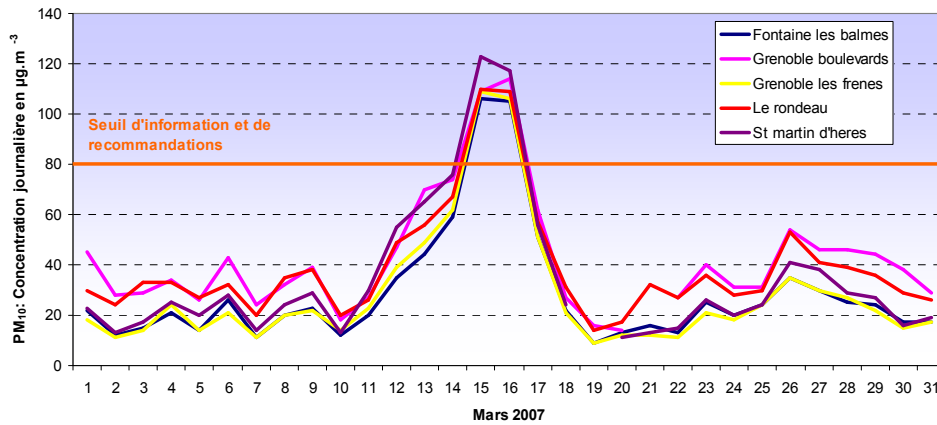


Figure 2.20 Concentrations moyennes journalières de PM₁₀ à Grenoble en mars 2007

En 2006, aucun site n'a connu de dépassement du **seuil d'alerte** (125 µg.m⁻³ en moyenne journalière).

2.2.2.1.3 Estimation de la moyenne annuelle et comparaison à la réglementation

Les résultats statistiques horaires observés sur les sites de mesures de l'observatoire des déplacements en 2006 permettent de calculer, pour ces sites, une estimation de la moyenne annuelle comparable à celles des sites fixes ASCOPARG de référence. Cette estimation de la moyenne annuelle est calculée sur la base de la moyenne des 4 campagnes de mesures.

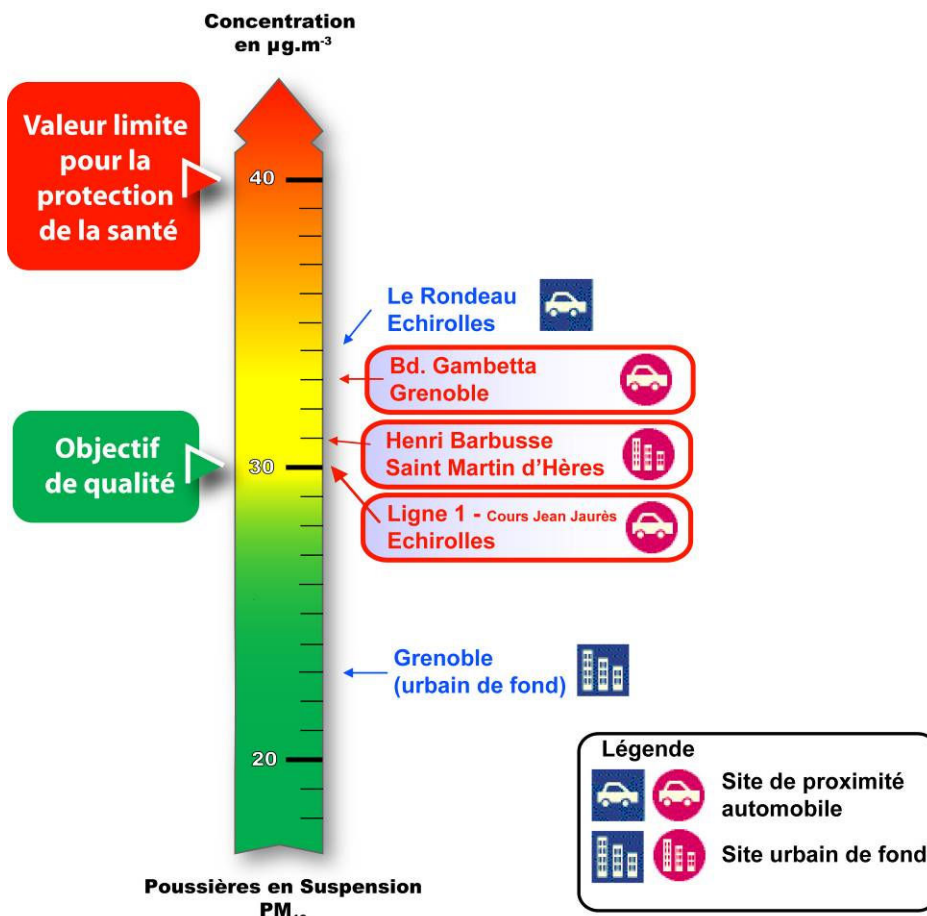


Figure 2.21 Estimation de la moyenne annuelle en PM₁₀ et comparaison par rapport à la réglementation

La comparaison par rapport à la réglementation montre que tous les sites de l'observatoire des déplacements ne respectent pas l'objectif de qualité (la concentration moyenne annuelle doit être inférieure à 30 µg.m⁻³ pour être conforme à l'objectif).

2.2.2.1.4 Evolution des niveaux de PM₁₀ sur le site de la ligne 1 à Echirolles

Comme pour le dioxyde d'azote (NO₂), le site de la ligne 1 à Echirolles montre une diminution des concentrations de poussières **mesurées** entre les campagnes effectuées en 2000 et 2006. Cependant, comparer les résultats des mesures des campagnes de 2000 et 2006 ne permet pas d'apprécier l'évolution des concentrations moyennes annuelles entre ces deux années sur ce site.

En effet, la campagne de mesures en 2000 a duré deux mois en hiver (du 8 décembre 1999 au 9 février 2000), période favorable à de fortes concentrations de poussières (38 µg.m⁻³ mesuré en 2000 contre 27 µg.m⁻³ en 2006).

Les mesures effectuées en 4 campagnes en 2006 sont plus représentatives de la moyenne annuelle 2006 (moyenne des 4 campagnes de mesures est proche de l'estimation de la moyenne annuelle).

	Moyenne du 7 janvier 1999 au 9 février 2000	Moyenne annuelle 2000	Moyenne 4 campagnes en 2006	Moyenne annuelle 2006
Ligne 1 – Echirolles	38	27*	27	30*
Saint Martin d'Hères (station fixe)	36	26	21	22
Grenoble Villeneuve (station fixe)	28	21	-	-

* Les concentrations marquées d'une étoile correspondent aux estimations de moyenne annuelle pour le site de la ligne 1 à Echirolles.

Tableau 2-6 Concentrations de PM₁₀ : moyenne lors des campagnes de mesures 2000 et 2006 en comparaison des estimations des moyennes annuelles

L'estimation de la moyenne annuelle sur le site de la ligne 1 à Echirolles montre que les niveaux de PM₁₀ ont peu évolué en 6 ans sur ce site (27 µg.m⁻³ en 2000 et 30 µg.m⁻³ en 2006).

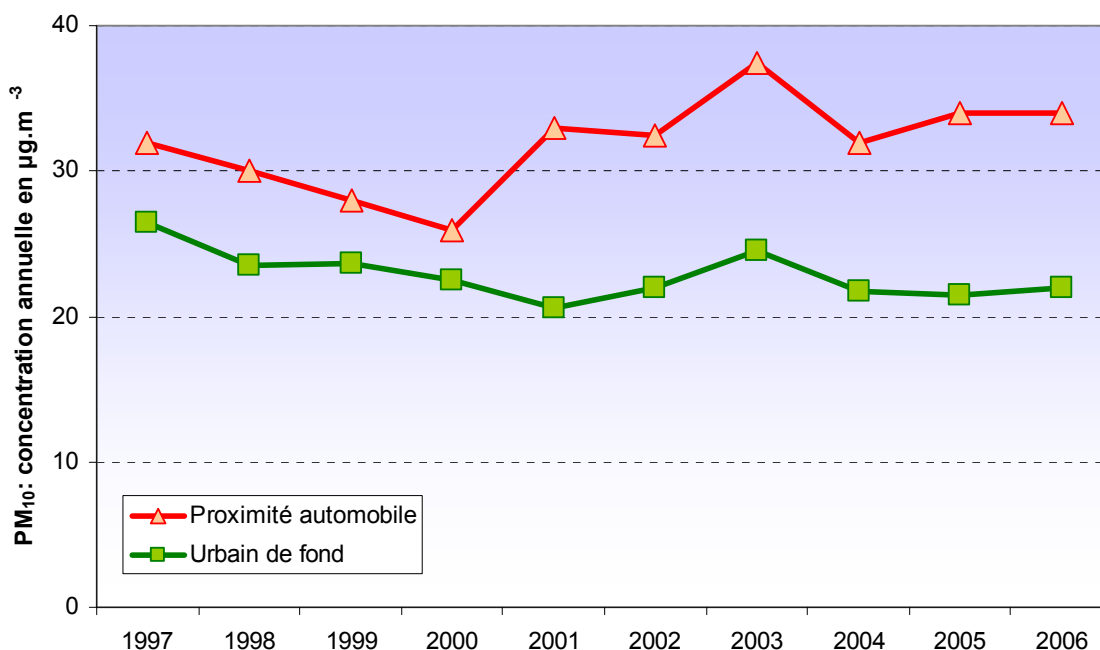


Figure 2.22 Evolution des concentrations moyennes de PM₁₀ des stations fixes de Grenoble depuis 1997

Depuis 10 ans, les concentrations moyennes de poussières (PM₁₀) mesurées en situation de fond ont peu évolué dans l'agglomération grenobloise (Figure 2.22 Evolution des concentrations moyennes de PM₁₀ des stations fixes de Grenoble depuis 1997 précédente).

Elles ont même augmenté sur les sites de proximité automobile, c'est aussi le cas sur le site de la ligne 1 à Echirolles.

En résumé pour les poussières (PM₁₀) :

Les niveaux de poussières sont relativement homogènes dans l'agglomération grenobloise (~23 µg.m⁻³ en situation de fond dans l'agglomération).

Même si le trafic automobile n'est pas un émetteur majoritaire de poussières, les concentrations de poussières peuvent être plus importantes en proximité automobile (+50% en proximité automobile sur le site du Rondeau par rapport au niveau de fond).

Les mesures précédentes effectuées dans le cadre de l'observatoire avaient mis en évidence dès 2004 un risque de dépassement du seuil d'information et de recommandations concernant les poussières (80 µg.m⁻³ en moyenne journalière).

En 2006, des dépassements de ce seuil ont été enregistrés sur les sites du Rondeau mais aussi sur les sites de l'école Henri Barbusse à Saint Martin d'Hères et du boulevard Gambetta à Grenoble.

En mars 2007, des dépassements de ce seuil ont été enregistrés dans l'agglomération grenobloise sur des sites urbains de fond, occasionnant même l'adoption exceptionnelle de mesures d'urgence (réduction de la vitesse).

Concernant les poussières en suspension, le risque de dépassement de valeurs réglementaires est aussi dépendant de l'apparition de facteurs météorologiques favorables à l'accumulation de poussières dans l'atmosphère comme une inversion de température qui peut durer plusieurs jours.

2.2.3 Le benzène (C₆H₆)

Les mesures de benzène effectuées depuis plusieurs années à Grenoble dans le cadre de l'Observatoire des déplacements montrent des niveaux de benzène relativement homogènes. En 2006, 50% des mesures de mesures étaient comprises entre 1,6 et 2,9 µg.m⁻³.

Le niveau de fond en benzène de l'agglomération grenobloise (1,1 µg.m⁻³ en 2006) est conforme à l'objectif de qualité (inférieur à 2 µg.m⁻³) et à la valeur limite (9 µg.m⁻³ en moyenne annuelle 2006).

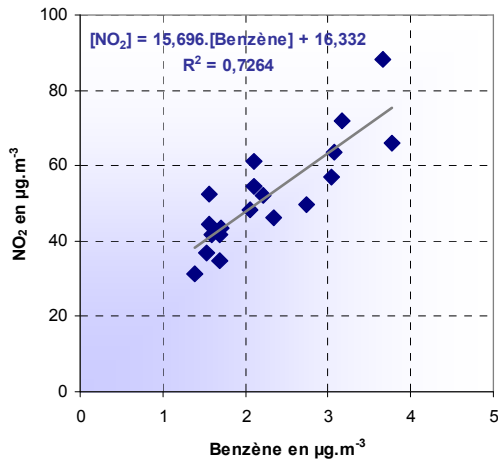
Toutefois, les mesures ont montré des zones où le trafic automobile est à l'origine de niveaux de benzène qui ne sont pas conformes à l'objectif de qualité. En 2006, la concentration maximale de benzène mesurée est de 3,8 µg.m⁻³ sur le site situé à l'intersection entre le boulevard Gambetta et le boulevard Foch.

Dans le tableau suivant, les sites qui ne sont pas conformes à l'objectif de qualité (supérieures à 2 µg.m⁻³) ont leur concentration moyenne en orange.

Code Site	Lieu	Typologie / influence	Moyenne
SMTC2006_Gambetta_01	Intersection Boulevard Gambetta et Foch	Trafic automobile	3,8
SMTC2006_Gambetta_02	Parc Hoche	Fond urbain	1,5
SMTC2006_Gambetta_03	Intersection entre Boulevard Gambetta et rue Berthe de Boissieux	Trafic automobile	3,1
SMTC2006_Gambetta_04	Place Championnet	Trafic automobile	2,8
SMTC2006_Gambetta_05	Boulevard Gambetta au niveau du Lycée Champollion	Trafic automobile	3,2
SMTC2006_Gambetta_06	Site mobile Boulevard Gambetta	Trafic automobile	3,1
SMTC2006_Gambetta_07	Avenue Alsace Lorraine	Trafic automobile	2,1
SMTC2006_Gambetta_08	Intersection entre Cours Jean Jaurès et avenue Alsace Lorraine	Trafic automobile	2,1
SMTC2006_Gambetta_09	Place Victor Hugo	Trafic automobile	2,1
SMTC2006_Gambetta_10	Rue Félix Poulat	fond urbain avec influence bld Agutte Sembat	1,7
SMTC2006_Gambetta_11	Jardins de ville	fond urbain	1,7
SMTC2006_Gambetta_12	Place Hubert Dubedout	Trafic automobile	3,7
SMTC2006_SMH_01	Groupe scolaire Henri Barbusse (site mobile) à Saint Martin d'Hères	fond urbain - influence rocade sud	1,6
SMTC2006_SMH_02	Groupe scolaire Henri Barbusse (cour de récréation)	Transect Nord - rocade sud	1,6
SMTC2006_SMH_03	Prox Rocade Sud	Proximité rocade sud (20m)	1,6
SMTC2006_SMH_04	Rue Malfangeat à Saint Martin d'Hères	Transect sud - rocade sud	1,7
SMTC2006_SMH_05	Stade R.Barran	fond Saint Martin d'Hères le Village	1,4
SMTC2006_SMH_06	Rue Garcia Lorca	fond Saint Martin d'Hères	2,3
SMTC2006_Ligne1_01	Ligne 1 - site mobile à Echirolles	Trafic - prox Cours Jean Jaurès	2,2

Tableau 2-7 Estimation de la concentration moyenne annuelle en benzène

Sur les sites de l'observatoire environnemental des déplacements, les niveaux de benzène sont liés au trafic automobile. En effet, les concentrations de benzène sont bien corrélées avec les concentrations de dioxyde d'azote (NO₂) qui est un traceur de la pollution automobile.



◀ Sur les sites de l'observatoire environnemental des déplacements, dioxyde d'azote (NO₂) et benzène (C₆H₆) sont bien corrélés. En effet, les plus fortes concentrations de benzène sont mesurées sur les sites où sont mesurées de dioxyde d'azote.

Figure 2.23 Corrélation entre le dioxyde d'azote (NO₂) et le benzène (C₆H₆)



Figure 2.24 Estimation de la moyenne annuelle de benzène et comparaison par rapport à la réglementation.

2.2.3.1.1 Evolution des niveaux de benzène sur le site de la ligne 1 à Echirolles

Il est très difficile d'établir une évolution des concentrations de benzène entre 2000 et 2006. Les mesures effectuées en 1999-2000 correspondent à la période de l'année où les niveaux de benzène sont les plus importants. La moyenne en benzène du 7 janvier 1999 au 9 février 2000 ($9,1 \mu\text{g.m}^{-3}$) est donc supérieure à la moyenne de l'année 2000.

De plus, il est difficile de faire une estimation objective de la moyenne annuelle 2000 car les sites de comparaison pour le benzène étaient peu nombreux en 2000.

	Moyenne du 7 janvier 1999 au 9 février 2000	Moyenne 4 campagnes en 2006
Ligne 1 - Echirolles	9,1	2,2

Tableau 2-8 Concentrations de benzène : moyenne lors des campagnes de mesures 2000 et 2006

L'estimation de la moyenne annuelle montre que ce site ne respecte pas l'objectif de qualité en 2006.

En résumé pour le benzène (C_6H_6):

En 2006, les niveaux de fond en benzène ($\sim 1,1 \mu\text{g.m}^{-3}$) étaient conformes à l'objectif de qualité dans l'agglomération grenobloise (inférieur à $2 \mu\text{g.m}^{-3}$ en moyenne annuelle).

En proximité automobile, les niveaux de benzène sont supérieurs aux niveaux de fond, et peuvent même dans de nombreux cas ne pas être conformes à l'objectif de qualité. C'est le cas sur l'ensemble du boulevard Gambetta et de la ligne 1 à Echirolles.

2.2.4 Le dioxyde de soufre (SO₂)

Les résultats statistiques horaires du dioxyde de soufre (SO₂) observés sur les sites temporaires de l'observatoire des déplacements et sites fixes de l'ASCOPARG ont été résumés dans le tableau suivant.

Station	Prox Rocade Sud - SMH	Ligne 1 - Echirolles	Boulevard Gambetta - Grenoble	St Martin d'Herès	Grenoble Les Frenes	Fontaine Les Balmes
Mesure	Urbain de fond	Prox Auto	Prox Auto	Urbain de fond	Urbain de fond	Urbain de fond
% de données valides	97%	99%	94%	97%	94%	94%
Moyenne horaire	4	5	3	3	4	4
Maximum horaire	101	70	16	67	104	54
Percentile 99,8 horaire	37	41	14	12	26	18
Percentile 99,2 horaire	26	32	12	17	39	25
Percentile 98 horaire	17	22	10	12	26	18
Percentile 90,4 horaire	9	11	6	6	10	8
Percentile 50 horaire	3	3	2	2	2	2
Minimum horaire	0	0	0	0	0	0

Tableau 2-9 Statistiques horaires du dioxyde de soufre pendant les 4 campagnes de mesures et estimation de la moyenne annuelle

Les concentrations de dioxyde de soufre (SO₂) mesurées sur tous les sites de mesures sont très faibles.

Les niveaux maximums de dioxyde de soufre sont mesurés pendant la période hivernale. Cette augmentation des concentrations de SO₂ en hiver est liée en partie à l'utilisation de combustibles soufrés pour le chauffage.

Le bilan de la qualité de l'air réalisé sur les dix dernières années montre une très nette diminution des concentrations moyennes de SO₂ dans l'agglomération grenobloise. Ce constat est en grande partie lié à la baisse des émissions d'origine industrielle et la diminution de la teneur en soufre des carburants.

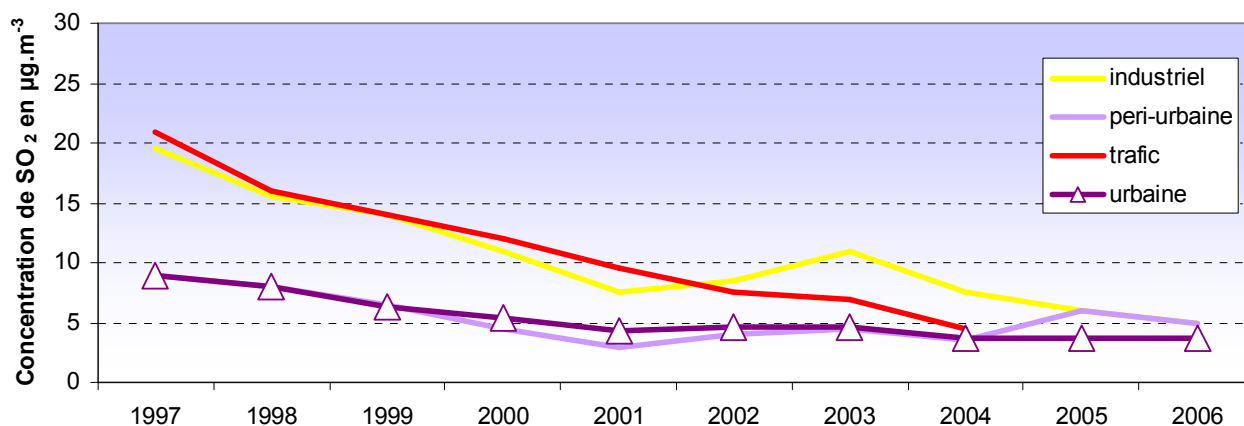


Figure 2.25 Evolution des concentrations de SO₂ en région grenobloise entre 1997 et 2006

2.2.4.1.1 Estimation de la moyenne annuelle et comparaison à la réglementation

Les résultats statistiques horaires observés sur les sites temporaires de mesures permettent de calculer pour ces sites une estimation de la moyenne annuelle qui peut être comparée à la moyenne annuelle mesurée sur les sites fixes de référence. L'estimation de la moyenne annuelle est calculée sur la base de la moyenne des 4 campagnes de mesures.



Figure 2.26 Estimation de la moyenne annuelle et comparaison par rapport à la réglementation

La comparaison avec la réglementation montre que tous les sites de l'agglomération grenobloise respectent l'objectif de qualité (50 µg.m⁻³ en moyenne annuelle).



Site chimique de la vallée du Rhône

Concernant le SO₂, les seuls dépassements constatés actuellement en Rhône-Alpes sont des dépassements du seuil de recommandations et d'information (300 µg.m⁻³ en moyenne horaire) sur des sites de proximité industrielle (à proximité d'émetteurs importants de SO₂ comme les sites chimiques).

En résumé pour le dioxyde de soufre (SO₂) :

Les concentrations moyennes annuelles de SO₂ sont en baisse régulière depuis plusieurs années à Grenoble ; en 10 ans les concentrations moyennes de SO₂ ont été divisées par 5.

Pour le dioxyde de soufre (SO₂), les concentrations mesurées en 2006 sur tous les sites de l'observatoire environnemental des déplacements sont conformes aux objectifs de qualité de l'air.

3 Modélisation de la qualité de l'air

En complément des mesures effectuées en 2006, l'ASCOPARG a réalisé à l'aide du modèle SIRANE une modélisation de la qualité de l'air de l'agglomération grenobloise.

Cette modélisation a permis de reconstituer pour l'agglomération grenobloise les niveaux moyens annuels de dioxyde d'azote (NO₂) en tout point de l'agglomération grenobloise.

3.1 Présentation du modèle SIRANE

Le modèle SIRANE est développé au Laboratoire de Mécanique des Fluides et d'Acoustique de l'Ecole Centrale de Lyon. Les travaux de recherche qui ont conduit au développement de ce modèle ont été réalisés dans le cadre de la thèse de L.Soulhac⁴.

Le modèle SIRANE est un modèle de dispersion atmosphérique en milieu urbain à l'échelle d'un quartier (échelle de l'ordre de 1km). Il permet de décrire les concentrations en polluants dans des zones constituées essentiellement de rues bordées de bâtiments. Le modèle couvre une échelle spatiale située entre l'échelle de la rue, où l'on s'intéresse plutôt à la répartition des polluants à l'intérieur même de cette rue, et l'échelle de l'agglomération, où il n'est plus possible de modéliser explicitement l'effet de chaque bâtiment. Il permet donc de fournir une cartographie de la pollution à l'échelle d'un quartier. D'un point de vue temporel, SIRANE est adapté à des échelles caractéristiques de l'ordre de l'heure. Le modèle traite différents types d'émissions à l'aide de sources linéiques (représentant par exemple une voie de circulation) et de sources ponctuelles (par exemple une cheminée).

Le modèle SIRANE permet de prendre en compte les principaux effets qui agissent sur la dispersion des polluants à l'échelle d'un quartier :

- Phénomènes de rue-canyon (confinement des polluants entre les bâtiments)
- Echange des polluants au niveau des carrefours
- Transport des polluants au-dessus des toits
- Prise en compte des caractéristiques du vent extérieur (vitesse, direction, turbulence, stabilité thermique)
- Modélisation de transformations chimiques simples (cycle de Chapman NO NO₂ O₃)
- Modélisation de la dispersion des particules
- Modélisation du lessivage par les précipitations

SIRANE est un outil « opérationnel », qui utilise des modèles théoriques et des formulations simplifiées des différents phénomènes. Il est donc adapté au traitement d'un grand nombre de rues dans un temps de calcul très limité.

Dans le cas présent, **3 heures de calcul sont nécessaires pour simuler 5 semaines**⁵.

Le modèle SIRANE a été mis en place en 2005 pour l'agglomération grenobloise, après avoir été testé avec succès sur la ville de Lyon. Un premier travail a consisté à tester le modèle sur les polluants NO, NO₂ et particules et à effectuer une comparaison entre les valeurs simulées et mesurées sur les stations fixes du réseau grenoblois pour toute l'année 2004, afin d'analyser les difficultés spécifiques à une application en zone d'aérodologie complexe. Cette première validation a mis en évidence la difficulté de représentativité des mesures météorologiques qui se reflètent sur les résultats. En effet, aucune des quatre stations météorologiques testées ne peut être considérée comme représentative de l'ensemble du territoire à modéliser.

⁴ Nous ne présentons ici qu'une description succincte du modèle. Pour plus de détails, se reporter aux ouvrages suivants :

Soulhac L. 2000 : Modélisation de la dispersion atmosphérique à l'intérieur de la canopée urbaine, Thèse de Doctorat, Ecole Centrale de Lyon.

Soulhac L.2003 : Notice d'utilisation du modèle SIRANE version 1.13, LMFA, Ecole Centrale de Lyon

⁵ Avec une machine de type bi-processeur 3 GHz soit environ 4 min et 30 s pour 1 jour

3.2 Description des données d'entrée

3.2.1 Le réseau de rues

L'agglomération de Grenoble est modélisée par un ensemble de brins (rues) interconnectés par des nœuds (intersection). Les rues sont différenciées suivant 2 types, les rues de types ouvertes et les rues de types canyons où les polluants sont confinés entre les bâtiments. On considère qu'une rue est de type canyon si sa largeur est inférieure à 3 fois sa hauteur. L'agglomération de Grenoble compte 3316 brins dont 1230 brins canyons.

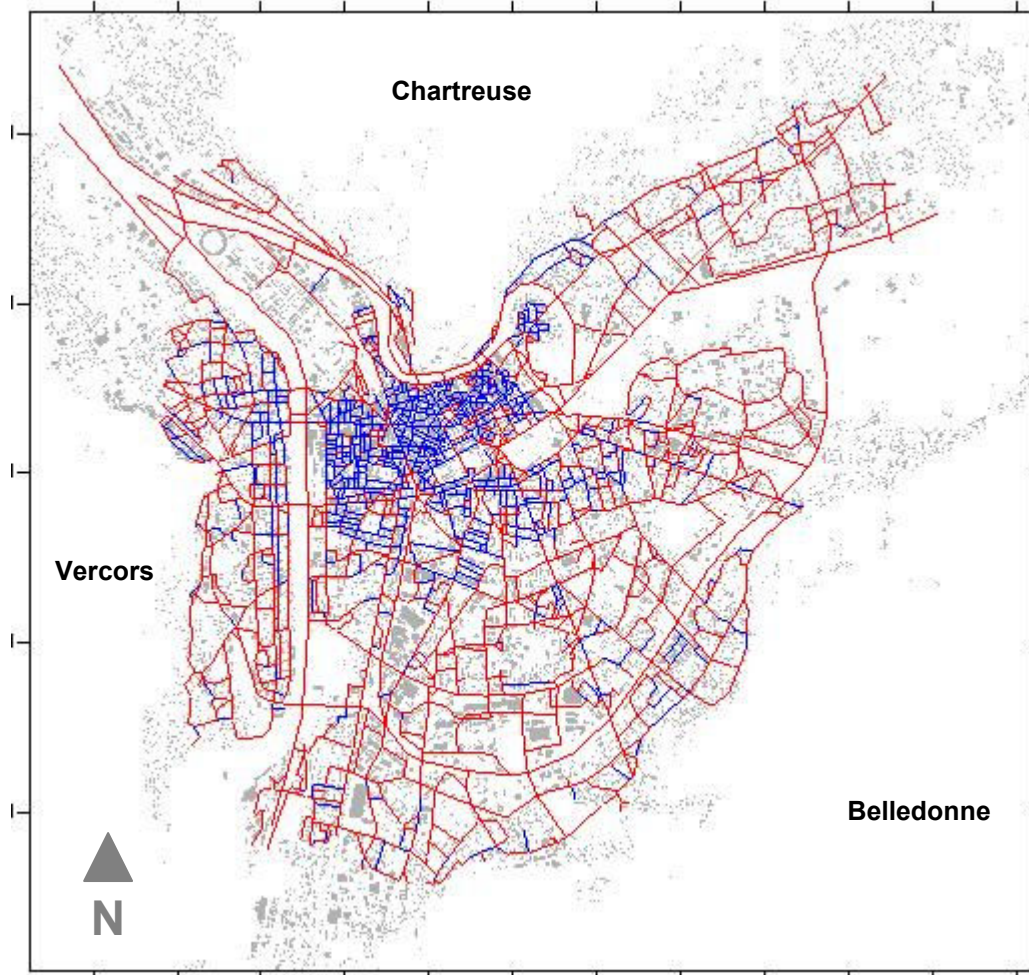


Figure 3.1 Réseau de rues pris en compte dans la modélisation, les brins bleus présentent les rues canyons et les brins rouges représentent les rues ouvertes.

3.2.2 Les données d'émissions

Les émissions de polluants ont été calculées à partir des données de trafic.

Le calcul des émissions du trafic moyen journalier annuel a été réalisé en utilisant la méthodologie COPERT III (Ntziachristos et Samaras, 2000) qui repose sur l'utilisation de lois empiriques d'évolution des émissions en fonction de la vitesse des véhicules. Ces lois sont spécifiées pour 107 classes de véhicules, correspondant à différents types de véhicules, de carburants, de motorisations, de générations technologiques. On distingue également les facteurs d'émission des véhicules circulant avec un moteur chaud ou froid. Les émissions dues au trafic sur un tronçon de rue pour un polluant donné dépendent donc des caractéristiques de trafic de la rue (débit et vitesse moyenne des véhicules), d'un coefficient de répartition du parc automobile roulant, de la température ambiante et des caractéristiques des véhicules que nous avons évoquées précédemment. Les données de trafic sur la ville de Grenoble sont représentatives de l'année 2002, en revanche le parc roulant utilisé pour le calcul des émissions est le parc 2006. La répartition des émissions de NO_x et de PM_{10} est représentée sur la figure suivante. Les émissions des rues sont

ensuite modulées en fonction de l'heure de la journée, du jour de la semaine et du mois de l'année afin de tenir compte de l'évolution du trafic en fonction des périodes de pointe.

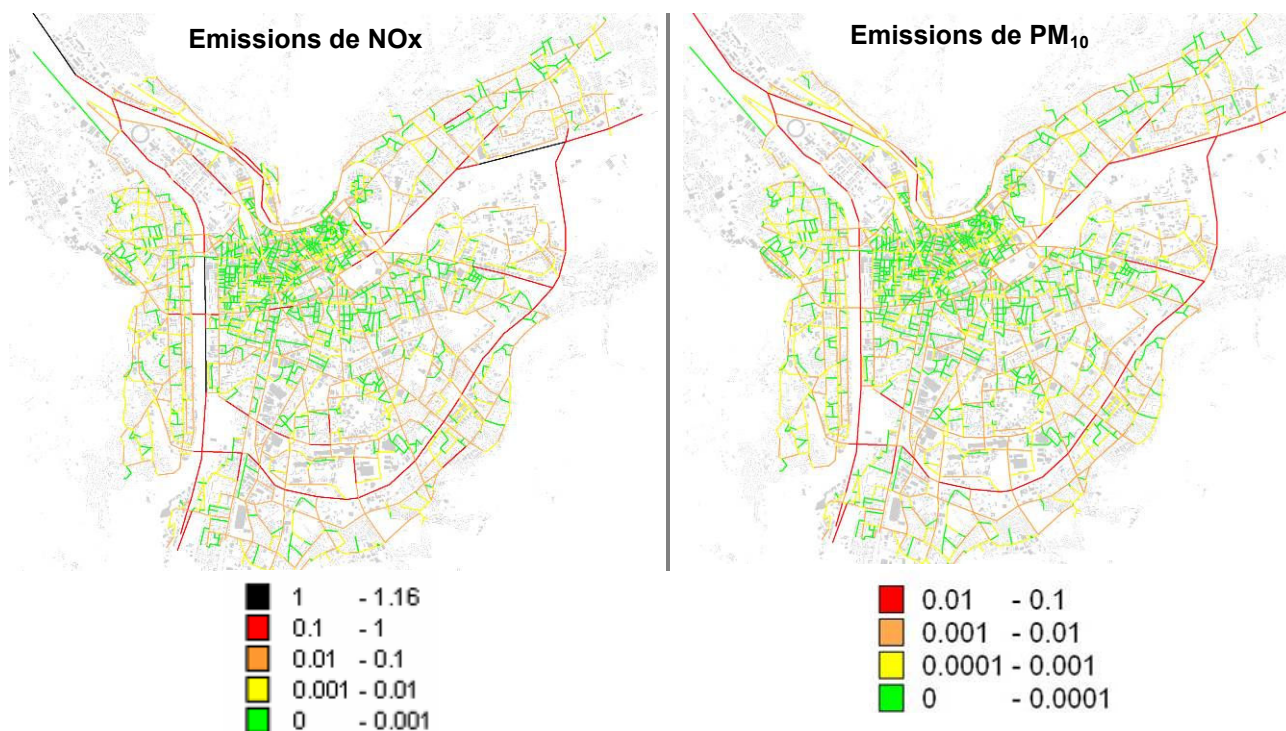


Figure 3.2 Emissions de NO_x et PM₁₀ par rue en gramme par seconde (g/s). Ces cartes sont aussi en annexe 1 du rapport.

Les facteurs d'émissions de la méthodologie COPERT ont été établis en 2000 en partie sur des objectifs de réduction de pollution pour les nouveaux moteurs (norme EURO) et non sur des moteurs réels. Or les simulations sur la ville de Lyon pour l'année 2006 ont montré que le modèle avait tendance à sous-estimer de façon systématique les concentrations en oxydes d'azote. Pour corriger cette sous-estimation, les émissions ont été augmentées de 20%. Une nouvelle version de la méthodologie COPERT a été publiée très récemment. Un calcul d'émissions intégrant cette nouvelle méthodologie est en cours et permettra de valider la correction apportée aux émissions de façon arbitraire.

Par ailleurs, le taux de NO₂ à l'émission (paramètre d'entrée du modèle SIRANE) a été fixé à 0.15 au lieu de 0.10 lors des simulations précédentes.

3.2.3 Les données météorologiques

Dans le secteur de l'agglomération grenobloise, plusieurs stations météorologiques sont disponibles (station du CEA, station Météo France du Versoud et stations de l'ASCOPARG à proximité d'Athador, à Pont de Claix et au Rondeau).

Les données météorologiques utilisées pour cette modélisation sont issues des stations du Versoud (station Météo France) et de Pont de Claix (station météorologique de l'ASCOPARG).

3.2.4 Pollution de fond

Il existe 3 stations de pollution de fond sur l'agglomération de Grenoble qui permettent de disposer des concentrations horaires en NO, NO₂, O₃ et PM₁₀. Une moyenne des mesures des 3 stations est calculée et utilisée comme donnée d'entrée du modèle SIRANE.

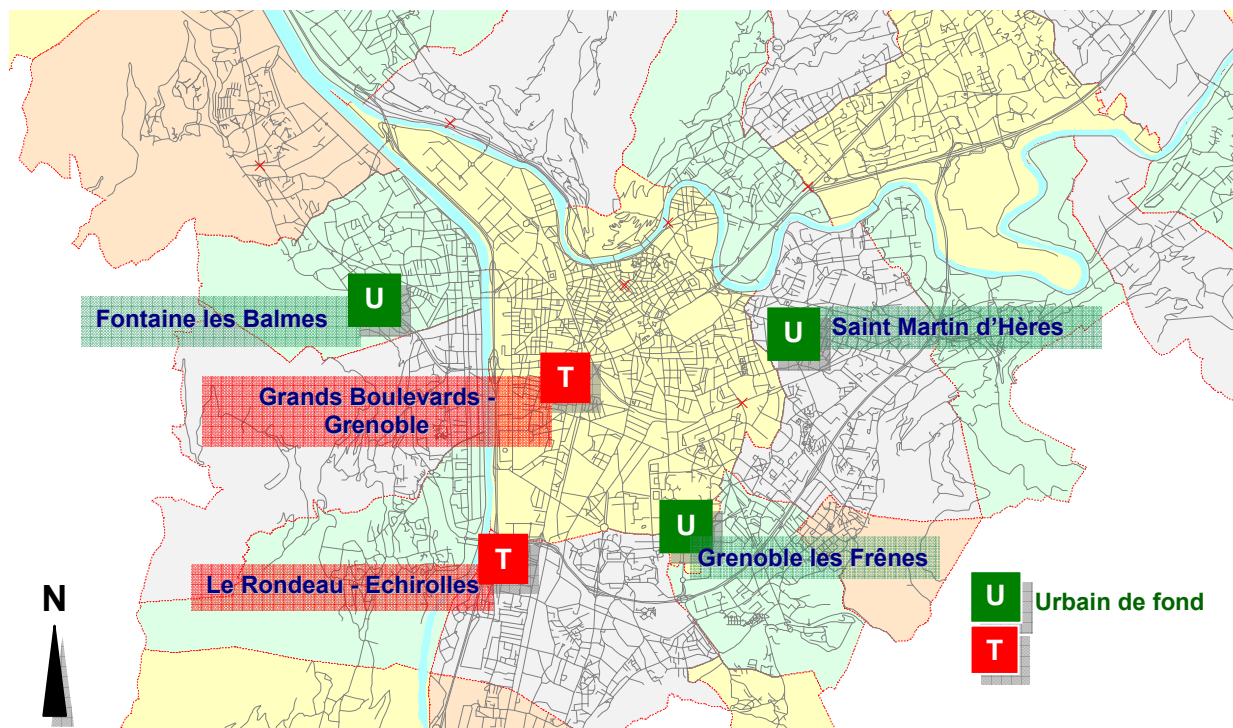


Figure 3.3 Position des stations urbaines de fond de l'agglomération grenobloise

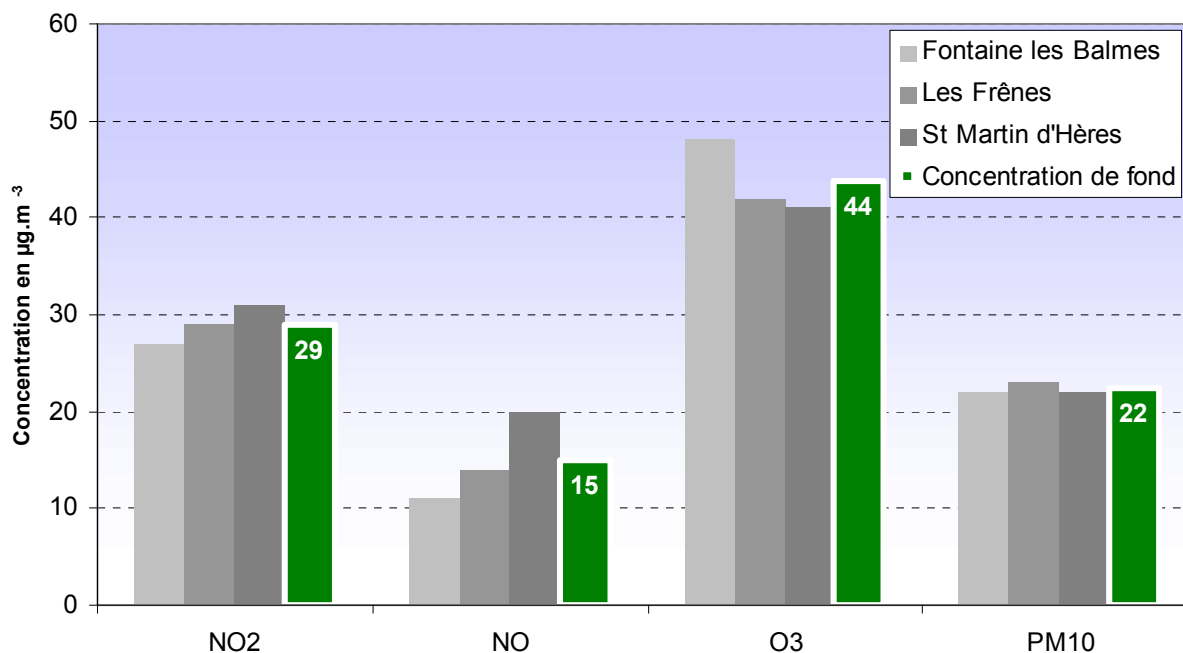


Figure 3.4 Moyennes annuelles des stations urbaines de fond et estimation du niveau de fond de l'agglomération grenobloise

3.3 Comparaison modèle – mesures pour les oxydes d'azote (NOx) et les Particules (PM₁₀)

Pour valider le modèle SIRANE, les résultats de la modélisation sont comparés à des mesures de terrain pour les différentes simulations. Pour ces comparaisons nous avons utilisé les stations du réseau ASCOPARG (mesures horaires pour toutes les heures de l'année) : Rondeau et Foch pour la mesure de proximité automobile, St-Martin d'Hères, Fontaine les Balmes et les Frênes pour la mesure de fond. Nous

avons aussi utilisé les résultats des campagnes de mesures 2006 pour lesquelles des moyens mobiles (mesures horaires pour 4 périodes de 3 semaines de l'année) et des tubes à diffusion (moyenne sur une période) ont été installés en différents points de la ville : en centre ville, le long de la ligne 1 au sud de Grenoble et à proximité de la rocade Sud.

Pour analyser le comportement du modèle en fonction des différents scénarios météo par rapport aux valeurs mesurées, nous avons effectué des comparaisons sur les paramètres statistiques classiques (moyenne, coefficient de corrélation, percentiles 98) ainsi que sur les évolutions horaires des concentrations.

3.4 Calcul des concentrations annuelles de dioxyde d'azote (NO_2) dans les rues de l'agglomération grenobloise

Le modèle SIRANE permet de calculer la concentration moyenne annuelle en NO_2 dans les rues de Grenoble.

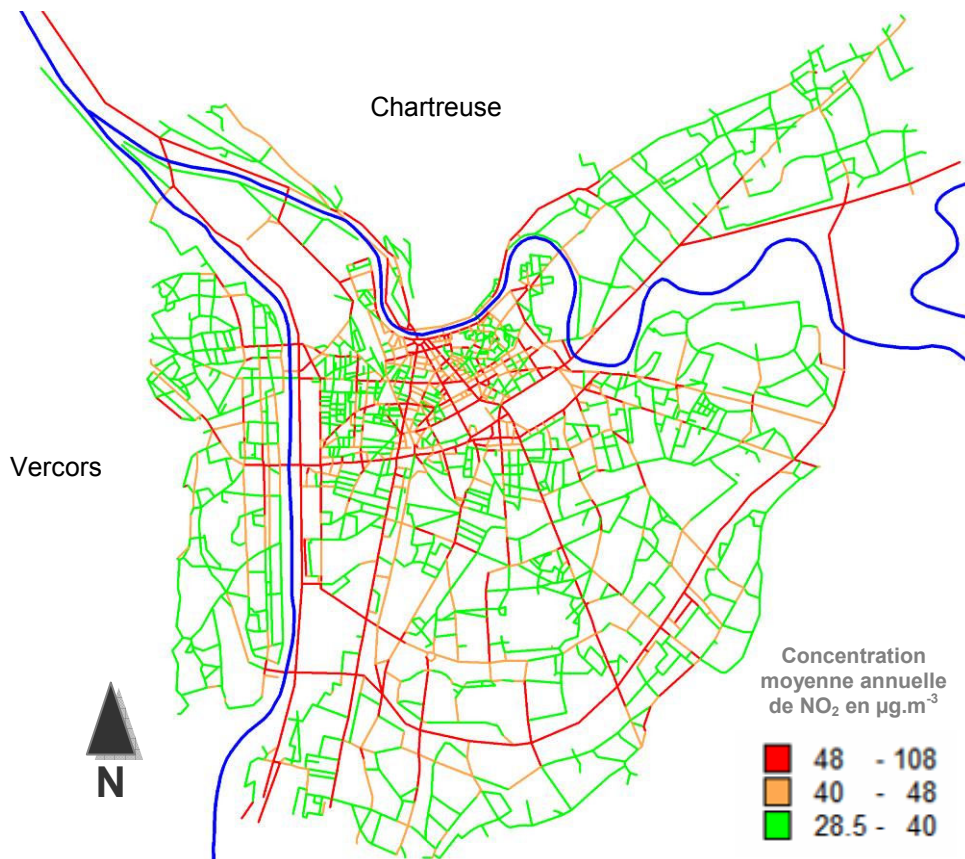


Figure 3.5 Concentration moyenne annuelle en NO_2 dans les rues de Grenoble

D'après les résultats du modèle SIRANE, **42% des rues de la zone modélisée ne sont pas conformes à l'objectif de qualité 2010 de $40 \mu\text{g.m}^{-3}$** et **21% des rues dépassent la valeur limite 2006 pour la santé de $48 \mu\text{g.m}^{-3}$** .

Les rues les plus polluées sont situées dans le centre de l'agglomération, sur la rocade sud, l'autoroute et les grands axes de l'agglomération.

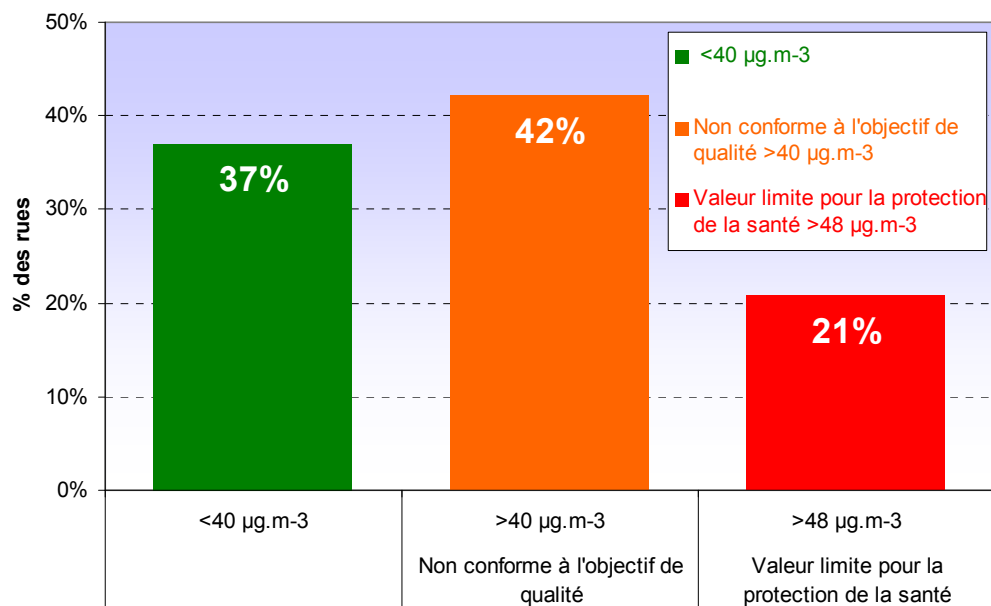


Figure 3.6 Pourcentage de rues dépassant les valeurs réglementaires concernant le dioxyde d’azote (NO₂)

3.5 Calcul de la carte de la concentration moyenne annuelle de dioxyde d’azote dans l’agglomération grenobloise

Le modèle a été validé par comparaison à des valeurs mesurées en différents points de l’agglomération : des sites de trafic, des sites de fond ainsi que des sites spécifiques ayant fait l’objet de campagne de mesure. Cette validation a montré que le modèle SIRANE permettait en moyenne de calculer des concentrations en NO₂ proches des valeurs mesurées aussi bien dans le centre de l’agglomération qu’à proximité des grands axes. Une carte moyenne de concentration de NO₂ a ensuite été calculée avec une résolution de 10m.

Cette carte permet d’identifier les zones fortement polluées en bordure des autoroutes et de la rocade sud et en centre ville à proximité des grands axes.

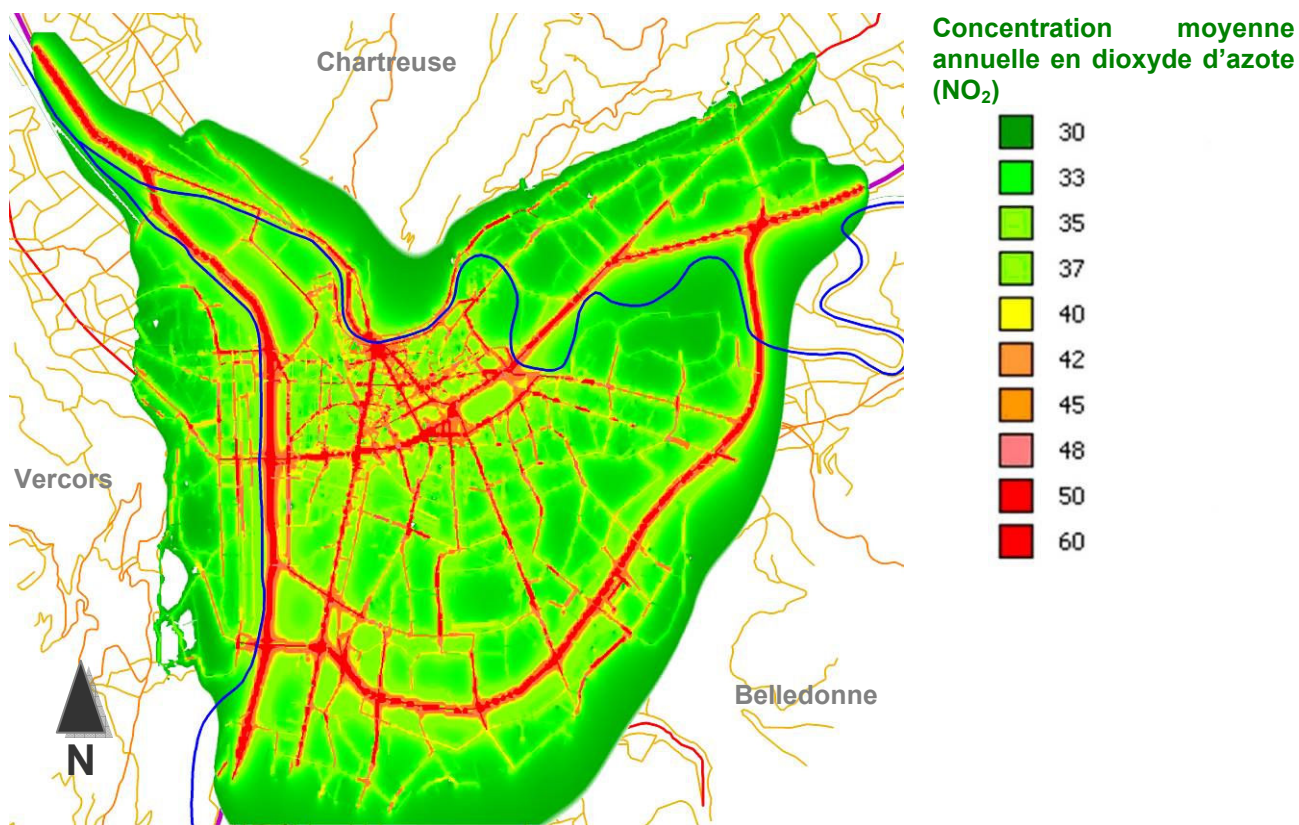


Figure 3.7 Cartographie de la concentration moyenne annuelle en dioxyde d'azote (NO₂) pour l'année 2006

Un zoom sur le centre de l'agglomération montre que de nombreux immeubles sont situés dans des zones où la qualité de l'air n'est pas conforme à l'objectif de qualité concernant le dioxyde d'azote (concentration supérieure à 40 µg.m⁻³).

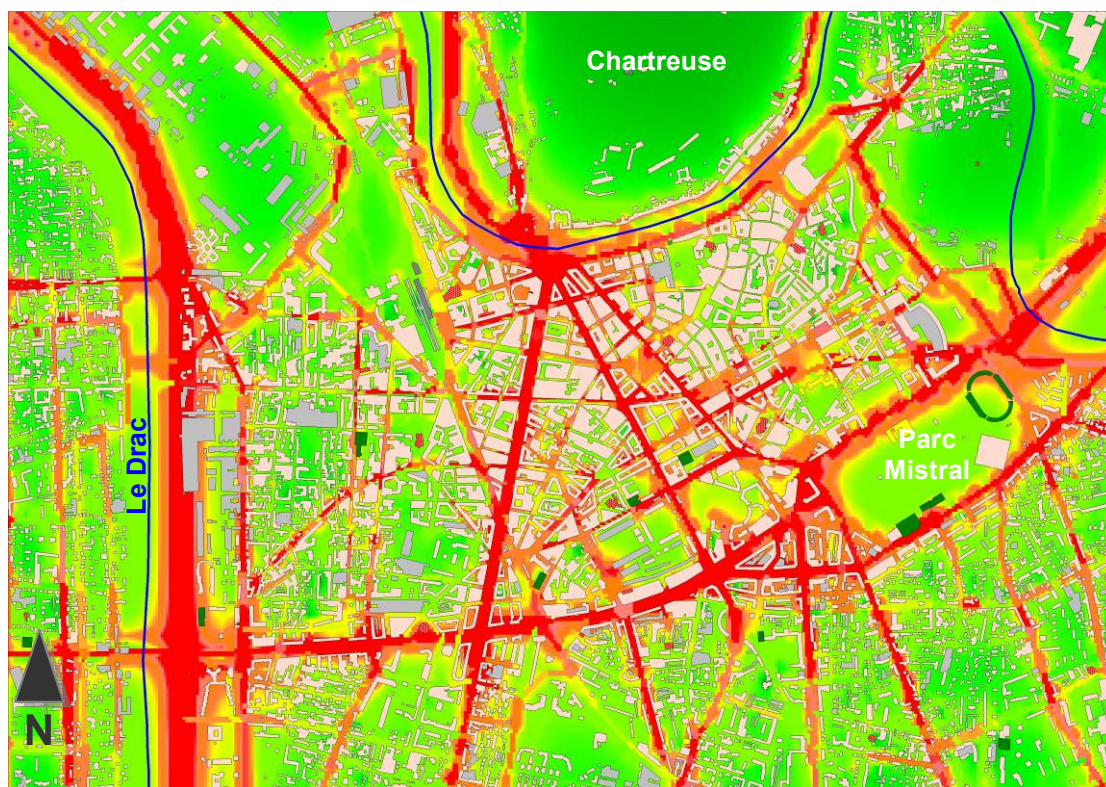


Figure 3.8 Cartographie de la concentration moyenne annuelle en dioxyde d'azote (NO₂) pour l'année 2006 – Zoom sur le centre ville de l'agglomération grenobloise

3.6 Calcul de l'exposition de la population à la pollution de proximité automobile

3.6.1 Exposition de la population en 2006

En croisant les cartes de concentration moyenne en NO₂ avec les données de population, il est possible de calculer le **pourcentage de population exposée à des concentrations supérieures à un seuil réglementaire**. Le croisement des données de concentration et de population a permis de calculer les pourcentages d'exposition de la population sur toute la zone modélisée ainsi que sur 2 zones spécifiques : le centre de l'agglomération et le long de la voie rapide urbaine (VRU).

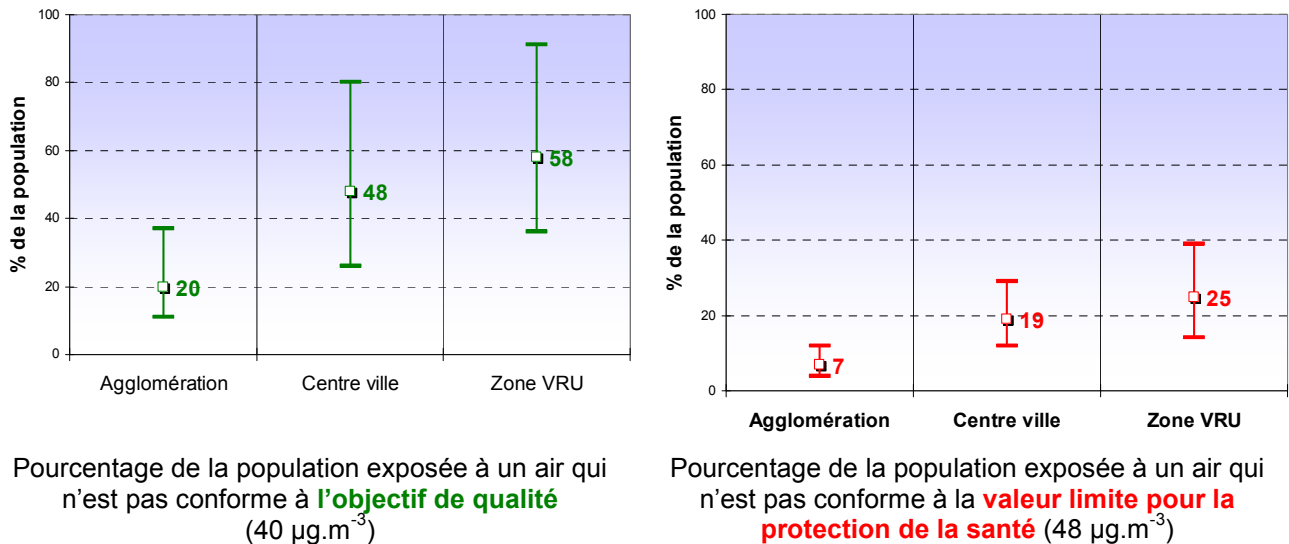


Figure 3.9 Exposition de la population à la pollution de proximité

Les incertitudes sur le calcul de l'exposition de la population sont importantes. Un écart de 10% sur l'estimation de la concentration moyenne annuelle fait varier le pourcentage de population exposée au seuil de 40 µg.m⁻³ de 26%.

Les populations situées en bordure de la voie rapide urbaine (VRU) et en centre ville sont particulièrement exposées. En effet, ces zones de forte densité de population sont aussi des zones de fort trafic et donc particulièrement polluées.

Le graphique 3.10 illustre le pourcentage de la population exposée au dioxyde d'azote (NO₂) en fonction des concentrations du même polluant.

Le **trait discontinu vert** illustre le pourcentage de population de l'agglomération exposée à un air non conforme à l'**objectif de qualité** (i.e. supérieur à 40 µg.m⁻³) : **~20%**

Le **trait discontinu rouge** illustre le le pourcentage de population exposée à un air qui ne respecte pas la **valeur limite pour la protection de la santé de la santé** (i.e. supérieur à 48 µg.m⁻³) : **~7%**

Le **trait vertical gris** représente le **niveau de fond en dioxyde d'azote** de l'agglomération grenobloise (mesuré à 29 µg.m⁻³). L'intégralité de la population de l'agglomération est donc logiquement exposée à un air avec une concentration supérieure ou égale au niveau de fond.

Le graphique suivant montre que un grenoblois sur deux (50%) vivant dans le centre de Grenoble est exposé à un air qui ne respecte pas l'objectif de qualité concernant le dioxyde d'azote (NO₂). Cette situation n'est pas spécifique à l'agglomération grenobloise. Sur la partie centrale de l'agglomération lyonnaise, 41% de personnes vivant en centre ville (soit 170000 habitants) sont exposées à un air non conforme à l'objectif de qualité.

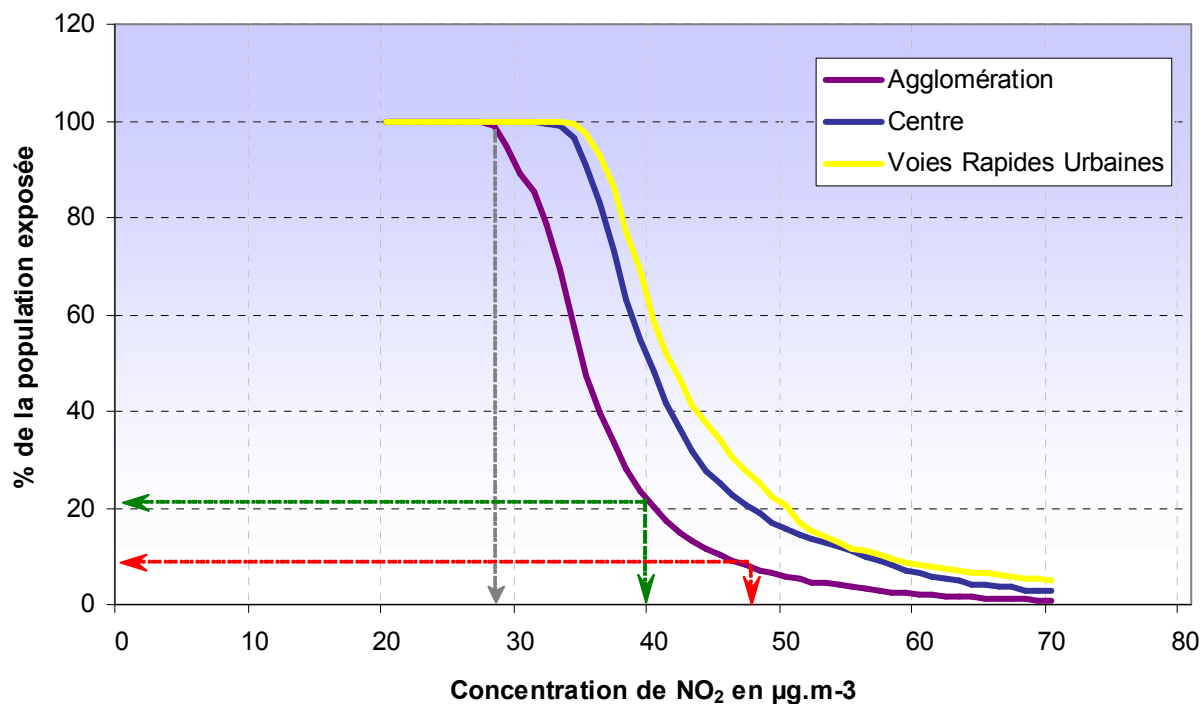


Figure 3.10 Exposition de la population à différents niveaux de pollution pour l'année 2006

3.6.2 Evolution de l'exposition de la population entre 2004 et 2006

Pour comparer l'exposition de la population entre l'année 2004 et l'année 2006, 2 méthodes sont proposées :

La première méthode consiste à comparer **2 simulations équivalentes entre les 2 années.**

La deuxième méthode consiste à comparer **l'exposition de la population entre les années 2004 et 2006 pour les simulations ayant donné les meilleurs résultats.**

3.6.2.1 Méthode n°1 : Simulations équivalentes entre les 2 années

Dans notre cas, il s'agit pour la première méthode de comparer la simulation de l'année 2004 utilisant la météorologie mesurée à Pont-de-Claix et les données de pollution de fond de l'année 2004 avec la simulation de l'année 2006 sans la correction sur les émissions et utilisant la météo de Pont de Claix et les données de pollution de fond de l'année 2006. Pour cette comparaison, les paramètres variables sont le parc roulant, les mesures météorologiques et la pollution de fond représentatifs de chaque année.

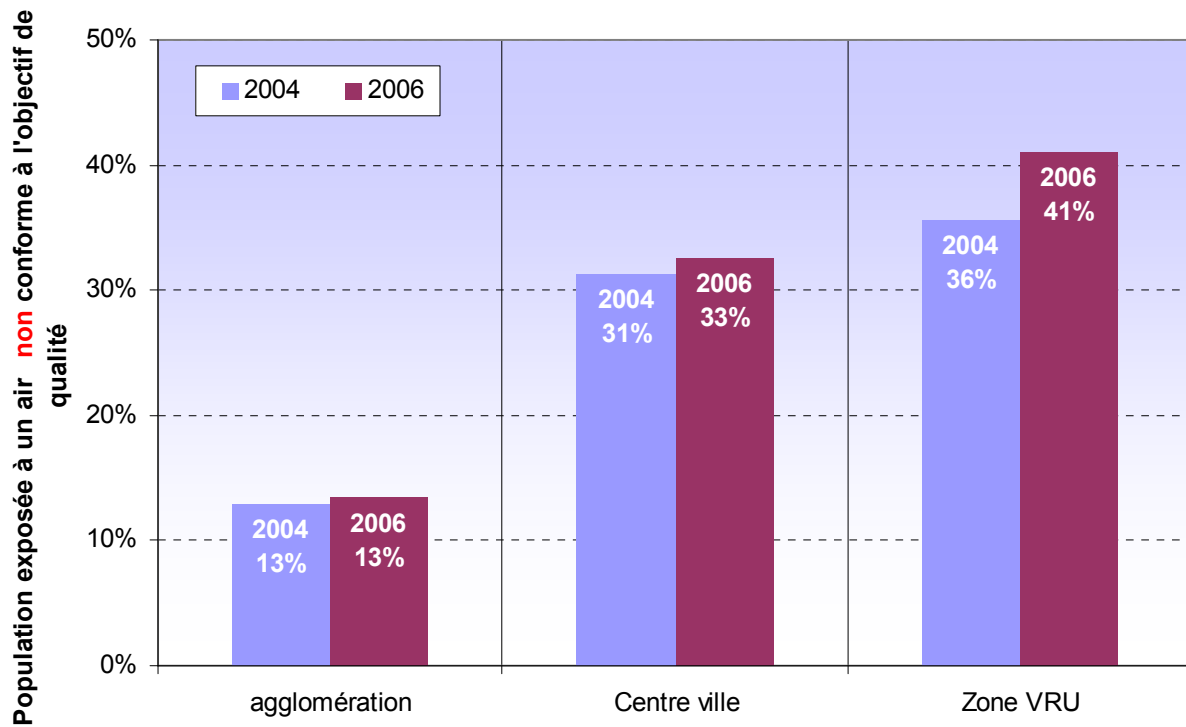


Figure 3.11 Evolution du pourcentage de population exposée à un air qui n'est pas conforme à l'objectif de qualité du NO₂ (40 µg.m⁻³ en moyenne annuelle)

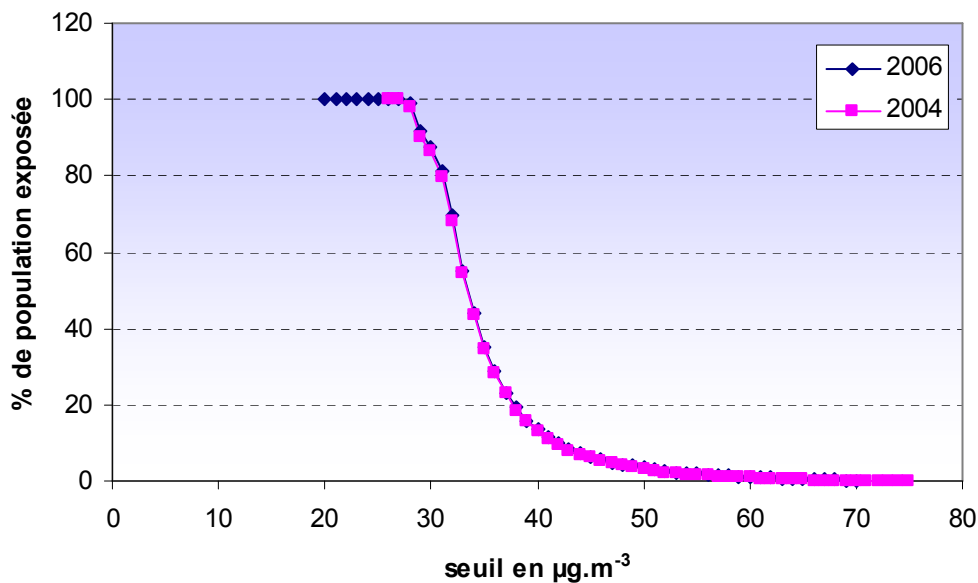


Figure 3.12 Comparaison des expositions de population entre 2004 et 2006 (1^{ère} méthode)

Les variations entre les 2 simulations sont très faibles en termes d'exposition de population. **L'évolution du parc roulant entre les 2 années qui correspond à une diminution de 7% des émissions a peu d'impact sur l'exposition de la population.** Par ailleurs, les variations météorologiques entre les 2 années ont peu d'impact sur les concentrations moyennes et la pollution de fond est sensiblement équivalente pour ces 2 années.

3.6.2.2 Méthode n°2 : Comparaison des simulations ayant les meilleurs résultats

La deuxième méthode consiste à comparer l'exposition de la population entre les années 2004 et 2006 pour les simulations ayant donné les meilleurs résultats. Dans notre cas, il s'agit pour l'année 2004 de la moyenne des 4 simulations utilisant respectivement les données météorologiques de Pont-de-Claix,

Versoud, Rondeau et Athanor et pour l'année 2006 de la simulation utilisant les **émissions corrigées de 20%** et la météo de Pont-de-Claix.

En comparant les expositions de population avec l'année 2004, le pourcentage de population exposée à des seuils supérieurs à 40 $\mu\text{g.m}^{-3}$ augmente légèrement sur l'ensemble du domaine, l'augmentation étant plus sensible sur la zone VRU. Ceci est imputable à une hausse des émissions de 10% entre 2004 et 2006 liée à l'augmentation probable du trafic et une stagnation de la pollution de fond autour de 30 $\mu\text{g.m}^{-3}$.

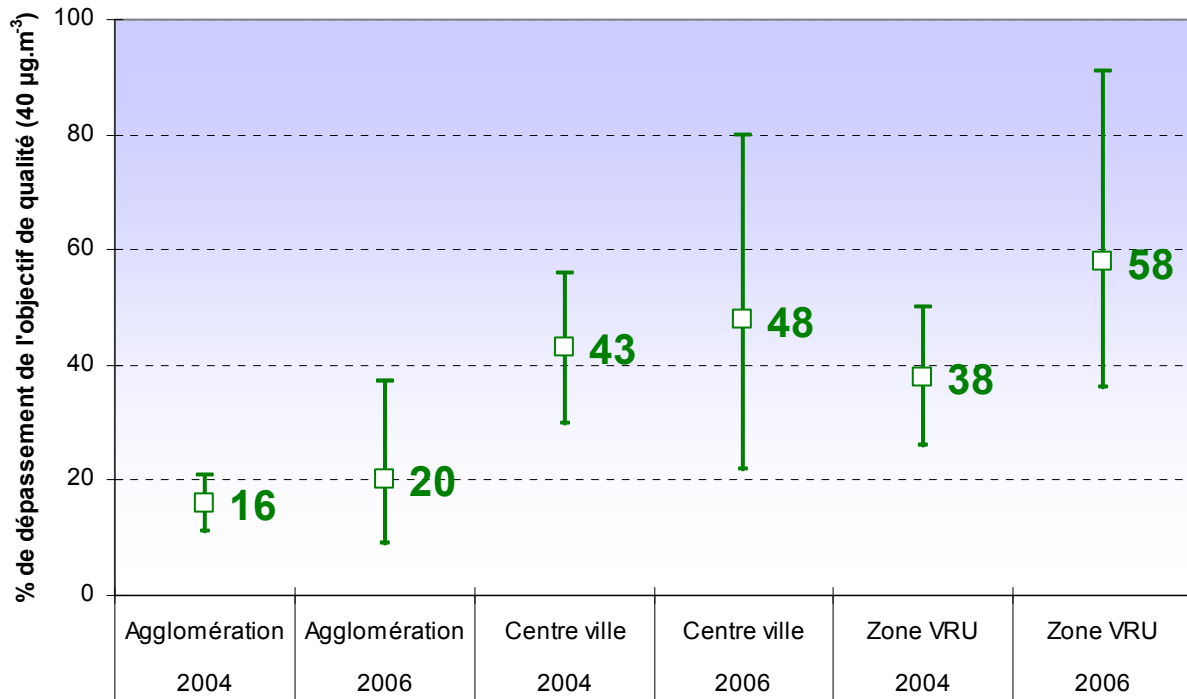


Figure 3.13 Evolution du pourcentage de population exposée à un air non conforme à l'objectif de qualité concernant le NO₂ entre 2004 et 2006

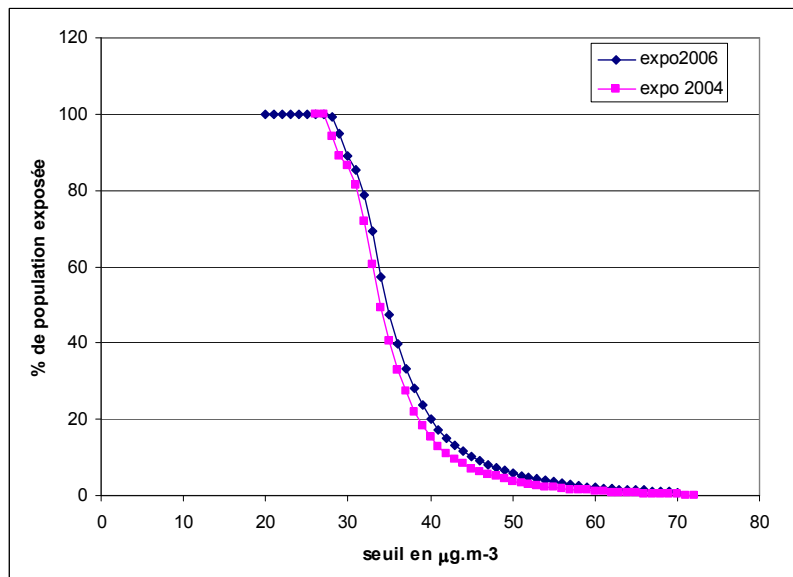


Figure 3.14 Comparaison de l'exposition de la population entre 2004 et 2006 (deuxième méthode)

CONCLUSION

Cet observatoire environnemental des déplacements pour lequel les mesures de la qualité de l'air ont démarré en 2004 dans plusieurs secteurs de l'agglomération grenobloise, contribue aujourd'hui à **l'amélioration de la connaissance de la qualité de l'air sur l'ensemble de l'agglomération**.

En effet, ce programme de mesures, établi en accord avec le SMTC, couvre une large gamme d'environnements (de la mesure de la qualité de l'air en proximité automobile à la mesure en site de fond) et de moyens de surveillance (mesures et modélisation).

Ces travaux ont permis de réaliser un bilan de la qualité de l'air dans des environnements différents représentatifs d'une qualité de l'air intermédiaire entre la pollution moyenne (mesurée par les stations urbaines de fond) et la pollution maximale (rencontrée en proximité d'axes automobiles très importants).

Ces mesures complètent le réseau de stations fixes de l'ASCOPARG qui assure un suivi en continu de la pollution moyenne grâce aux stations urbaines de fond et de la pollution maximale grâce à des stations trafic (à proximité de la Rocade Sud à Echirolles et du boulevard Foch à Grenoble).

Ces résultats permettent de réaliser un bilan de la qualité de l'air sur l'ensemble de l'agglomération et de calculer l'exposition de la population à la pollution de proximité automobile.

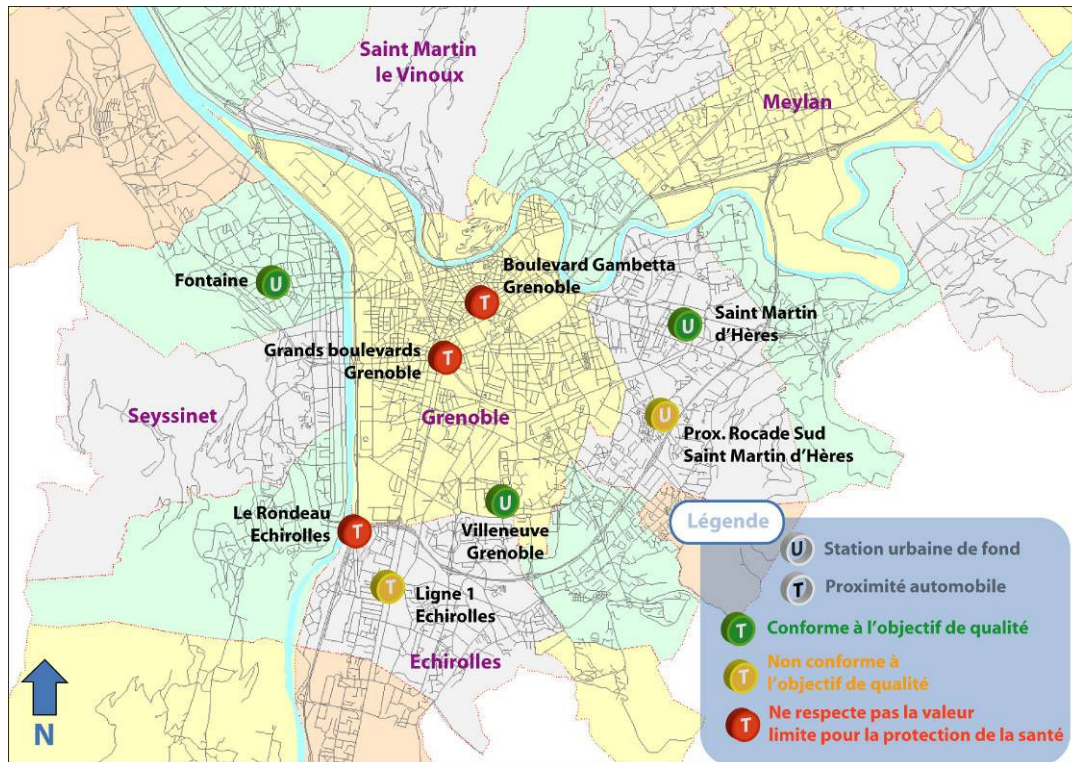


Figure : Bilan de la qualité de l'air sur les sites de l'observatoire des déplacements 2006 et sur les stations fixes de l'ASCOPARG

Les résultats des mesures et de la modélisation confirment une influence directe du trafic automobile sur la qualité de l'air de l'agglomération grenobloise. Cette influence s'explique par la part importante du trafic automobile dans les émissions de certains polluants (le trafic automobile représente 47% des émissions de NOx de l'agglomération).

Caractérisée par les stations fixes de référence de l'ASCOPARG, la qualité de l'air de l'agglomération grenobloise est, en situation de fond, homogène et conforme aux valeurs réglementaires.

La qualité de l'air se dégrade dans les secteurs qui sont sous l'influence du trafic automobile. Cette dégradation est fonction de plusieurs paramètres comme l'intensité du trafic automobile à proximité, de la distance par rapport à la route (décroissance de la pollution avec l'augmentation de la distance à la route) et de la configuration des rues (situation très défavorable dans les rues étroites à forte circulation appelées « rues canyons »). **La qualité de l'air n'est pas conforme aux objectifs de qualité dans la plupart des secteurs sondés dans le cadre cette étude en 2007.**

Cette situation de dépassements des valeurs réglementaires est liée pour beaucoup de sites aux concentrations mesurées de poussières (PM₁₀) et benzène (C₆H₆). En effet, pour ces deux polluants, les niveaux de fond sont déjà très proches de la valeur définie comme objectif de qualité.

Au centre de Grenoble, sur le boulevard Gambetta, le trafic automobile et la configuration de la rue dite en « canyon » favorisent l'accumulation des polluants d'origine automobile. Sur ce boulevard, la qualité de l'air n'est pas conforme à la **valeur limite pour la protection de la santé** en 2006.

Cette situation confirme les mesures précédentes de 2004 et 2005 et les résultats de la modélisation du dioxyde d'azote (NO₂) par Sirane. Ces travaux montraient que la qualité de l'air dans l'hypercentre de Grenoble est fortement influencée par le trafic automobile et que la qualité de l'air de certains secteurs peut être ponctuellement non conforme aux valeurs réglementaires. Ainsi, à cause du dioxyde d'azote NO₂ (polluant d'origine automobile), **un habitant sur deux du centre ville est exposé à un air non conforme à l'objectif de qualité.**

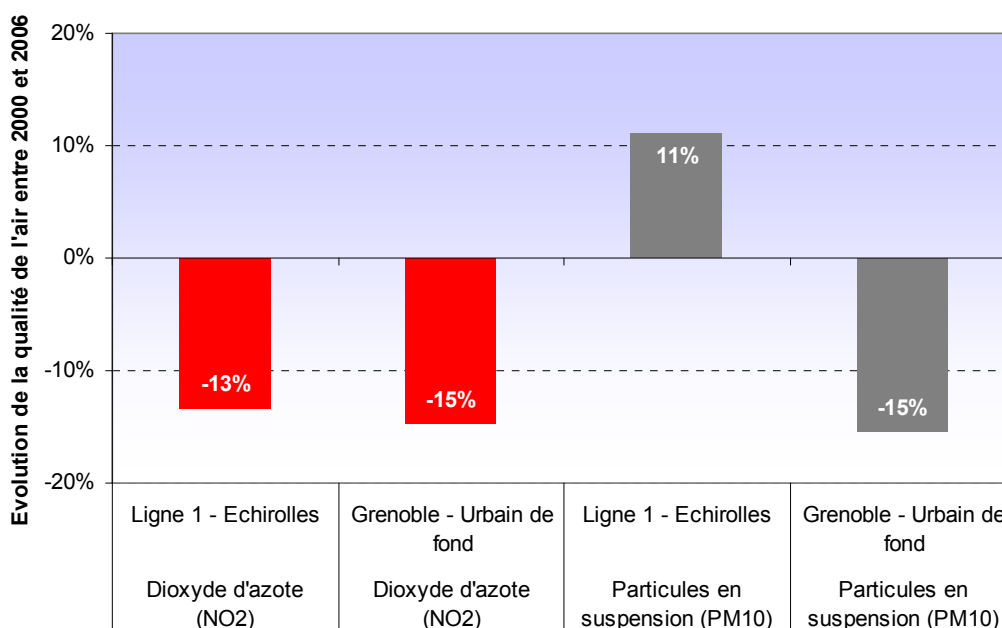
Et 58% des personnes habitants à proximité des voies rapides urbaines sont exposées à un air non conforme à l'objectif de qualité.

Site	Typologie	Objectif de qualité	Dioxyde d'azote NO ₂	Poussières PM ₁₀	Benzène C ₆ H ₆	Dioxyde de soufre SO ₂
			40	30	2	50
		Valeur limite pour la protection de la santé 2006	48	40	10	-
Prox Rocade Sud (Saint Martin d'Hères)	Urbain	Comparaison des moyennes annuelles aux valeurs réglementaires	34	31	1,55	4
Ligne 1 (Echirolles)	Prox auto		46	30	2,21	5
Boulevard Gambetta (Grenoble)	Prox auto		62	33	2,06	3
Fond urbain (Agglomération grenobloise)	Urbain		29	22	1,12	3-4

Signification des couleurs dans le tableau précédent	
Dépassement de la valeur limite pour la protection de la santé	
Non conforme à l'objectif de qualité	
Qualité de l'air conforme à l'objectif de qualité	
Pas de mesure	-

Sur la **ligne 1**, la qualité de l'air a connu la même évolution générale que le reste de l'agglomération pour le dioxyde d'azote (NO₂) avec une diminution des concentrations de ce polluant.

Concernant les particules en suspension (PM₁₀), le site de la ligne 1 a suivi la même tendance que les autres sites de proximité automobile avec une légère augmentation des concentrations de PM₁₀ entre 2000 et 2006.



Perspectives 2007

Dans le cadre du partenariat avec le SMTC, l'ASCOPARG, poursuivra en 2007 des évaluations de la qualité de l'air dans d'autres secteurs de l'agglomération (mesures et modélisation pour le suivi de la qualité de l'air après la mise en place des lignes 31 et 33, état initial de la qualité de l'air sur l'extension de la ligne de TRAM B, qualité de l'air à proximité de l'A480 et de la Rocade Sud).



- Tableaux -

Tableau 1-1 Date des campagnes de mesures	4
Tableau 1-2 Implantation des laboratoires mobiles dans le cadre de l'Observatoire environnemental des déplacements en 2006	5
Tableau 1-3 Sites de mesures par laboratoire mobile et tubes à diffusion	7
Tableau 1-4 Sites fixes de mesures de l'ASCOPARG pris en référence pour l'étude	10
Tableau 1-5 Sites fixes de mesures de l'ASCOPARG pris en référence pour l'étude	11
Tableau 2-1 Statistiques horaires du NO pendant les 4 campagnes de mesures.....	17
Tableau 2-2 Statistiques horaires du NO ₂ et estimation de la moyenne annuelle en µg.m ⁻³	27
Tableau 2-3 Statistiques horaires des PM ₁₀ et estimation de la moyenne annuelle en µg.m ⁻³	32
Tableau 2-4 Statistiques journalières des PM ₁₀ sur les sites fixes de l'agglomération grenobloise en 2006 .	32
Tableau 2-5 Statistiques journalières des PM ₁₀ pendant les 12 semaines de mesures	33
Tableau 2-6 Concentrations de PM ₁₀ : moyenne lors des campagnes de mesures 2000 et 2006 en comparaison des estimations des moyennes annuelles.....	35
Tableau 2-7 Estimation de la concentration moyenne annuelle en benzène.....	37
Tableau 2-8 Concentrations de benzène : moyenne lors des campagnes de mesures 2000 et 2006.....	39
Tableau 2-9 Statistiques horaires du dioxyde de soufre pendant les 4 campagnes de mesures et estimation de la moyenne annuelle.....	40

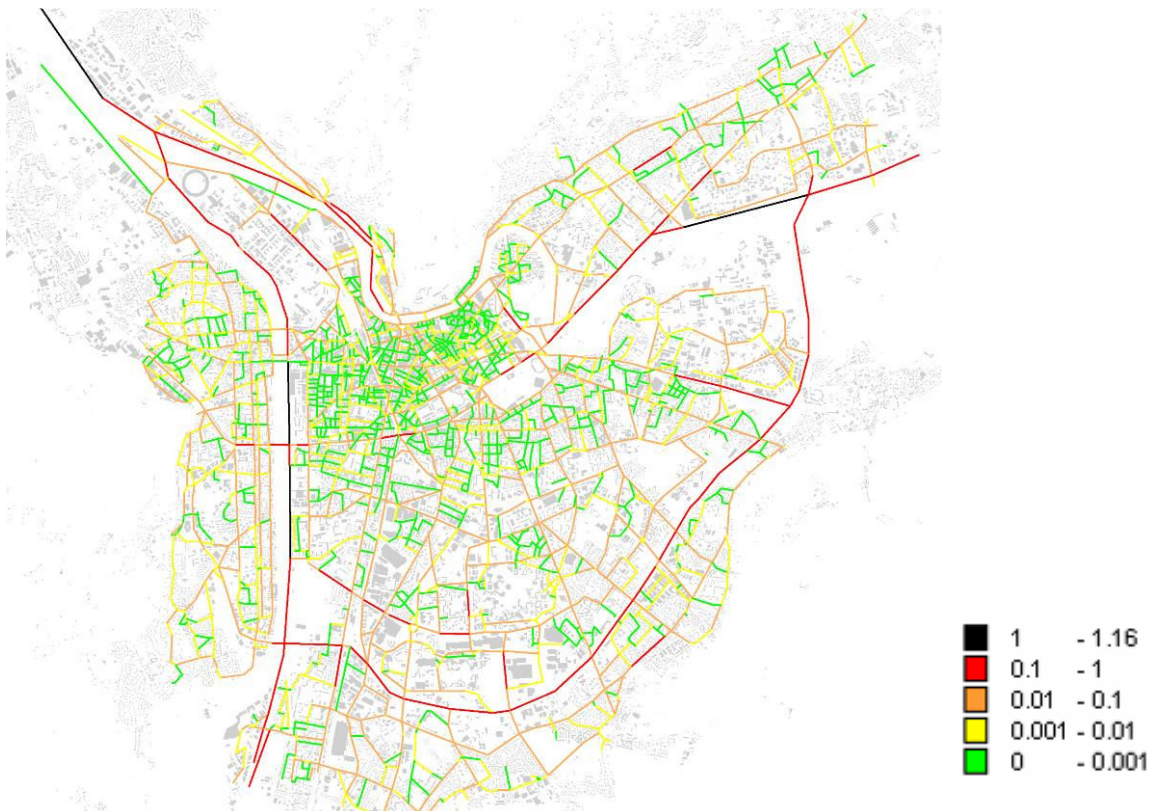
- Figures -

Figure 1.1 Densité de population à proximité de groupe scolaire Henri Barbusse à Saint Martin d'Hères	6
Figure 1.2 Stations fixes de surveillance de la qualité de l'air de l'ASCOPARG.....	9
Figure 1.3 Photos de la remorque laboratoire d'ASCOPARG.....	12
Figure 1.4 Photos des tubes à diffusion de mesure du benzène (Marque : Radiello) et tubes de mesure du dioxyde d'azote (Marque : Passam AG).....	13
Figure 2.1 Ecart entre la moyenne mesurée du NO ₂ pendant les 8 semaines de l'étude et la moyenne annuelle pour les stations fixes de l'ASCOPARG (Le Rondeau, Fontaine les Balmes, Grenoble les Frênes, Le Versoud, Voreppe et Charavines).....	14
Figure 2.2 Plan d'échantillonnage des campagnes de mesures de la ligne 1	15
Figure 2.3 Estimation des concentrations moyennes annuelles de monoxyde d'azote (NO) sur les sites de l'observatoire des déplacements et concentration moyenne annuelle mesurée sur les sites fixes de l'ASCOPARG.....	16
Figure 2.4 Profil moyen horaire du NO sur les sites de l'Observatoire environnemental des déplacements.	18
Figure 2.5 Estimation des concentrations moyennes annuelles de dioxyde d'azote (NO ₂) sur les sites de l'observatoire des déplacements et concentration moyenne annuelle mesurée sur les sites fixes de l'ASCOPARG.....	20
Figure 2.6 Répartition des émissions d'oxydes d'azote (NO _x) dans l'agglomération grenobloise	20
Figure 2.7 Rapport NO/NO ₂ caractérise l'influence des sources de pollution.....	21
Figure 2.8 Concentrations moyennes annuelles de dioxyde d'azote (NO ₂).....	22
Figure 2.9 Concentration en dioxyde d'azote sur le secteur du boulevard Gambetta.	24
Figure 2.10 Sites de mesures de la ligne 1 à Echirolles	24
Figure 2.11 Concentration en dioxyde d'azote sur le secteur de la ligne 1 à Echirolles.....	25
Figure 2.12 Evolution des concentrations de dioxyde d'azote entre 2000 et 2006.....	25
Figure 2.13 Concentrations en dioxyde d'azote (NO ₂) à Saint Martin d'hères.....	26
Figure 2.14 Profils Profil moyen horaire du NO ₂ pendant les 12 semaines de mesures de l'étude.....	27
Figure 2.15 Comparaison des mesures de NO ₂ par rapport à la réglementation	28
Figure 2.16 Evolution des concentrations moyennes de NO ₂ à Grenoble depuis 1997	29
Figure 2.17 Estimation des concentrations moyennes annuelles de poussières PM ₁₀ sur les sites de l'observatoire et concentrations moyennes annuelles mesurées sur les sites fixes de l'ASCOPARG	31
Figure 2.18 Répartition des émissions de poussières (PM ₁₀) et d'oxydes d'azote (NO _x) dans l'agglomération grenobloise (Source : Cadastre ASCOPARG – Emissions 2003 par zone – Version 2006-1 maj. le 31/05/2006).....	31
Figure 2.19 Concentrations moyennes journalières de PM ₁₀ pendant les 12 semaines de mesures.....	33
Figure 2.20 Concentrations moyennes journalières de PM ₁₀ à Grenoble en mars 2007.....	34
Figure 2.21 Estimation de la moyenne annuelle en PM ₁₀ et comparaison par rapport à la réglementation... ..	34
Figure 2.22 Evolution des concentrations moyennes de PM ₁₀ des stations fixes de Grenoble depuis 1997 .	35
Figure 2.23 Corrélation entre le dioxyde d'azote (NO ₂) et le benzène (C ₆ H ₆)	38
Figure 2.24 Estimation de la moyenne annuelle de benzène et comparaison par rapport à la réglementation.	38
Figure 2.25 Evolution des concentrations de SO ₂ en région grenobloise entre 1997 et 2006	40
Figure 2.26 Estimation de la moyenne annuelle et comparaison par rapport à la réglementation	41
Figure 3.1 Réseau de rues pris en compte dans la modélisation, les brins bleus présentent les rues canyons et les brins rouges représentent les rues ouvertes.	44
Figure 3.2 Emissions de NO _x et PM ₁₀ par rue en gramme par seconde (g/s). Ces cartes sont aussi en annexe 1 du rapport.....	45
Figure 3.3 Position des stations urbaines de fond de l'agglomération grenobloise	46
Figure 3.4 Moyennes annuelles des stations urbaines de fond et estimation du niveau de fond de l'agglomération grenobloise.....	46
Figure 3.5 Concentration moyenne annuelle en NO ₂ dans les rues de Grenoble	47
Figure 3.6 Pourcentage de rues dépassant les valeurs réglementaires concernant le dioxyde d'azote (NO ₂)	48
Figure 3.7 Cartographie de la concentration moyenne annuelle en dioxyde d'azote (NO ₂) pour l'année 2006	49
Figure 3.8 Cartographie de la concentration moyenne annuelle en dioxyde d'azote (NO ₂) pour l'année 2006 – Zoom sur le centre ville de l'agglomération grenobloise	49
Figure 3.9 Exposition de la population à la pollution de proximité	50
Figure 3.10 Exposition de la population à différents niveaux de pollution pour l'année 2006	51
Figure 3.11 Evolution du pourcentage de population exposée à un air qui n'est pas conforme à l'objectif de qualité du NO ₂ (40 µg.m ⁻³ en moyenne annuelle)	52
Figure 3.12 Comparaison des expositions de population entre 2004 et 2006 (1 ^{ère} méthode).....	52

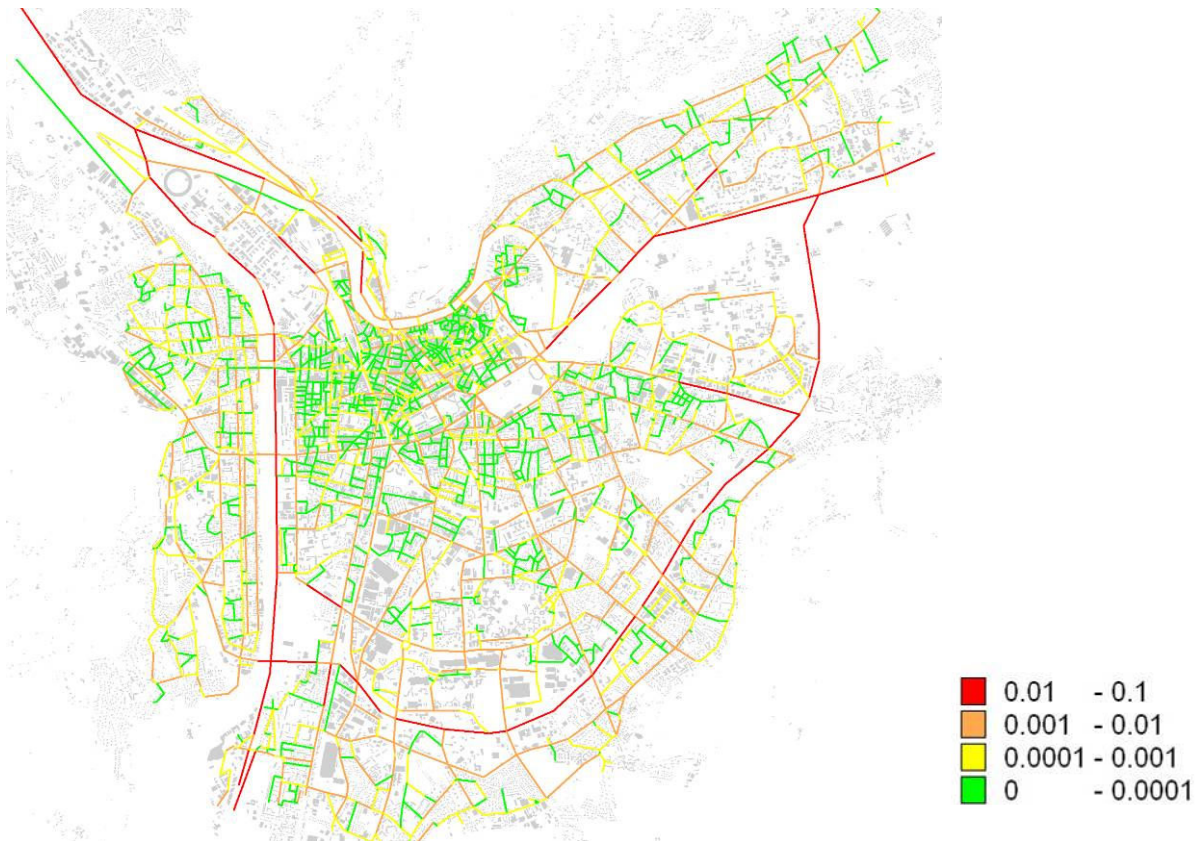
Figure 3.13 Evolution du pourcentage de population exposée à un air non conforme à l'objectif de qualité concernant le NO₂ entre 2004 et 2006 53

Figure 3.14 Comparaison de l'exposition de la population entre 2004 et 2006 (deuxième méthode)..... 53

Annexe 1: Cartographie des émissions de NOx et PM₁₀ dans l'agglomération grenobloise



▲ Emissions de NOx en gramme par seconde



▲ Emissions de PM₁₀ en gramme par seconde

Annexe 2: validation statistique de la modélisation des concentrations d'oxydes d'azote (NOx)

Comparaison des résultats de la modélisation avec les mesures des analyseurs

Les résultats sont sensiblement meilleurs avec la météo de Pont-de-Claix tant sur les moyennes annuelles que les percentiles 98 et les corrélations notamment sur les capteurs de Foch et de Rondeau. En effet, le vent mesuré au Versoud est souvent assez faible et peu représentatif du centre de Grenoble, notamment la partie ouest de l'agglomération.

Le modèle a donc tendance à surestimer les concentrations notamment sur les sites de proximité où les erreurs sur la concentration moyenne annuelle en NO₂ dépassent les 50%.

La simulation utilisant les données météo de Pont-de-Claix donnent des résultats satisfaisants. Les erreurs relatives sur les concentrations moyennes en NO₂ sont inférieures à 10% sauf pour le site de Gambetta (30%) en raison d'une sous-estimation des émissions et le site de Rondeau (17%). Pour ce dernier site, les concentrations en NO_x totaux sont très bien représentées par le modèle (erreur <1%) mais le modèle surestime les concentrations en NO₂. Le site du Rondeau étant particulièrement ouvert, les niveaux de NO mesurés sont très élevés. La transformation photochimique du NO₂ n'a pas le temps de s'effectuer.

Le modèle photochimique du modèle SIRANE (hypothèse photo-stationnaire) n'est pas tout à fait adapté à ce type de situation.

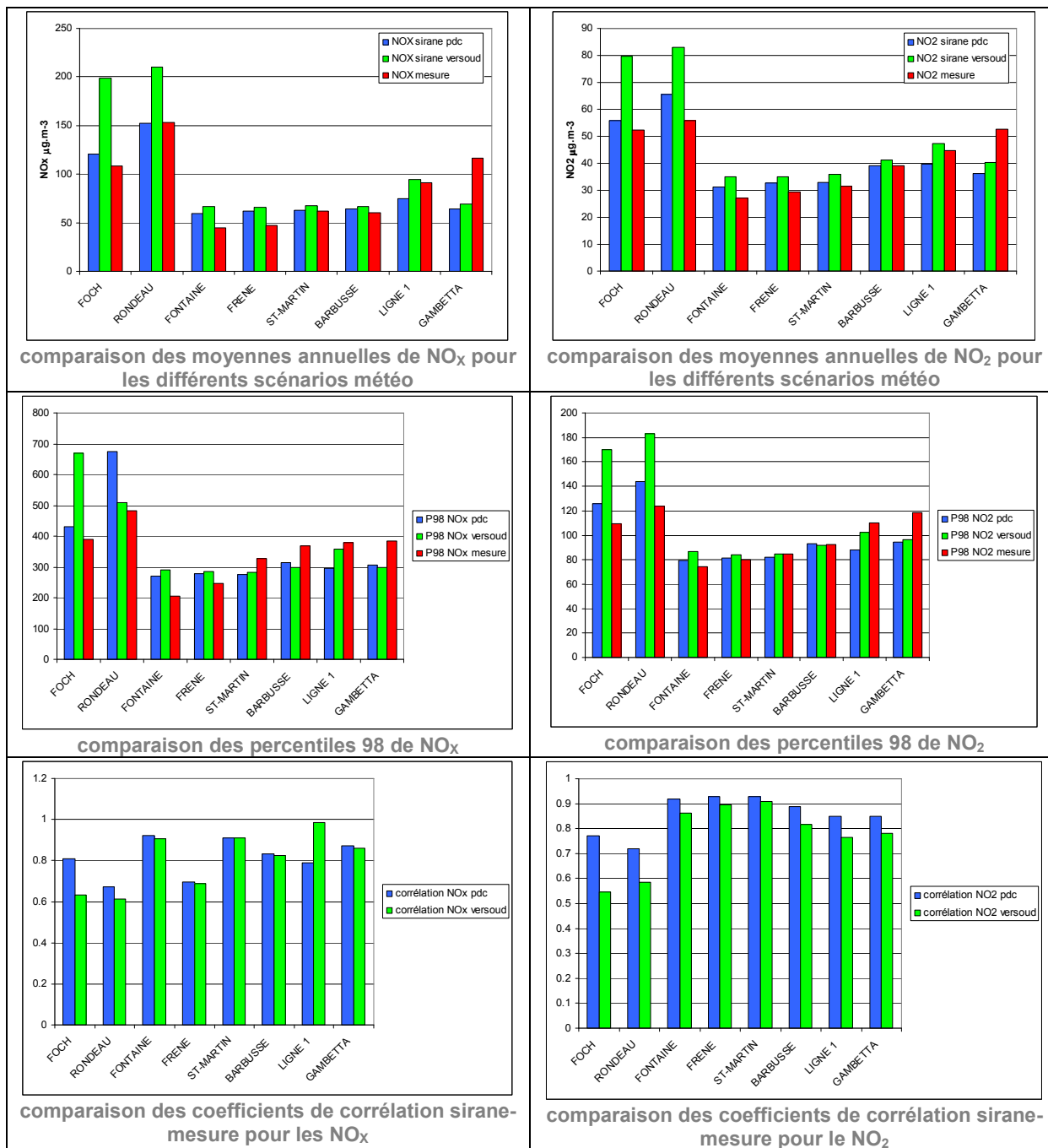


Figure 1. Comparaison des différentes simulations

Par la suite, seul le scénario utilisant la météo de Pont-de-Claix a été conservé pour les comparaisons sur les moyennes horaires, le calcul de la carte de concentration annuelle et les calculs d'exposition de la population.

Comparaison des résultats de la modélisation avec les tubes à diffusion

Les concentrations moyennes obtenues avec le modèle SIRANE sont proches des concentrations mesurées par les tubes situés en centre ville avec des erreurs inférieures à 15%. Le modèle a cependant tendance à sous-estimer les concentrations notamment pour les points situés à proximité de feux de circulation (par exemple Gambetta). La place Dubedout est particulièrement polluée avec des concentrations mesurées supérieures à 80 $\mu\text{g.m}^{-3}$. Le modèle SIRANE permet de reproduire cette zone de forte pollution mais dans une moindre mesure. Ceci peut-être dû à un décalage spatial entre le réseau sirane et le réseau de rue réel, ainsi qu'à une sous-estimation des émissions dans cette zone de fort trafic.

Par ailleurs, pour les points situés au niveau de la rocade sud, le modèle SIRANE sous-estime les concentrations de 15% environ sauf pour le stade Barran. Au vu des mesures, la rocade sud semble influencer plus fortement la partie ouest que la partie est alors que les résultats du modèle sont symétriques par rapport à la rocade.

Enfin, pour les points situés autour de la ligne 1, le modèle sous-estime nettement les concentrations. D'après le modèle ces axes sont soumis à un trafic relativement faible qui ne tient probablement pas compte des nombreux camions qui desservent la zone industrielle, les émissions sont donc probablement sous-estimées sur cet axe. Les points de mesures sont aussi situés à la limite du domaine couvert par le modèle.

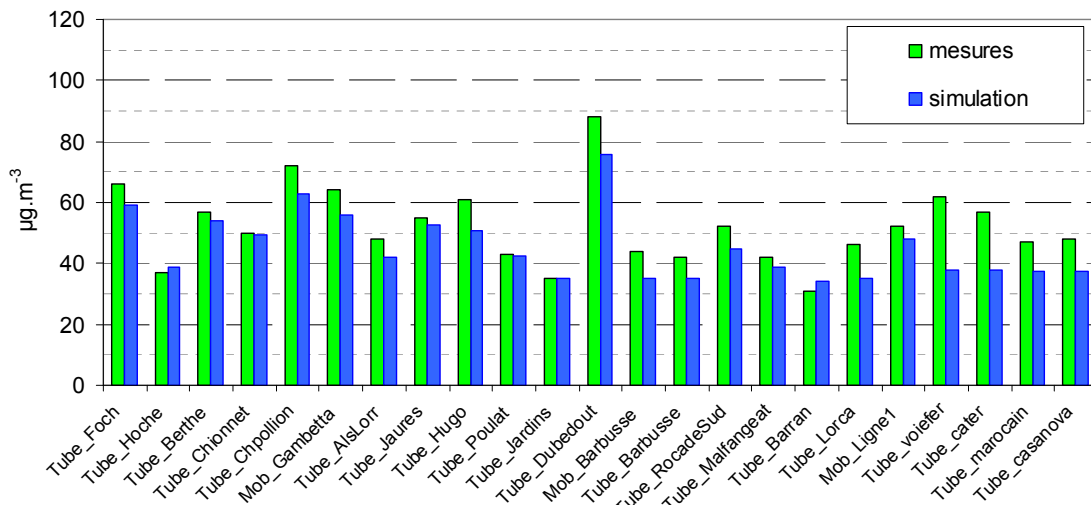


Figure 2. Comparaison des concentrations moyennes mesurées par les tubes à diffusion aux résultats de la modélisation

Comparaison des résultats de la modélisation avec les données horaires des stations fixes

Sur certaines périodes, notamment en hiver, les concentrations en NO₂ calculées par SIRANE sont très proches des concentrations mesurées sur les sites de proximité automobile. En revanche certains épisodes sont moins bien représentés et le modèle tend à surestimer les pics de concentrations. Pour ces heures spécifiques, la météo mesurée à Pont-de-Claix n'est pas représentative de la météo dans le centre de l'agglomération.

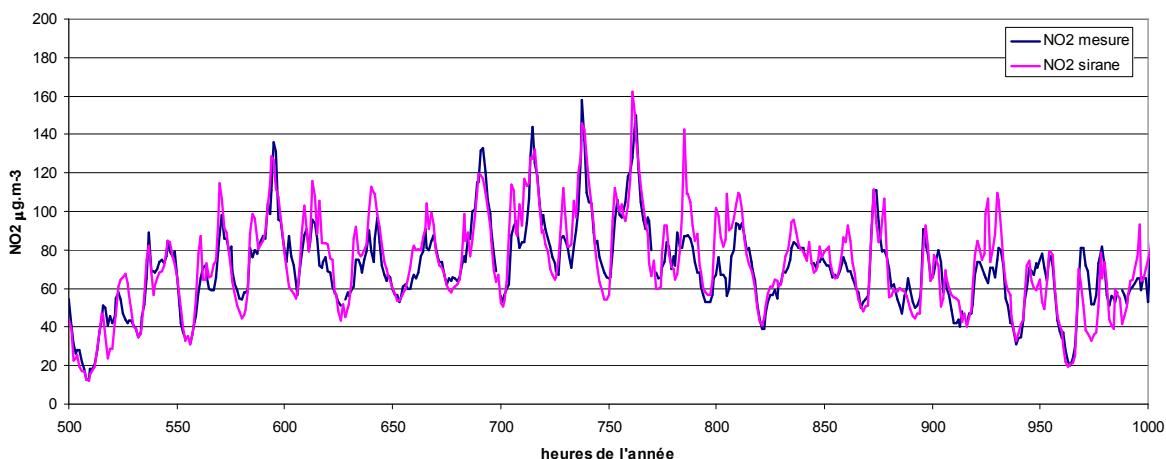


Figure 3. Comparaison entre les concentrations **mesurées et modélisées** de dioxyde d'azote (NO₂) sur le site du boulevard Foch en hiver

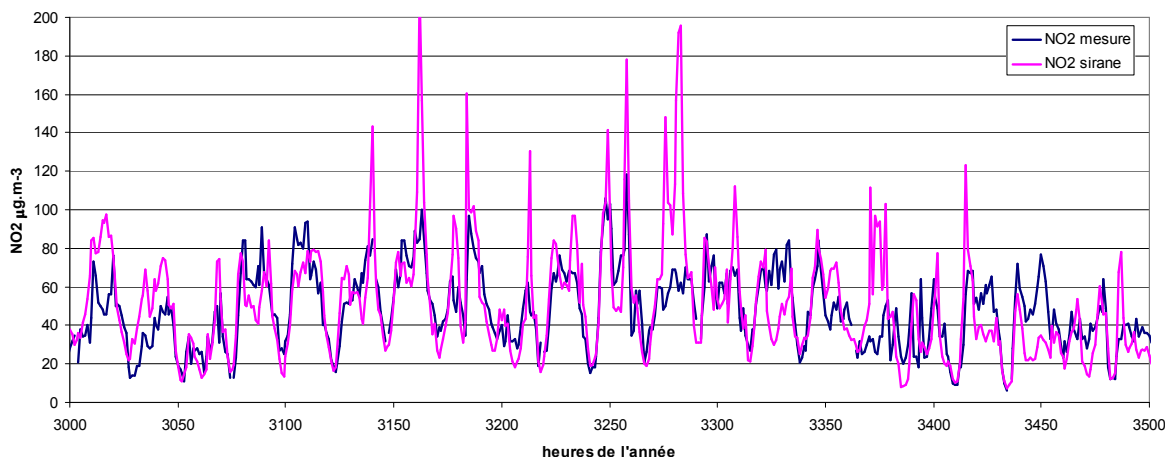


Figure 4. Comparaison entre les concentrations **mesurées et modélisées** de dioxyde d’azote (NO₂) sur le site du boulevard Foch (site fixe de proximité automobile) au printemps

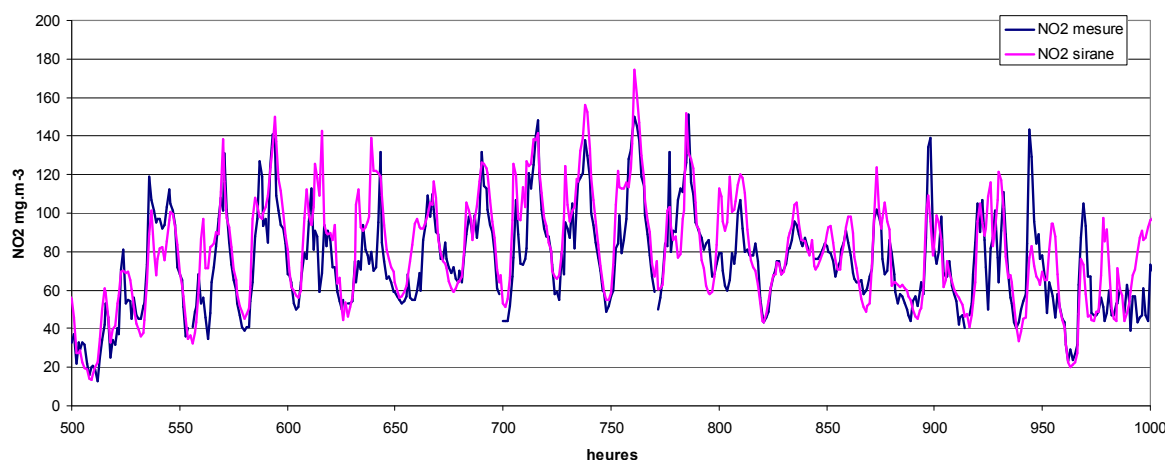


Figure 5. Comparaison entre les concentrations **mesurées et modélisées** de dioxyde d’azote (NO₂) sur le site du Rondeau (site fixe de proximité automobile) en hiver

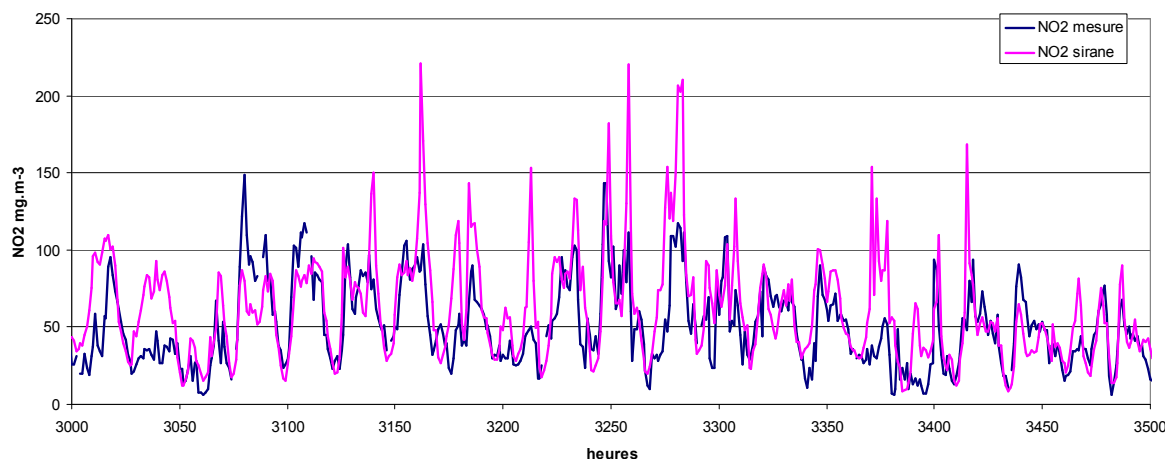


Figure 6. Comparaison entre les concentrations **mesurées et modélisées** de dioxyde d’azote (NO₂) sur le site du Rondeau (site fixe de proximité automobile) au printemps

Les comparaisons modèles-mesures pour les sites mobiles sur les périodes des campagnes sont assez variées suivant les sites. En effet, sur le site Barbusse situé à proximité de la rocade Sud, les concentrations calculées par le modèle SIRANE sont très proches des concentrations mesurées, même si certains pics de concentrations sont sous-estimés. En revanche pour le site de Gambetta, le modèle sous-estime nettement les concentrations en NO₂. Ceci est dû au fait que le site de Gambetta est souvent saturé et que le trafic est souvent congestionné sur cette place. Les émissions utilisées pour le calcul sont donc très probablement largement sous-estimées.

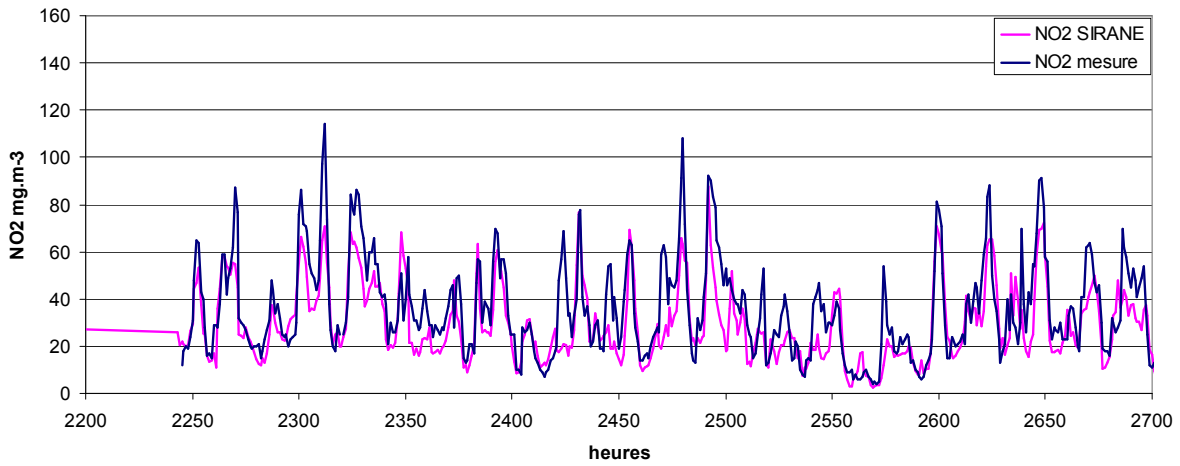


Figure 7. Comparaison entre les concentrations **mesurées et modélisées** de dioxyde d'azote (NO₂) sur le site du groupe scolaire Henri Barbusse au printemps

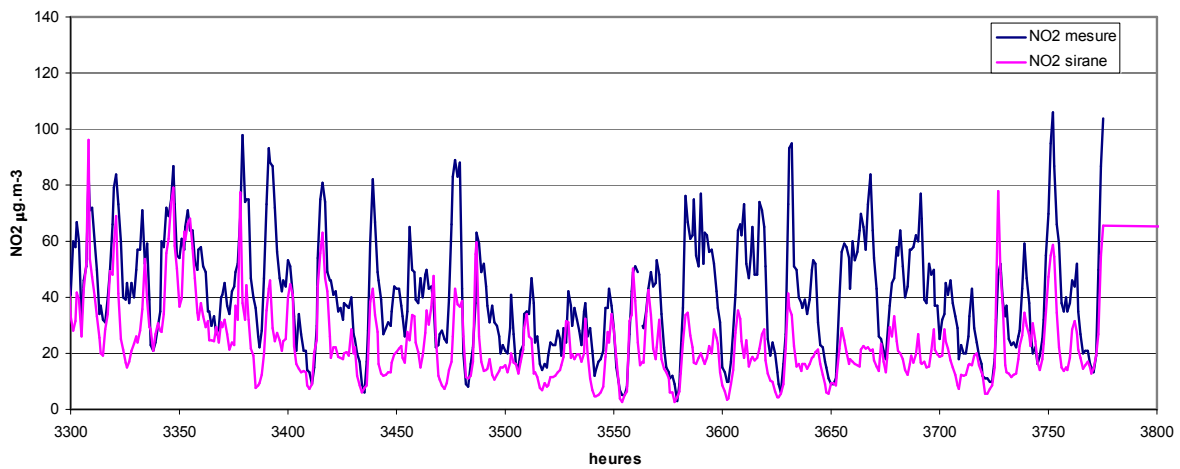


Figure 8. Comparaison entre les concentrations **mesurées et modélisées** de dioxyde d'azote (NO₂) sur le boulevard Gambetta au printemps

Annexe 3 : validation statistique de la modélisation des concentrations de poussières (PM₁₀)

Le modèle SIRANE a tendance à sous-estimer de façon systématique les concentrations en particules.

Les erreurs sur les sites de proximité sont de 17% pour le site du Rondeau, de 23% pour le site de Barbusse et de 33% pour le site de Gambetta. Il est très probable que les émissions de particules soient sous-estimées. De plus, le modèle ne prend pas en compte les phénomènes de remise en suspension des particules au passage des véhicules.

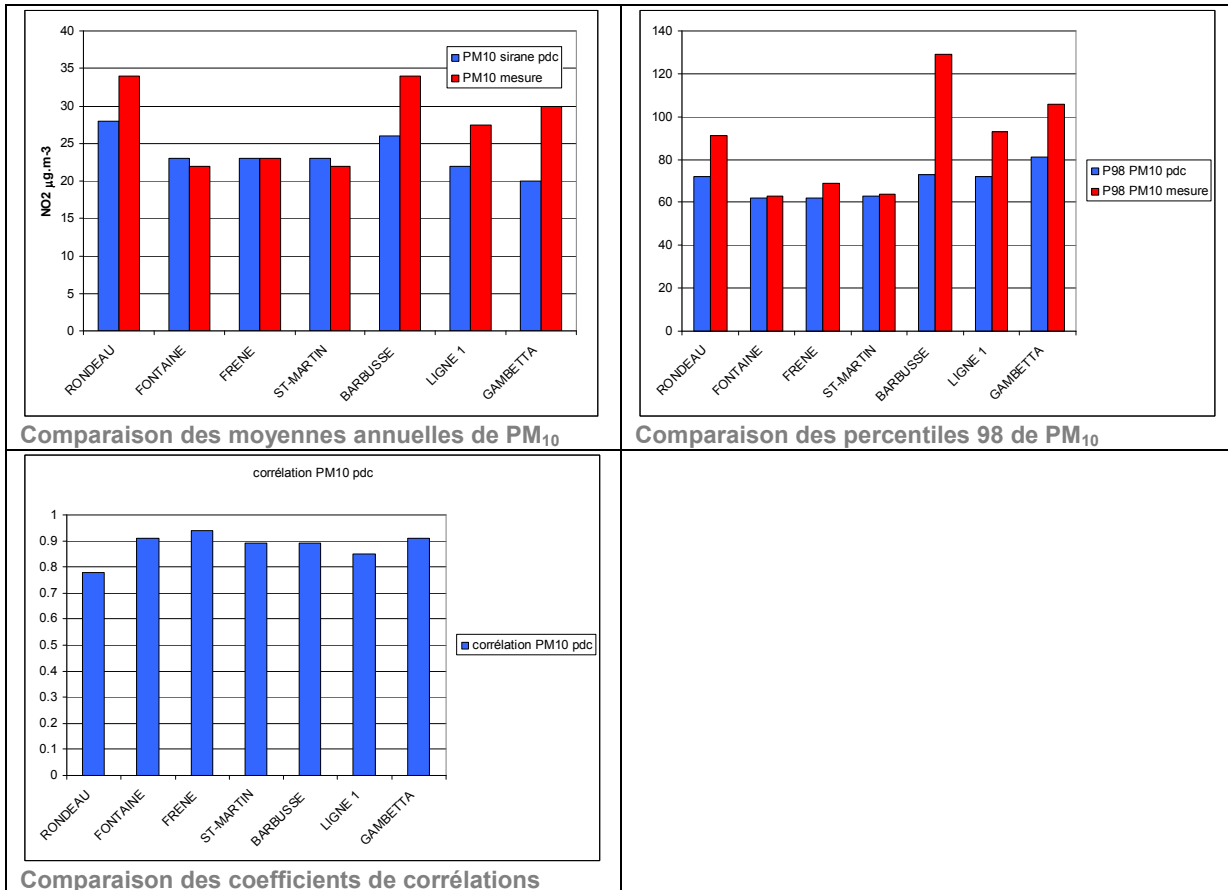


Figure 1. Comparaison des différentes simulations avec les mesures

Comparaison des résultats de la modélisation avec les données horaires des stations fixes

Les comparaisons horaires confirment la tendance à la sous-estimation du modèle notamment les pics de concentrations. En effet, certaines valeurs mesurées sont très élevées (supérieures à 100 µg.m⁻³) alors que le niveau de fond est relativement bas. Ces situations particulières sont liées à des émissions ponctuelles très fortes et très difficiles à évaluer.

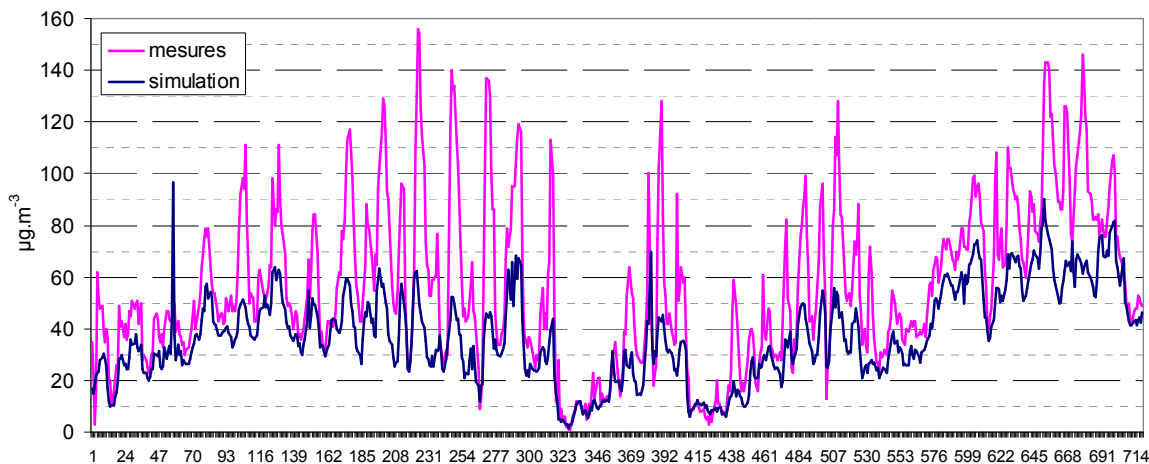


Figure 2. Comparaison entre les concentrations **mesurées et modélisées** de poussières PM₁₀ sur le site du groupe scolaire Henri Barbusse (secteur Rocade sud à Saint Martin d’Hères) en **hiver**

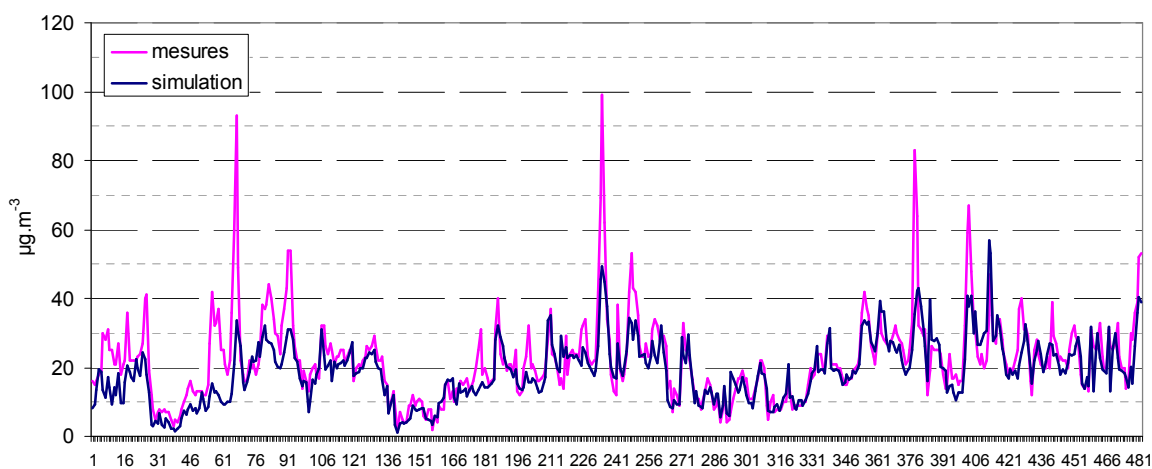


Figure 3. Comparaison entre les concentrations **mesurées et modélisées** de poussières PM₁₀ sur le site du groupe scolaire Henri Barbusse (secteur Rocade sud à Saint Martin d’Hères) au printemps

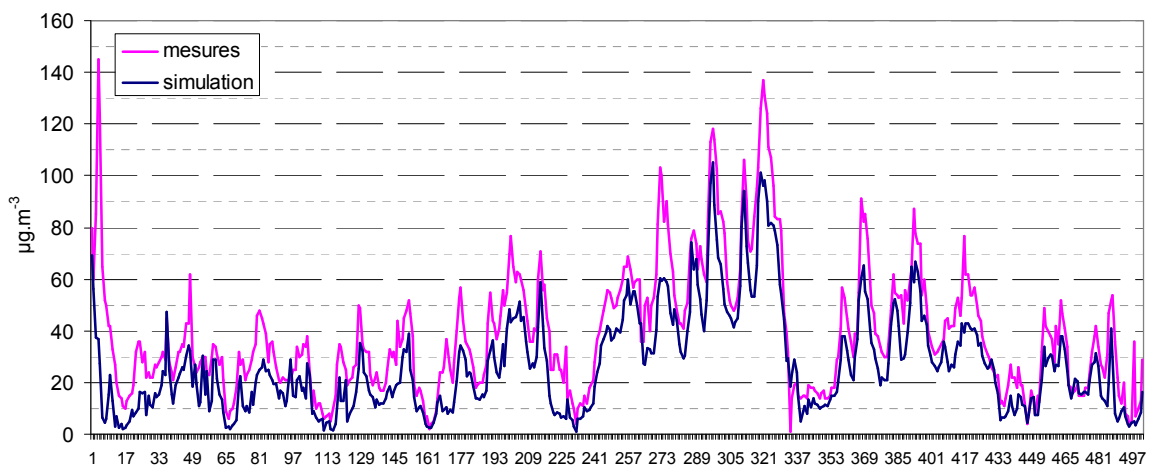


Figure 4. Comparaison entre les concentrations **mesurées et modélisées** de poussières PM₁₀ sur le site du boulevard Gambetta en automne

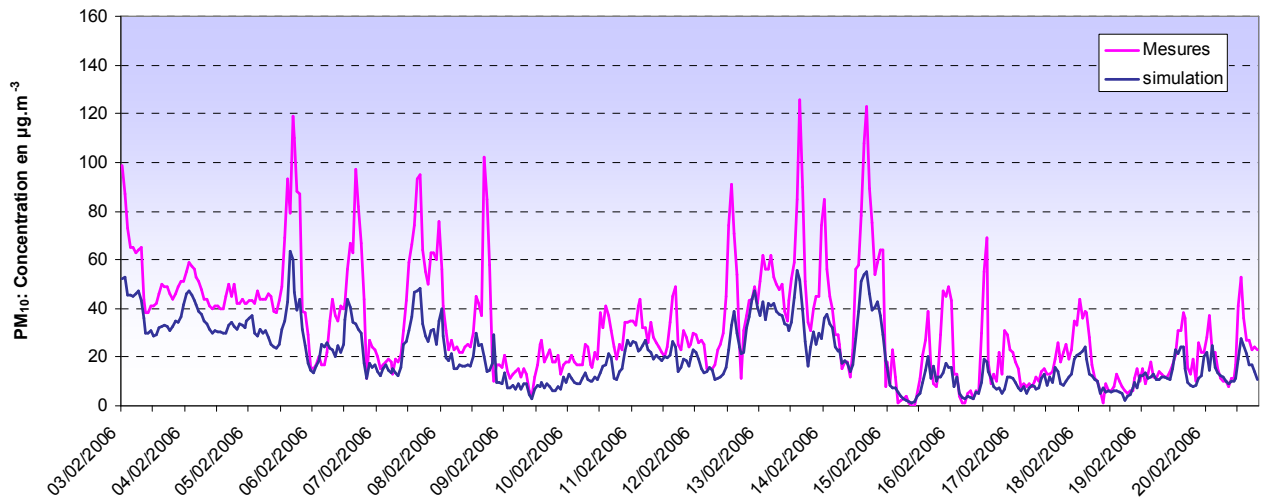


Figure 5. Comparaison entre les concentrations **mesurées et modélisées** de poussières PM₁₀ sur le site du boulevard Gambetta en hiver

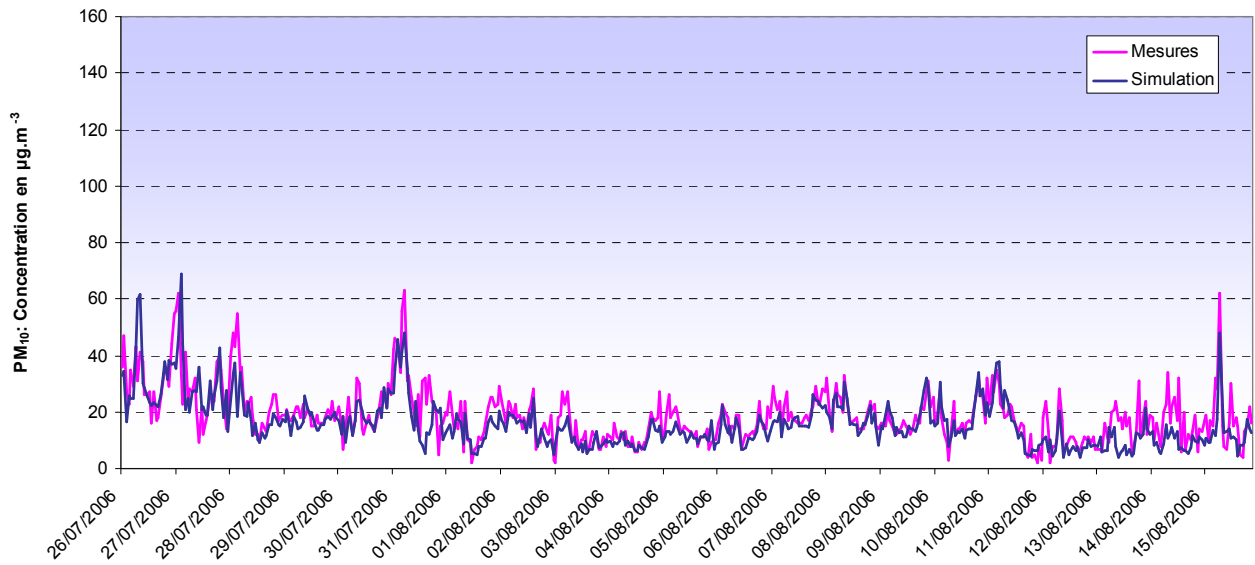


Figure 6. Comparaison entre les concentrations **mesurées et modélisées** de poussières PM₁₀ sur le site de la ligne 1 à Echirolles en été

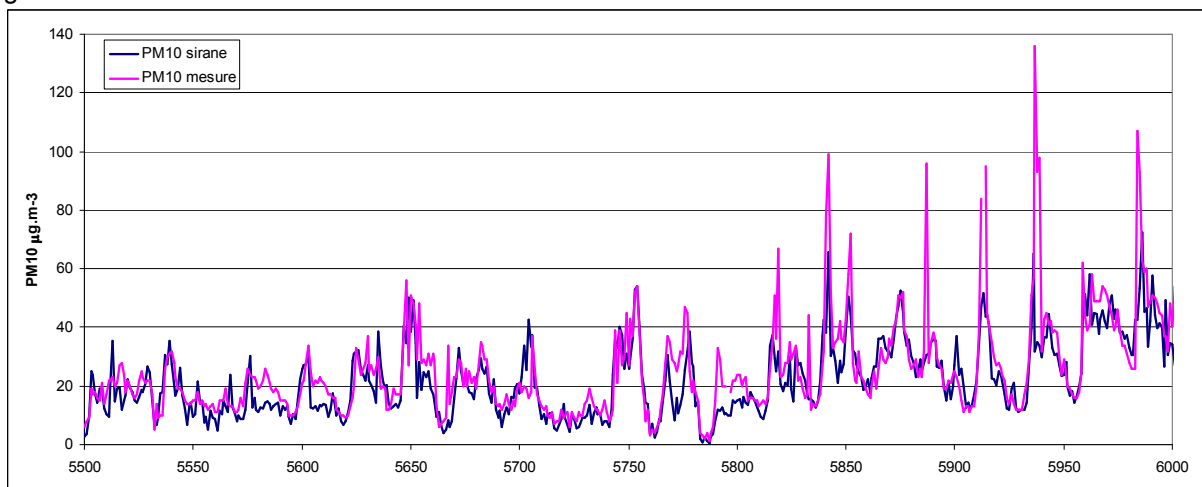


Figure 7. Comparaison entre les concentrations **mesurées et modélisées** de poussières PM₁₀ sur le site du Rondeau

En raison des fortes incertitudes sur les résultats du modèle pour les PM₁₀, les cartes de concentration en moyenne annuelle en PM₁₀ n'ont pas été calculées.