



Evaluation de la qualité de l'air 2001-2008 sur le tracé de la ligne C

Axe Saint Martin d'Hères - Grenoble - Seyssinet



ASCOPARG



**Association pour le
Contrôle et la Prévention
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



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

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

Conditions de diffusion :

- Les données recueillies tombent dès leur élaboration dans le domaine public. Le rapport d'étude est mis à disposition sur www.atmo-rhonealpes.org, un mois après validation interne.
- Les données contenues dans ce document restent la propriété de l'association. Données non rediffusées en cas de modification ultérieure des données.
- Toute utilisation partielle ou totale de ce document doit y faire référence en ces termes : « ***Evaluation de la qualité de l'air 2001-2008 sur le tracé de la ligne C- Axe St Martin d'Hères-Grenoble-Seyssinet ASCOPARG, 2010*** ».
- L'association n'est en aucune façon responsable des interprétations et travaux intellectuels, publications diverses résultant de ses travaux et pour lesquels aucun accord préalable n'aurait été donné.

Edition du : 31 mars 2011

Résumé

Depuis 2006, la ligne de tramway C permet de traverser l'agglomération grenobloise d'est en ouest reliant les communes de Seyssins à Gières. La mise en place de ce projet d'infrastructure important qui a nécessité des aménagements, comme la suppression ou la réorganisation des voies de circulation, s'est accompagné d'une amélioration locale de la qualité de l'air.

Des premières mesures de qualité de l'air réparties sur trois ans (2001-2002-2003) avaient été réalisées avant la mise en place de la ligne C dans l'objectif d'établir un état initial de la qualité de l'air. Les résultats montraient une influence marquée du trafic automobile sur la zone d'étude, et notamment une pollution élevée dans le secteur des grands boulevards.

En 2008, les mesures ont été reconduites dans l'objectif de dresser un bilan de la qualité de l'air après la mise en place de la ligne C. L'objectif sous-jacent étant d'évaluer l'influence de la mise en place de cette ligne sur la qualité de l'air et sur l'exposition des populations riveraines.

Cette étude a permis de montrer qu'entre 2001 et 2008, la qualité de l'air s'est globalement améliorée sur le tracé de la ligne C. La baisse la plus notable concerne le dioxyde d'azote (NO_2) sur le secteur de Seyssinet (-40 %) et des Grands Boulevards (-20 %). En revanche les résultats de mesures sur le site d'étude de Saint-Martin d'Hères montrent que la qualité de l'air a peu évolué à cet endroit là.

Comme en 2001, les mesures de NO_2 réalisées en 2008 sur la zone d'étude, montrent encore l'importante influence du trafic automobile sur la qualité de l'air, notamment dans le secteur des Grands Boulevards sur le segment reliant la place Pasteur (Bd M. Joffre) à l'ancien autopont (intersection Bd. Foch /crs J. Jaurès). En outre, cette étude montre que dans ce secteur les niveaux moyens de dioxyde d'azote (NO_2), de particules fines (PM_{10}) et de benzène (C_6H_6) ne sont toujours pas conformes aux valeurs réglementaires. Les niveaux observés en 2008 sur les sites d'étude de Seyssinet et de Saint-Martin d'Hères respectent les valeurs réglementaires à l'exception des niveaux de particules fines qui ne sont pas conformes à l'objectif de qualité ($30 \mu\text{g.m}^{-3}$).

Les résultats de modélisation croisés avec les données de population ont permis de calculer le nombre de personnes potentiellement exposées à des concentrations supérieures à l'objectif de qualité ($40 \mu\text{g.m}^{-3}$, également valeur limite en 2010). Ce chiffre représente 50% des riverains habitant à moins de 50 mètres du tracé de la ligne C (soit environ 4700 personnes). Les personnes exposées sont majoritairement localisées sur la partie du tracé qui traverse la commune de Grenoble, lieux où la densité de population est importante.

Sommaire

RESUME	1
INTRODUCTION	5
1. EVALUATION DE LA QUALITE DE L’AIR EN 2008 SUR LE TRACE DE LA LIGNE C (ST MARTIN D’HERES - GRENOBLE- SEYSSINET)	6
1. METHODOLOGIE ADOPTEE	6
<i>Périodes de mesures.....</i>	<i>6</i>
<i>Représentativité des périodes de mesures.....</i>	<i>7</i>
<i>Localisation des sites de mesures.....</i>	<i>8</i>
2. LES NIVEAUX DE NO ₂ ET DE BENZENE MESURES SUR LA ZONE D’ETUDE	10
<i>Variation des concentrations de NO₂ le long du tracé de la ligne C.....</i>	<i>10</i>
<i>Variation des concentrations de benzène le long du tracé de la ligne C.....</i>	<i>15</i>
<i>Calculs d’exposition de la population au NO₂ en proximité automobile</i>	<i>17</i>
3. LES OXYDES D’AZOTES (NOx)	20
<i>Les émissions de NOx dans l’agglomération grenobloise</i>	<i>20</i>
<i>Niveaux mesurés en 2008 et situation vis-à-vis de la réglementation</i>	<i>22</i>
4. LES PARTICULES EN SUSPENSION	27
<i>Les émissions de PM₁₀ dans l’agglomération grenobloise</i>	<i>27</i>
<i>Niveaux mesurés et comparaison à la réglementation.....</i>	<i>28</i>
5. LE MONOXYDE DE CARBONE (CO)	30
<i>Les émissions de CO dans l’agglomération grenobloise.....</i>	<i>30</i>
<i>Niveaux mesurés et comparaison à la réglementation.....</i>	<i>30</i>
6. LE DIOXYDE DE SOUFRE.....	32
<i>Les émissions de dioxyde de soufre dans l’agglomération grenobloise</i>	<i>32</i>
<i>Niveaux mesurés et comparaison à la réglementation.....</i>	<i>32</i>
2. EVOLUTION DES NIVEAUX DE POLLUANTS SUR LA ZONE D’ETUDE	34
<i>Evolution des niveaux de polluants par rapport à 2001-2003.....</i>	<i>34</i>
CONCLUSION.....	39
ANNEXES.....	40
ANNEXE 1 : Implantation des sites de mesures par laboratoire mobile.....	40
ANNEXE 2 : Identification des sites de mesures en 2001 et 2008	41
ANNEXE 3 : Sites fixes de mesures de l’ASCOPARG pris en référence pour l’étude	42
ANNEXE 4 : Les unités statistiques employées	44
ANNEXE 5 : Les valeurs réglementaires.....	45
ANNEXE 6 : Le modèle SIRANE	49
ANNEXE 7 : Techniques de mesures	51
ANNEXE 8 : Redressement statistique des poussières.....	54

Introduction

Depuis Mai 2006, la 3^{ème} ligne de tramway de Grenoble (ligne C) permet de traverser l'agglomération grenobloise d'est en ouest, en 30 minutes. Cette ligne relie la commune de Seyssins à Gières en passant dans sa traversée de Grenoble par les Grands Boulevards et l'avenue Gabriel Péri à Saint-Martin d'Hères. Ce projet d'infrastructure important a modifié le paysage urbain des cinq communes traversées par le tramway et plus particulièrement le secteur des grands Boulevards. En effet, sa mise en œuvre a nécessité certains aménagements comme par exemple la suppression d'une voie de circulation, du pont de Catane jusqu'à la place Gustave Rivet. Ces modifications de circulation ont permis de réduire considérablement le trafic dans ce secteur (50 000 véhicules par jour en 2002 à 30 000 véhicules en 2007) et se sont accompagnées d'une modification locale de la qualité de l'air.

Dans le cadre de l'observatoire des déplacements du PDU Grenoblois et du partenariat SMTC/ASCOPARG, des mesures réparties sur trois ans (2001, 2002, 2003), avaient été réalisées avant la mise en place de la ligne dans l'objectif d'établir un état initial de la qualité de l'air. Cette évaluation de la qualité de l'air effectuée à partir de 3 sites d'étude (Seyssinet Pariset, Place Pasteur, Gabriel Péri) et de 2 sites fixe de référence (Grenoble Boulevard et Saint-Martin d'Hères), montrait une forte influence du trafic automobile sur la qualité de l'air de la zone d'étude et notamment une pollution élevée dans le secteur des grands boulevards. En effet, sur tous les sites à proximité du tracé, les concentrations de NO₂ n'étaient pas conformes à l'objectif de qualité (40 µg.m⁻³) et les plus fortes concentrations en NO₂ ont été mesurées sur les sites des Grands Boulevards (62 µg.m⁻³).

En 2008, les mesures ont été reconduites dans l'objectif de dresser un bilan de la qualité de l'air, après la mise en place de la ligne C, avec un dispositif de mesures qui s'étendait sur l'ensemble du tracé.

La présente étude a ainsi pour principaux objectif :

- Dresser un bilan de la qualité de l'air après la mise en place de la ligne C, pour les principaux polluants réglementés et identifier les secteurs encore sensibles, c'est-à-dire plus exposés à une pollution d'origine automobile.
- Essayer d'évaluer l'influence de la mise en place de la ligne de Tram sur la qualité de l'air et sur l'exposition des populations riveraines en établissant une comparaison entre 2001 et 2008.

1. Evaluation de la qualité de l'air en 2008 sur le tracé de la ligne C (St Martin d'Hères – Grenoble - Seyssinet)

1. Méthodologie adoptée

Afin d'avoir une vision globale de la qualité de l'air sur la zone d'étude, des mesures à l'aide de capteurs légers (tubes) ont été implantées le long du tracé ou pour former des transects¹. Elles fournissent une information sur les niveaux moyens de dioxyde d'azote (NO₂) et de benzène (C₆H₆). Parallèlement, une étude plus complète des polluants réglementés (NO₂, PM₁₀, CO) a été réalisée à partir de station mobile sur deux points du tracé. Celles-ci produisent des données en continu au pas de temps horaire. Elles permettent ainsi d'évaluer les niveaux d'exposition vis à vis des valeurs réglementaires de la population habitant à proximité.

Périodes de mesures

En raison de la forte variabilité de la qualité de l'air sur un territoire, mais aussi dans le temps², les mesures doivent être également réparties dans l'année avec un **minimum de 8 semaines de mesures**, soit 14% de l'année (directive européenne 2008/50/CE du 21 mai 2008). Dans ces conditions, les mesures sont considérées comme représentatives de la qualité de l'air d'une année et elles peuvent être comparées avec les normes en vigueur.

Calendrier des mesures en 2008

Dans le cadre de cette étude, 8 semaines de mesures (4 campagnes de 2 semaines) ont été réalisées en 2008, chaque campagne étant caractéristique d'une saison (les campagnes sont indiquées en rouge dans le tableau ci-dessous).

La présente étude 2008 est ainsi conforme à ces exigences de représentativité.

Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Dec
			1		2			3			4

Campagne	Saison	Début	Fin
1	Printemps	02/04/2008	22/04/2008
2	Eté	16/06/2008	02/07/2008
3	Automne	19/09/2008	09/10/2008
4	Hiver	01/12/2008	17/12/2010
Année de référence 2008		01/12/2008	31/12/2008

Dates des campagnes de mesures de l'étude ligne C en 2008

¹ Série de mesures transversales permettant d'apprécier la décroissance des niveaux de pollution en fonction de l'éloignement par rapport à la route.

² Le comportement des polluants atmosphériques locaux est fortement lié aux conditions climatiques et donc aux saisons

Calendrier des mesures de la première étude

Trois campagnes de mesures réparties sur trois années ont été réalisées lors de la première étude

Campagne	Saison	Début	Fin
1	Eté	13/06/2001	06/08/2001
2	Automne	22/11/2002	06/12/2002
3	Hiver	31/01/2003	14/02/2003

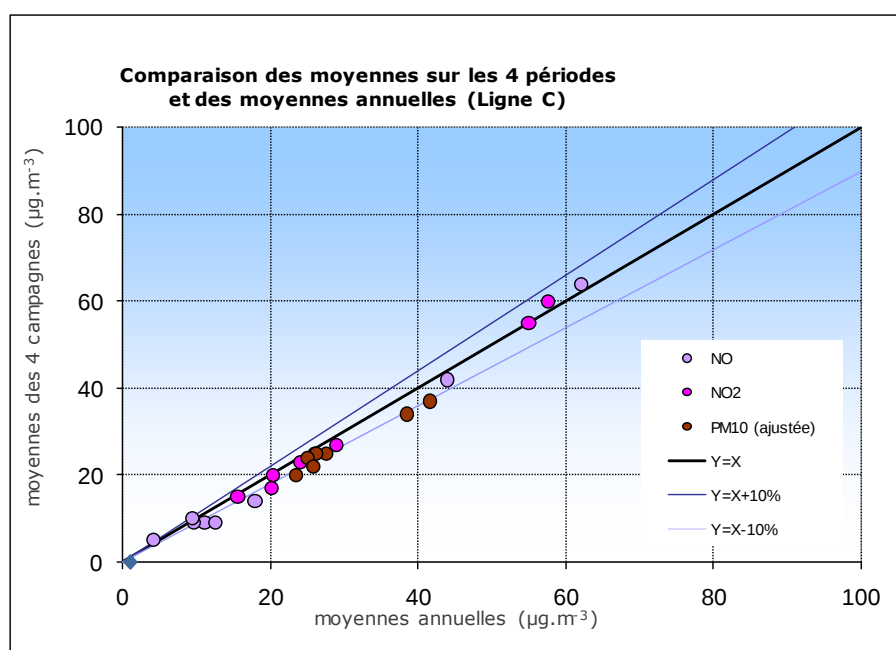
Dates des campagnes de mesures de l'étude ligne C en 2001, 2002, 2003

Représentativité des périodes de mesures

Représentativité annuelle

Même si cet échantillonnage respecte les exigences de la directive (14 % de l'année), il est nécessaire de vérifier si les mesures effectuées sont représentatives de l'année de référence de l'étude (2008). Cette vérification se fait en utilisant les données de stations fixes de référence de l'ASCOPARG. La moyenne calculée pendant les 8 semaines de mesures correspondant à une étude est comparée à la moyenne annuelle (moyenne des 12 mois de mesures de la station fixe).

Le graphique suivant compare les moyennes de NO, NO₂, PM₁₀ calculées pour les **stations fixes** lors des périodes de mesures (8 semaines de mesures) avec la moyenne annuelle (calculée sur les 365 jours de mesures de la station fixe).



Comparaison des moyennes mesurées du NO, NO₂, PM₁₀ sur les 4 périodes de mesures réalisées sur les sites d'étude et de la moyenne annuelle pour les stations fixes (Saint-Martin d'Hères, Fontaine les Balmes, Grenoble les Frênes, Le Rondeau, Grenoble Boulevard, Grenoble Périurbain Sud, Grésivaudan périurbain, Voreppe Volouise, Charavines).

Pour le dioxyde d'azote, l'écart entre la moyenne calculée pendant les quatre campagnes de mesures de l'étude ligne C et la moyenne calculée sur l'année civile est faible. **Ces résultats ne nécessitent donc pas de correction.**

Pour les particules et le monoxyde d'azote, les moyennes des 4 campagnes présentent des valeurs légèrement sous-estimées par rapport à la valeur annuelle réelle. Pour le NO, les moyennes n'ont pas été corrigées car il n'existe pas de seuils réglementaires pour ce polluant. **En revanche pour les particules, les moyennes sur 8 semaines ont donc été redressées pour améliorer l'estimation de la moyenne annuelle.**¹

L'état initial de la qualité de l'air réalisé en 2001 sur une période estivale de 8 semaines, ne permettait pas d'estimer des résultats annuels en raison de la faible représentativité des mesures. Grâce aux mesures complémentaires effectuées durant l'automne 2002 et l'hiver 2003 une concentration annuelle, certes moins précise, a pu être évaluée².

Localisation des sites de mesures

Les premières études de ce type réalisées en partenariat avec le SMTC se sont déroulées dans les années 2000, et dans un premier temps sur une seule période de l'année.

Dispositif spécifique à l'étude (cf carte suivante)

L'ASCOPARG a réalisé en mai 2001 des mesures sur le tracé de la future ligne de tramway C avant la fin de l'été 2001 (date de début des travaux).

Cette première étude sur le secteur regroupait 3 sites de surveillance (stations mobiles)³, avec des mesures effectuées sur 8 semaines consécutives de juin à août 2001. Cette période n'étant pas la plus favorable à l'observation de concentrations élevées de polluants d'origine automobile, deux séries de mesures complémentaires de 2 semaines ont été réalisées en 2002 et 2003 : une caractéristique de l'automne (novembre 2002) et l'autre de l'hiver (février 2003).

Les 3 sites d'études étaient localisés, boulevard des Frères Desaire au niveau du rond point de l'étoile à Seyssinet, boulevard maréchal Joffre au niveau de la place Pasteur à Grenoble et avenue Gabriel Péri à St Martin d'Hères (cf carte suivante). De plus, deux stations fixes de l'ASCOPARG ont pu servir de points de référence pour cette étude : la station trafic située Boulevard Foch (Grenoble Boulevard actuellement) et la station urbaine de St Martin d'Hères.

En 2008, seuls les sites de mesures en continu de Seyssinet et de Saint Martin d'Hères ont été conservés afin d'optimiser le nombre de dispositifs de mesures employés. Il est à noter que ces deux sites de mesures ont dû être légèrement déplacés pour des raisons d'accessibilité ou de modifications de voirie (déplacement des sites n°6 et 10). La station mobile « place pasteur » située au voisinage de la station fixe de Grenoble Boulevard a été remplacée par une mesure par tube passif (changement de dispositif du point n°1).

Par ailleurs, afin de connaître les niveaux moyens pour certains polluants (NO₂, BTX) sur l'ensemble de la zone d'étude, une 15^{aine} de mesures avec des tubes passifs, ont été réparties le long du tracé ou pour former des transects.

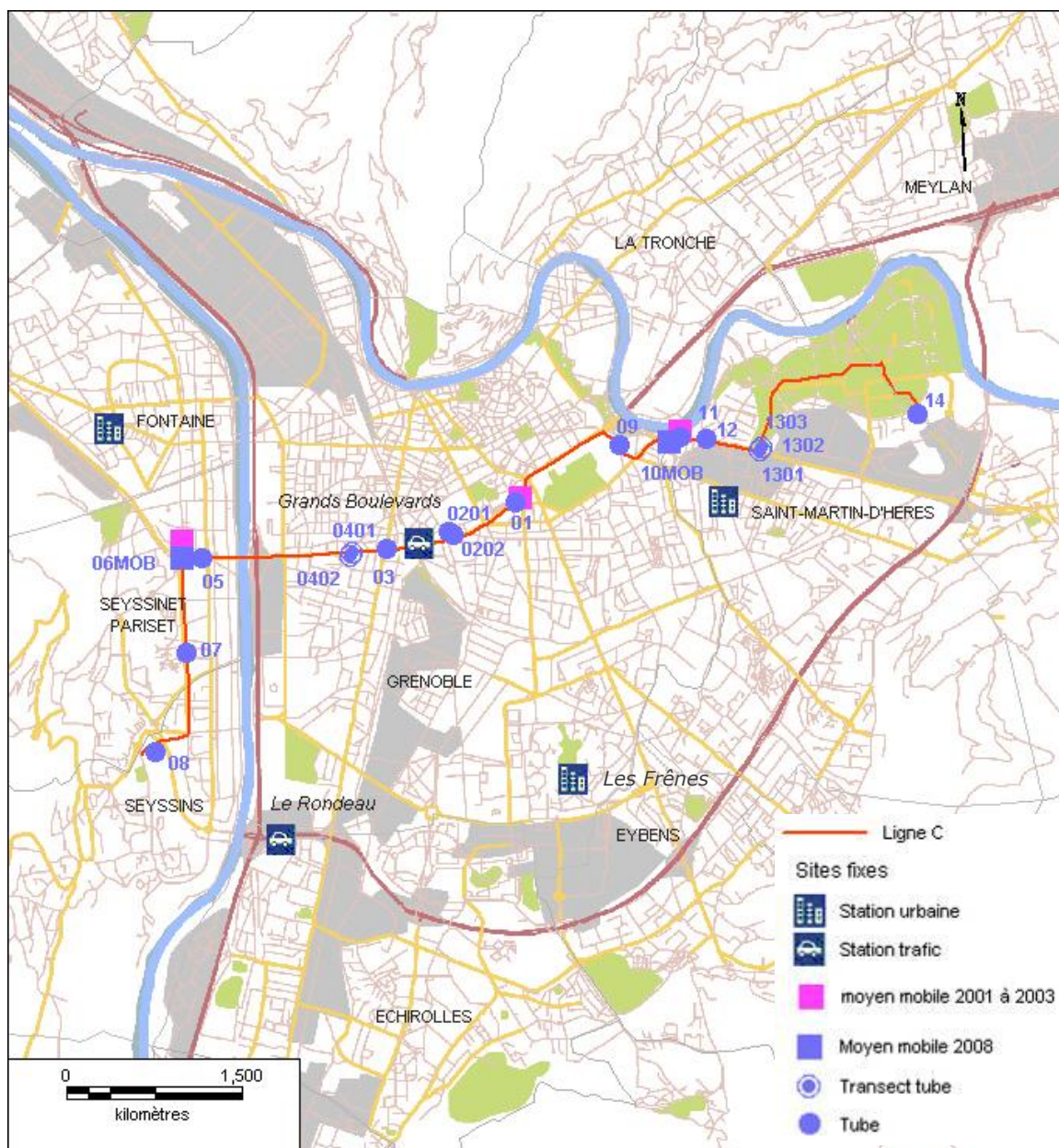
La zone d'étude bénéficie également pour l'année 2008 de résultats modélisés et cartographiés de concentrations (modèle SIRANE) permettant de compléter les mesures réalisées sur le terrain. Ces données sont disponibles pour les concentrations moyennes annuelles de dioxyde d'azote.

¹ Redressement linéaire à partir des données des stations de référence (cf annexe 8)

² C annuelle = (Cété 2001+2*Cautomne 2002+Chiver 2003)/4

³ Celles-ci produisent des données en continu au pas de temps horaire

Localisation des sites de mesures le long de la ligne C



Localisation des sites d'étude et des sites fixes de surveillance
(fond et proximité automobile) de l'ASCOPARG.

Cartes réalisées à partir :

- Données ASCOPARG 2001-03-2008
- BD carto IGN, 2003
- Magellan géomatique 1999

n° site	Nom de Sites	n° site	Nom de Sites
1	Hôtel Mercure bd M. Joffre	8	PR Tram C Seyssinet
201	Caisse Epargne Championnet	9	Stade des Alpes Av. Valmy
202	Pluralis Bd M.Foch	10MOB	Métro Gabriel Péri SMH
3	Autopont Bd M.Foch	11	Gabriel Péri SMH
401	Phcie des Eaux Claires J. Vallier	12	Snack pizzeria Péri
402	8 à 8 Bd J. Vallier	1301	Géant Péri T1
5	Mairie Bd Frères Desaire	1302	Campus T2
06MOB	Bd Frères Desaire Seyssinet	1303	Campus T3
7	Victor Hugo Seyssinet	14	Terminus Tram C SMH

Stations de référence (cf carte précédente)

La qualité de l'air de l'agglomération de Grenoble est suivie en permanence par des stations fixes¹ dont le comportement des polluants est bien connu. Plusieurs stations et notamment celle de Grenoble Boulevard ont servi de référence dans le cadre de cette étude.

Les 3 stations urbaines (Fontaine les Balmes, Grenoble les Frênes, Saint-Martin d'Hères) permettent de caractériser la pollution urbaine de fond. **La moyenne annuelle de la pollution de fond de l'agglomération grenobloise utilisée par la suite dans le présent document a été calculée sur la base de ces 3 stations.**

Les 2 stations de proximité automobile (Le Rondeau et Grenoble Boulevards) permettent de caractériser l'impact du trafic automobile sur la qualité de l'air de deux grands axes routiers de l'agglomération : l'intersection entre l'A480 et la Rocade Sud pour la station du Rondeau et les grands boulevards (Boulevard Foch) pour la station « Grands Boulevards ».

Les résultats de mesures sont également comparés aux niveaux de fond périurbain (moyenne des 3 stations de l'agglomération) et ruraux (station rurale régionale de Charavines).

2. Les niveaux de NO₂ et de benzène mesurés sur la zone d'étude

Variation des concentrations de NO₂ le long du tracé de la ligne C

Afin d'observer la qualité de l'air le long du tracé et à proximité, des mesures de dioxyde d'azote et de benzène par tube à diffusion passive² ont été réalisées. Elles ont été complétées ensuite pour le NO₂, par les résultats de modélisation³ qui apportent une information sur la variation spatiale des niveaux.

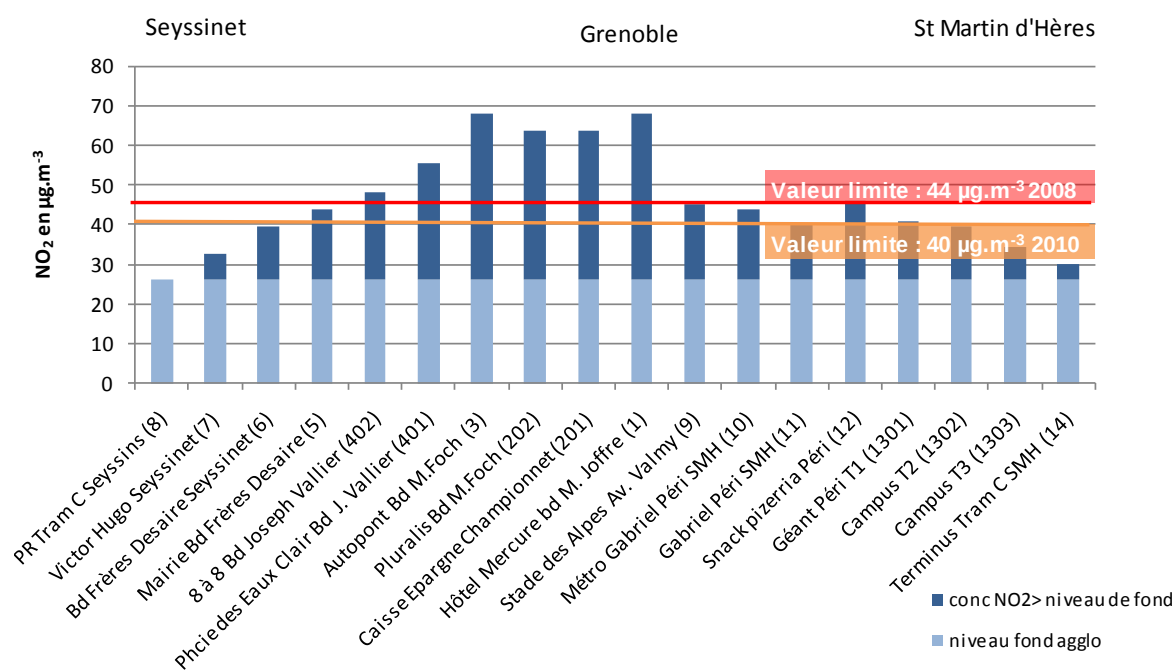
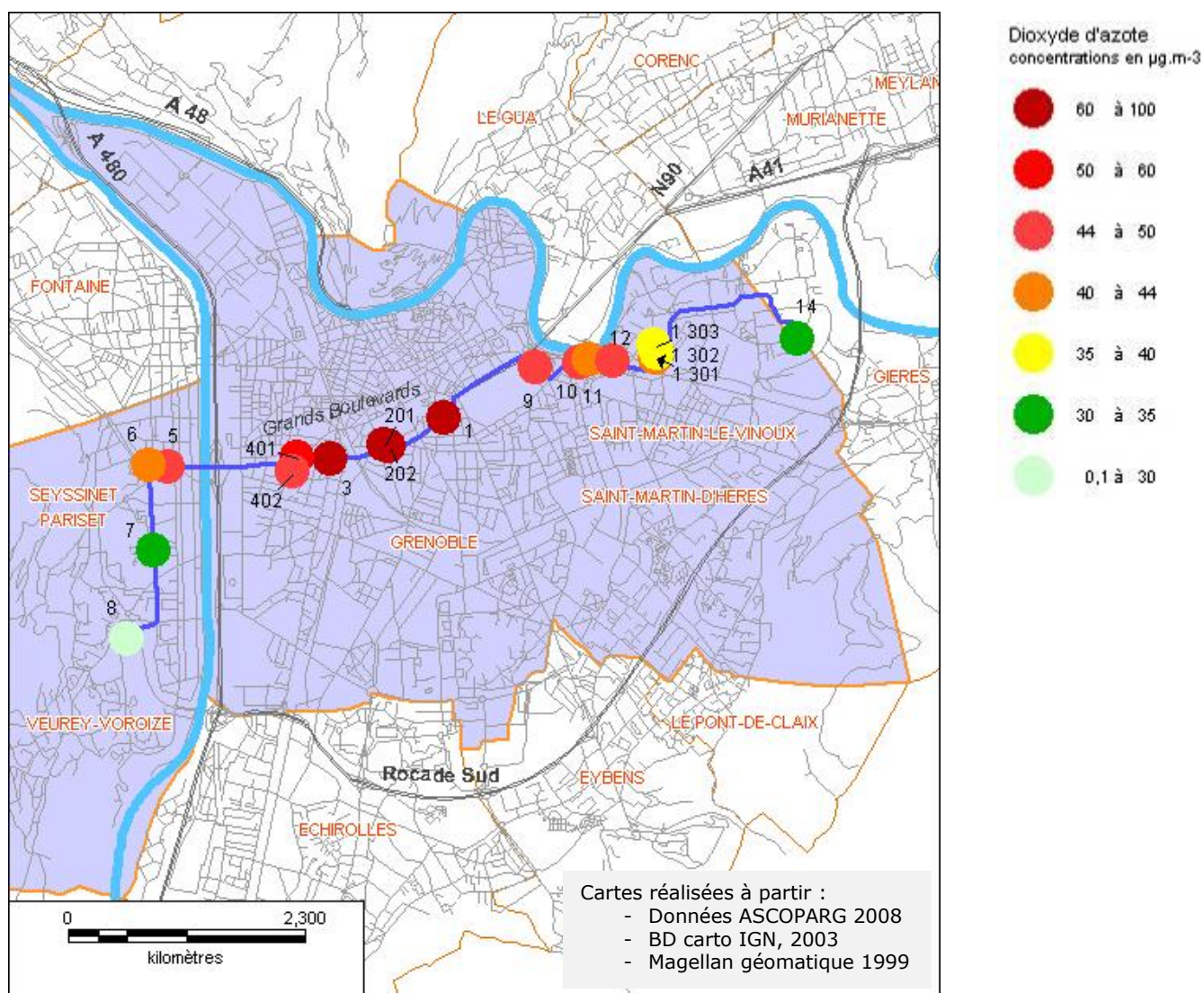
Les figures suivantes illustrent les concentrations moyennes annuelles de dioxydes d'azotes mesurées sur chaque site en 2008.

¹ Se référer à l'annexe 3

² Cf. présentation des sites de mesures

³ Concentrations moyennes de NO₂ estimées par le modèle SIRANE pour l'année 2008

Mesures de NO₂ sur le tracé de la ligne C en 2008

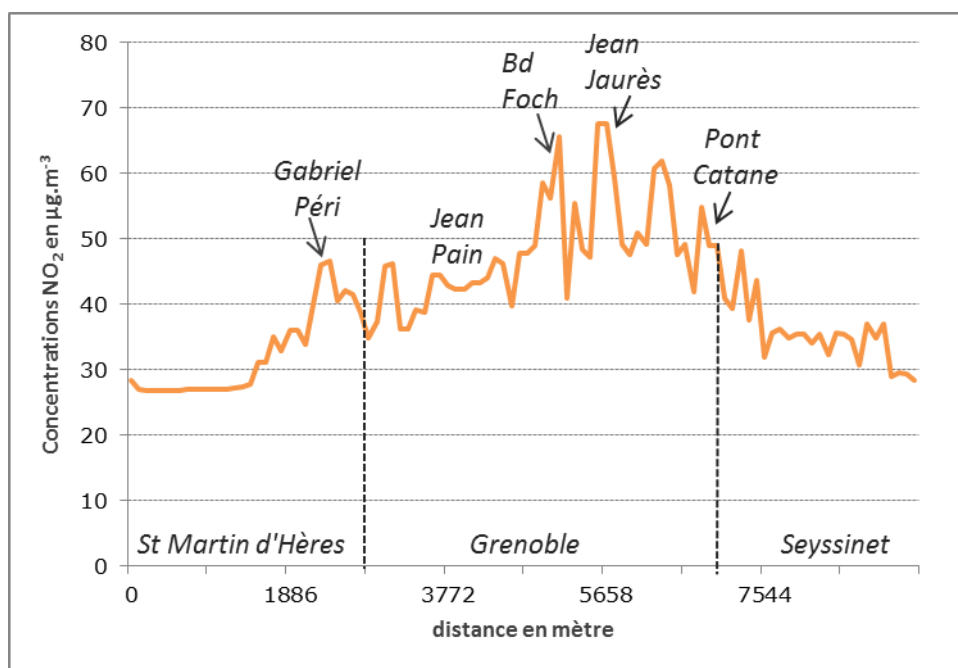


Concentrations moyennes annuelles de dioxyde d'azote le long de la ligne C

Des niveaux importants de dioxyde d'azote (supérieurs au seuil de $40 \mu\text{g.m}^{-3}$) sont observés dans le secteur des grands Boulevards (point 1 à 3) et notamment sur le segment reliant la place Pasteur (Bd M. Joffre) à l'ancien autopont (intersection Bd. Foch /crs J. Jaurès). Il n'apparaît pas de différences entre les concentrations de NO_2 mesurées des deux cotés de l'axe au niveau du boulevard Maréchal Foch (points 201 et 202) alors que les niveaux mesurés boulevard Joseph Vallier à proximité des eaux claires (points 401 et 402) sont plus élevés au sud de l'axe. Ces résultats peuvent s'expliquer par des conditions de dispersion différentes. La typologie du secteur (présences d'immeubles) est effectivement moins favorable à la dispersion du côté pair.

Des concentrations plus faibles sont observées le long de l'avenue Gabriel Péri à St Martin d'Hères et du boulevard des frères Dessaire à Seyssinet (niveaux compris entre le fond urbain et la proximité trafic). Toutefois ces résultats montrent également l'influence du trafic automobile sur la qualité de l'air à proximité de ces 2 axes avec des niveaux moyens de NO_2 souvent proches voir même supérieurs à la valeur limite de 2010 ($40 \mu\text{g.m}^{-3}$).

Les niveaux de NO_2 se rapprochent des niveaux de fond le long de l'avenue Victor Hugo sur la commune de Seyssinet/Seyssins et au niveau du campus à Saint-Martin d'Hères, ce qui met en évidence une plus faible influence du trafic automobile dans ce secteur.



Concentrations moyennes de dioxyde d'azote calculées sur le tracé de la ligne C à partir du modèle SIRANE (2008)

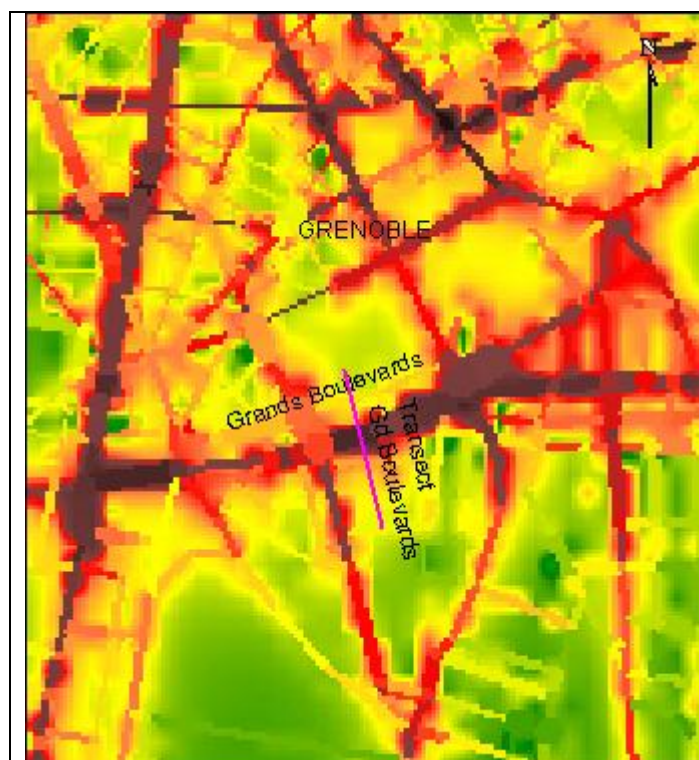
Les niveaux moyens de NO_2 calculés à partir du modèle SIRANE¹ sur l'ensemble du tracé de la ligne C confirment les résultats des mesures avec un profil sur le segment grenoblois souvent au dessus de la valeur limite de $40 \mu\text{g.m}^{-3}$.

Variation des concentrations de NO_2 de part et d'autre du tracé de la ligne C

Deux transects ont été réalisés à partir du modèle SIRANE : l'un sur le secteur des Grands Boulevards et l'autre sur celui de Saint-Martin d'Hères.

¹ Les niveaux de NO_2 sur le graphique correspondent aux concentrations simulées au centre de la voie

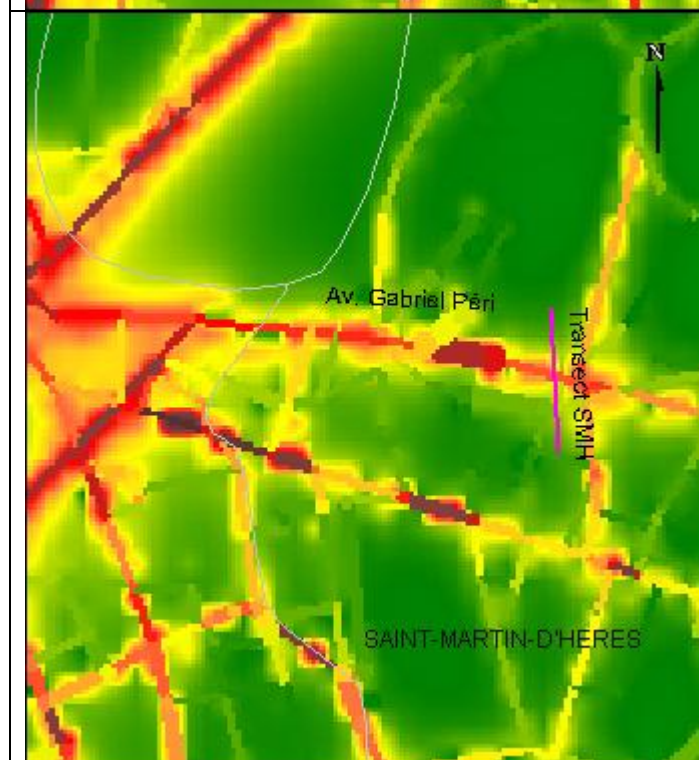
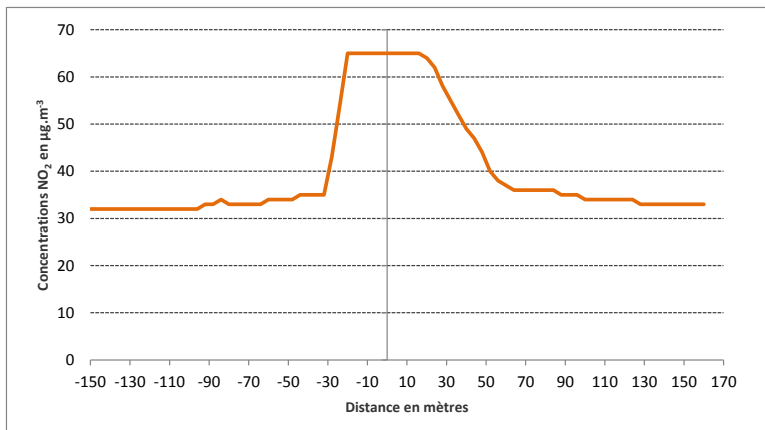
Evolution des niveaux de NO₂ de part et d'autre de la ligne C



Transect Grands Boulevards
(SIRANE 2008)

Nord

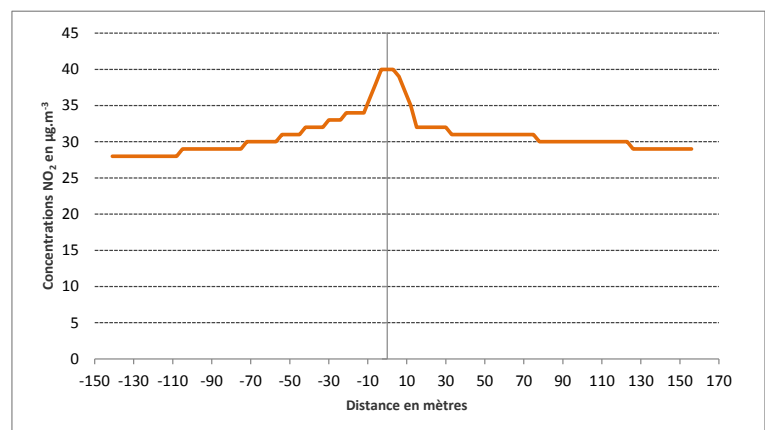
Sud



Transect Saint Martin d'Hères
(SIRANE 2008)

Nord

Sud



NO₂ µg/m³



Cartes réalisées à partir :

- Données de qualité de l'air ASCOPARG 2008
- Modèle SIRANE 2008

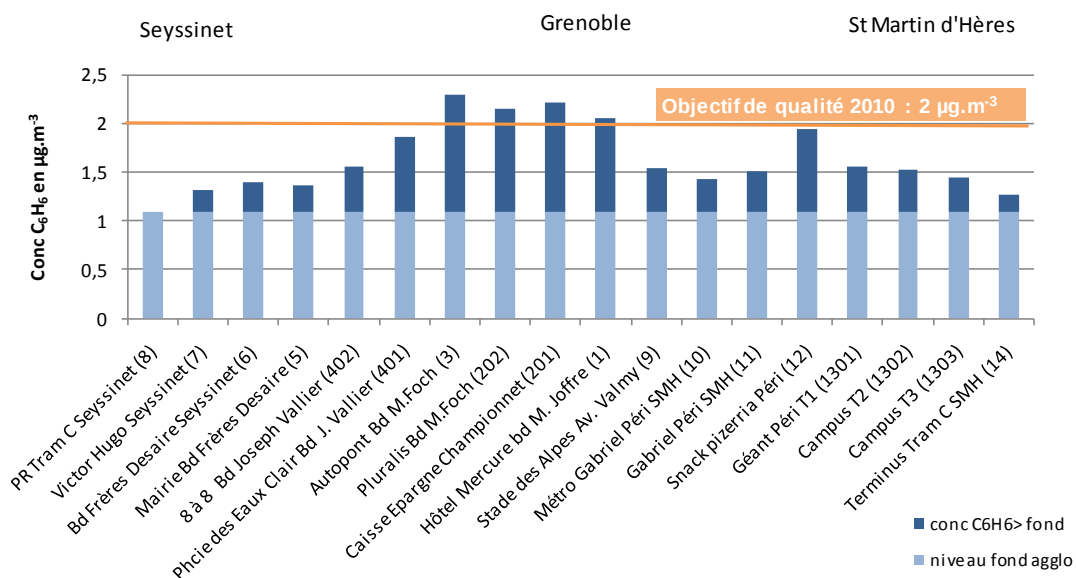
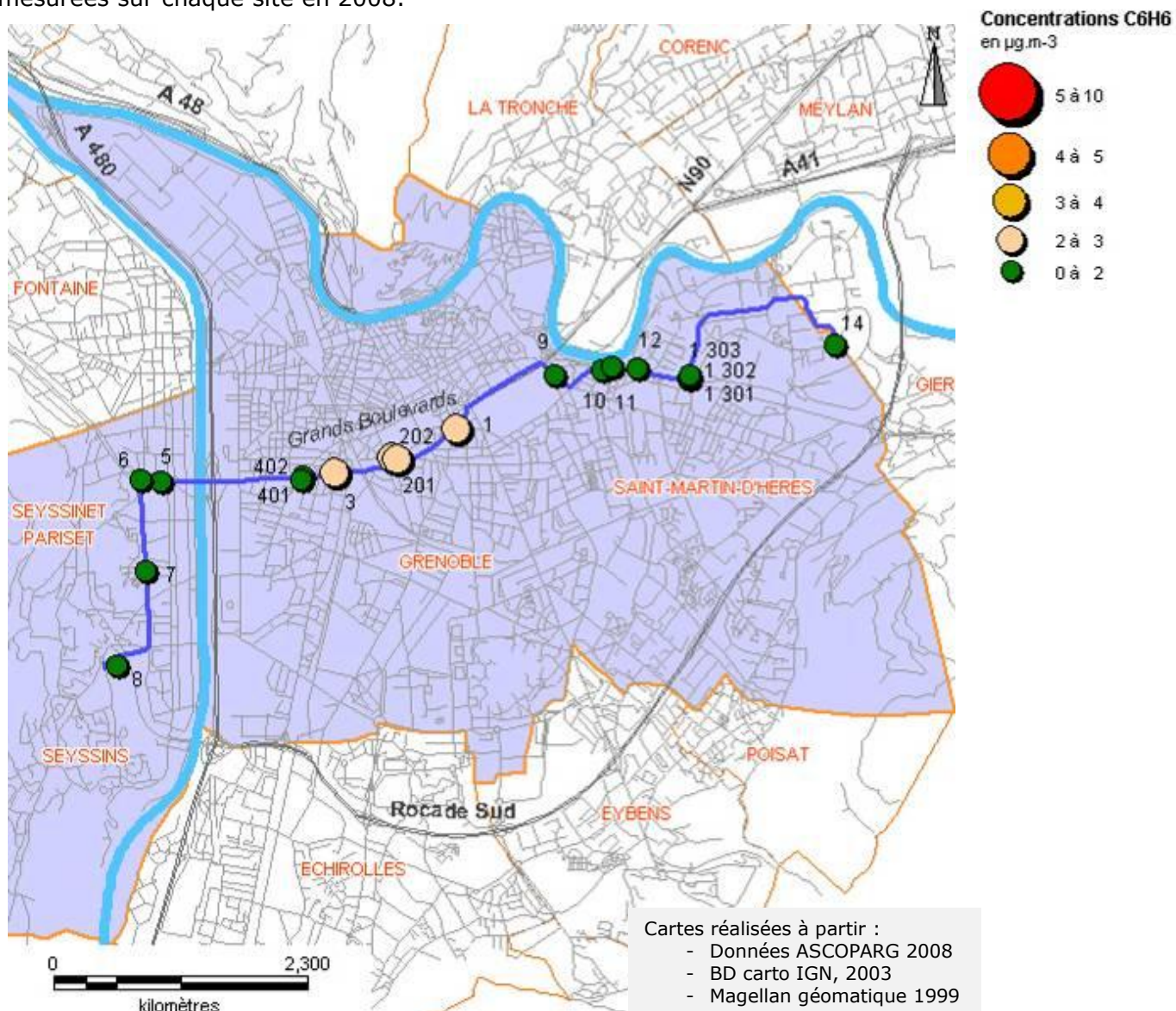
A proximité des Grands Boulevards, les concentrations de NO₂ sont encore supérieures au seuil réglementaire de 40 µg.m⁻³, à une distance qui varie, entre **30 et 50 mètres** selon le côté de l'axe considérée et selon le lieu considéré sur le boulevard. Dans ce type d'environnement la continuité et la hauteur du bâti (effet canyon) est défavorable à la dispersion des polluants.

Les habitations construites à moins de 30 mètres du centre de la voie sont donc soumises à des moyennes annuelles de NO₂ dépassant le seuil réglementaire.

Le transect réalisé a proximité de l'avenue Gabriel Péri au niveau du campus montre que les concentrations de NO₂ sont au départ plus faibles puis diminuent plus progressivement grâce à un bâti plus discontinu. Elles sont supérieures au seuil réglementaire de 40 µg.m⁻³ à une distance d'environ **10 mètres**, ce qui met en évidence une plus faible influence du trafic automobile dans ce secteur. Seules les habitations les plus proches de l'axe seront donc impactées par les dépassements de seuil.

Variation des concentrations de benzène le long du tracé de la ligne C

Les figures suivantes illustrent les concentrations moyennes annuelles de benzène mesurées sur chaque site en 2008.



Les concentrations de benzène mesurées sur le tracé de la ligne C sont modérées. Comme pour le NO₂, elles sont plus élevées lorsqu'on se dirige vers Grenoble. L'influence du trafic automobile sur les niveaux de benzène est bien présente mais modérée compte tenu des concentrations observées. **Particulièrement, les sites localisés le long des Grands Boulevards (Bd Maréchal Foch et Joffre) sont les plus influencés avec des niveaux qui sont supérieurs à l'objectif de qualité.**

Le site n°12 « Snack pizzeria » localisé avenue Gabriel Péri présente des concentrations plus élevées en comparaison aux autres sites de mesures situés sur cette portion du tracé. Ce phénomène, aussi observable pour le dioxyde d'azote, peut provenir de l'influence du carrefour (intersection avec la rue des taillés) à proximité du point de mesure.

Il est à noter également que la différence de concentration de benzène entre les sites est moins importante que pour le NO₂ (le trafic automobile représente environ 16% des émissions de COV dans l'agglomération grenobloise et 48% des émissions de NO_x).

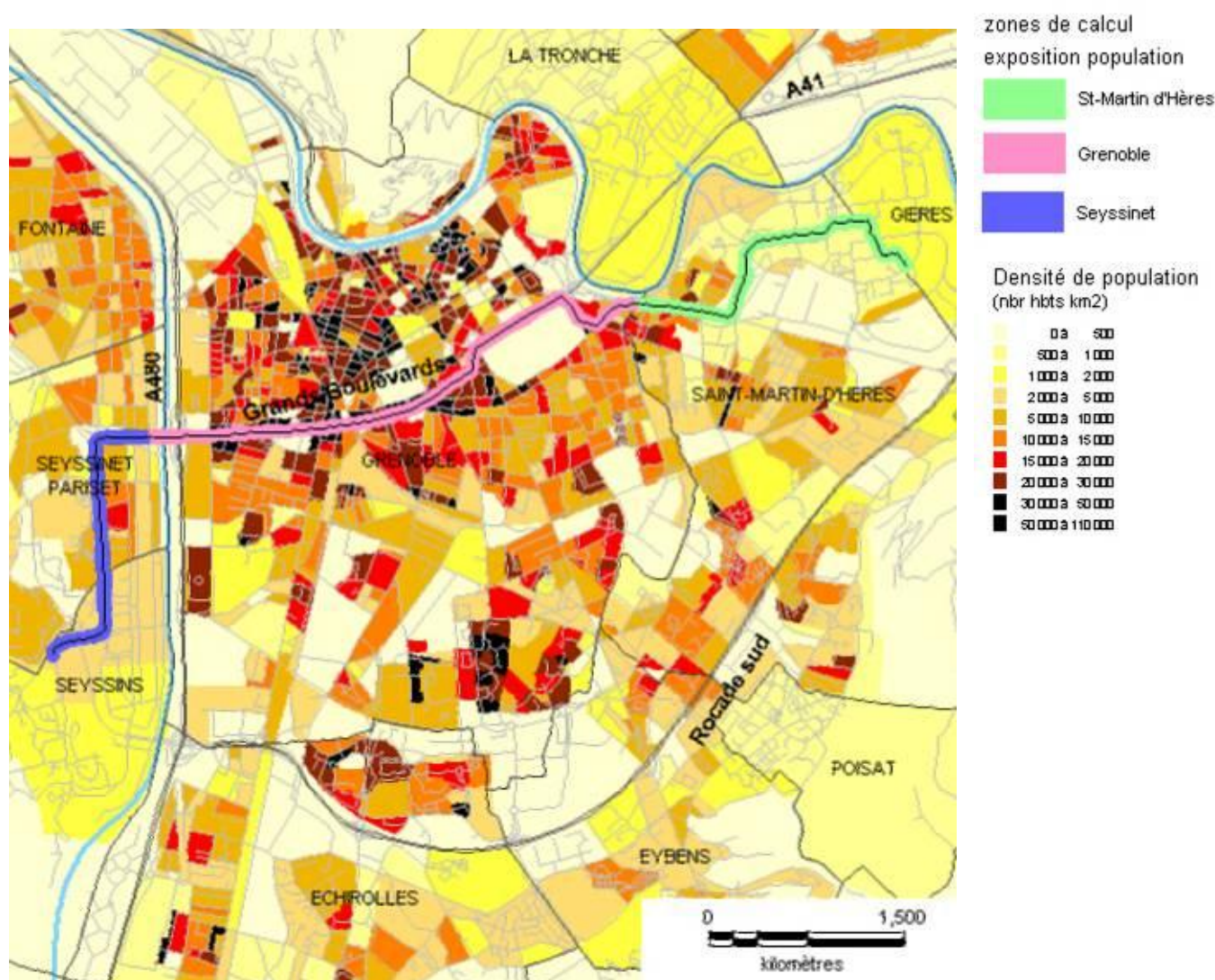
Sur tous les sites de l'étude, les niveaux restent bien inférieurs à la valeur limite pour la protection de la santé fixée à 5 µg.m⁻³ en 2010 et 7 µg.m⁻³ en 2008.

Calculs d'exposition de la population au NO₂ en proximité automobile

Le croisement des données de concentrations de NO₂ (modèle SIRANE) avec les données de population disponibles sur la zone d'étude¹ permet de calculer le pourcentage de population exposée à des concentrations supérieures à un seuil réglementaire.

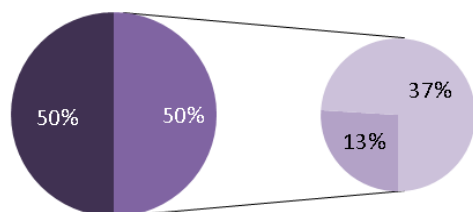
Le calcul a été réalisé sur une bande de 50 mètres² autour du tracé de la ligne C, correspondant approximativement à la zone d'influence de la voirie. Les résultats précédents mettent en évidence une plus forte pollution au NO₂ dans le secteur des grands boulevards en comparaison aux communes limitrophes. Par conséquent, les calculs ont également été présentés (bande de 50 mètres) sur les trois principales communes traversées par le tramway (Saint-Martin d'Hères, Grenoble, Seyssinets).

Présentation des zones pour le calcul de l'exposition moyenne de la population au NO₂ autour de la ligne C



¹ Données de NO₂ : Estimation des moyennes annuelles 2008 avec le modèle SIRANE ; Données de population : Recensement INSEE 1999.

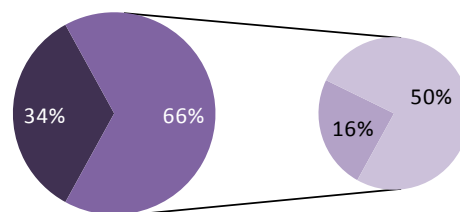
**Ligne C
Bande de 0 à 50 m**



■ CNO2 < 40 µg.m-3
 ■ 40 µg.m-3 < CNO2 < 44 µg.m-3
 ■ 44 µg.m-3 < CNO2

9400 habitants

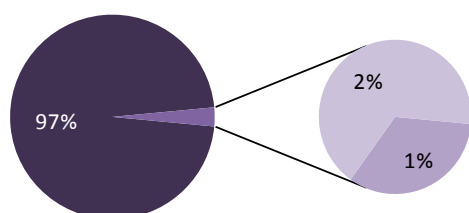
**Ligne C (Grenoble)
Bande de 0 à 50 m**



■ CNO2 < 40 µg.m-3
 ■ 40 µg.m-3 < CNO2 < 44 µg.m-3
 ■ 44 µg.m-3 < CNO2

6900 habitants

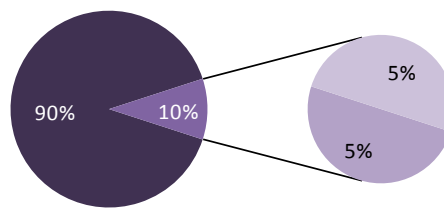
**Ligne C (Seyssinet)
Bande de 0 à 50 m**



■ CNO2 < 40 µg.m-3
 ■ 40 µg.m-3 < CNO2 < 44 µg.m-3
 ■ 44 µg.m-3 < CNO2

1250 habitants

**Ligne C (St Martin d'Hères)
Bande de 0 à 50 m**



■ CNO2 < 40 µg.m-3
 ■ 40 µg.m-3 < CNO2 < 44 µg.m-3
 ■ 44 µg.m-3 < CNO2

1250 habitants

Les résultats de ces calculs montrent que parmi les 9400 personnes habitant dans la zone d'influence autour de la ligne C (à moins de 50 m), environ la moitié (50% soit 4700 personnes) est exposée à des concentrations de dioxyde d'azote supérieures à l'objectif de qualité de 2010 (40 µg.m⁻³). Parmi ces personnes, environ 40% (soit 3500 personnes) sont exposées à des concentrations supérieures à la valeur limite de 2008 (44 µg.m⁻³). Ces personnes exposées sont localisées majoritairement sur la portion du tracé de la ligne C qui traverse Grenoble où la densité de population et le trafic est important. En effet, le pourcentage de population potentiellement exposé à des concentrations supérieures à l'objectif de qualité dans ce secteur est égal à 66% (soit 4500 personnes), dont 50% sont exposées à des concentrations supérieures à la valeur limite de 2008 (44 µg.m⁻³). En revanche sur le secteur de St-Martin d'Hères et de Seyssinet-Seyssins, cette proportion est beaucoup plus faible, égale à seulement respectivement 10% et 3%.

Bien que les niveaux de pollution soient moins importants lorsqu'on s'éloigne de Grenoble, ces résultats montrent ainsi qu'il convient d'être prudent sur les futurs projets d'urbanisme à l'intérieur des secteurs de Saint-Martin d'Hères et de Seyssinet. En effet toute urbanisation en proximité de voirie sera susceptible d'exposer de nouvelles populations à un air non-conforme à la réglementation française et européenne. Il est par conséquent important de prendre en compte, par exemple, les recommandations issues des études préalables sur le projet de tram E afin de ne pas exposer de nouvelles populations ¹ au dépassement de valeurs réglementaires.

¹ Cf rapport projet de requalification de la ligne de bus 3 en ligne de tram E : <http://www.atmo-rhonealpes.org>

3. Les oxydes d'azotes (NOx)

Le terme oxydes d'azote (NOx) désigne le monoxyde d'azote (NO) et l'ensemble des composés issus de l'oxydation du NO, dont principalement le dioxyde d'azote (NO₂).

Le monoxyde d'azote (NO) est émis lors des combustions de carburants et plus généralement de combustibles fossiles. En effet, le NO est issu de la combinaison à haute température de l'oxygène et de l'azote de l'air ($N_2 + O_2 \rightarrow 2 NO$).

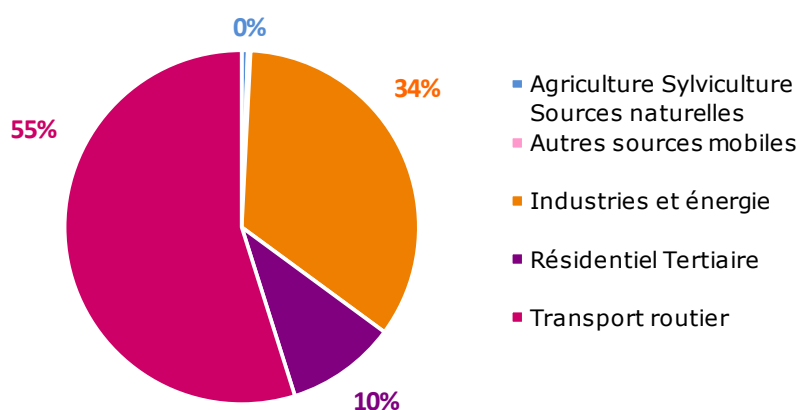
Dans l'air, une partie du NO se recombine très rapidement (quelques secondes à quelques minutes) pour former du NO₂.

Les émissions de NOx dans l'agglomération grenobloise

-Sur l'agglomération grenobloise

Comme le montre la figure suivante, plus de la moitié environ des émissions de NOx (55%) sur l'agglomération grenobloise est due au transport routier. Le secteur industriel représente la deuxième source d'émission majoritaire avec 41% des émissions.

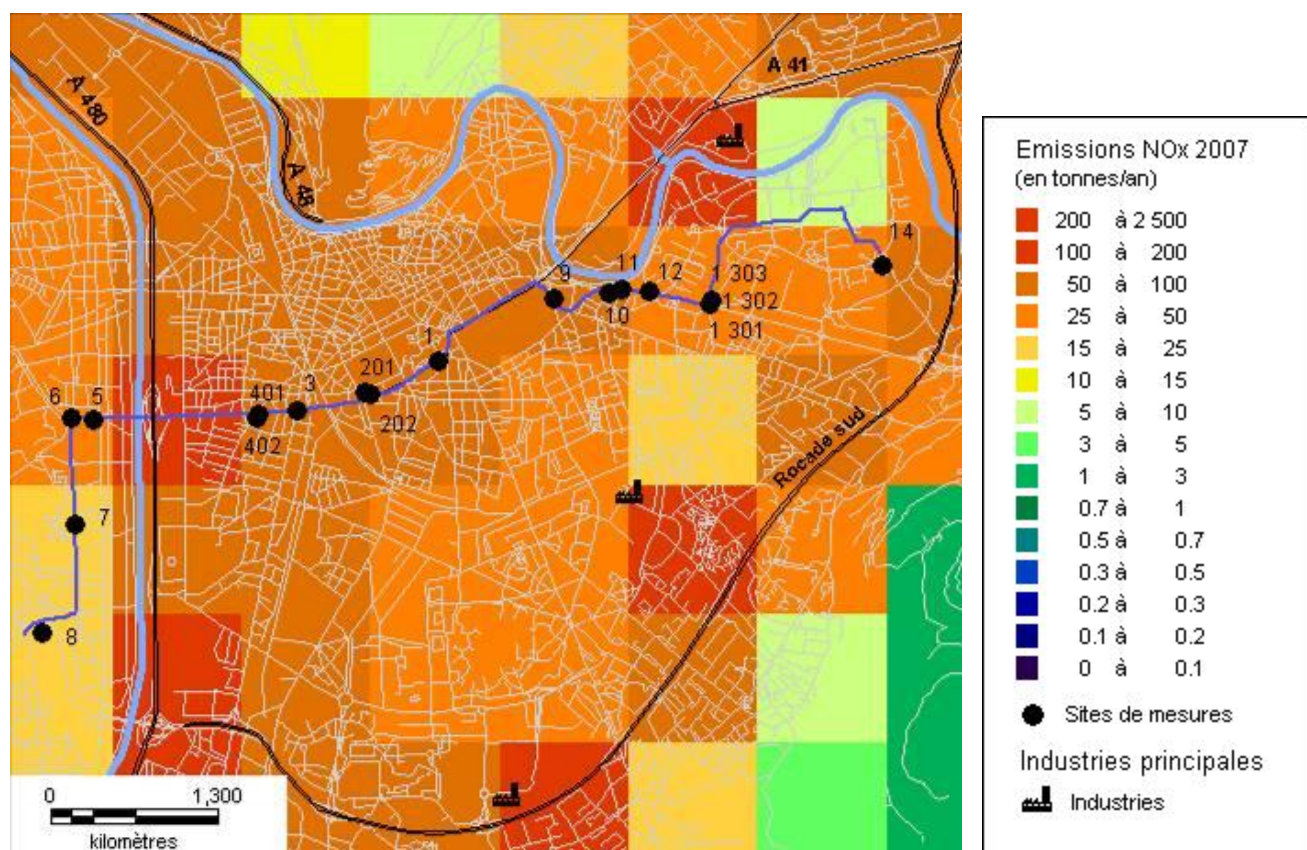
La mesure des NOx peut donc être considérée comme un bon traceur de la pollution automobile.



Répartition des émissions d'oxydes d'azote (NOx) dans l'agglomération grenobloise (METRO 26 communes), Sources : cadastre ASCOPARG émissions 2007 (version 2010-1)

-Sur la zone d'étude

La cartographie suivante présente les émissions de NOx en 2007 (tonnes/an) autour de la ligne C.



Cadastre des émissions de NOx (ASCOPARG, émissions 2007 version 2010-1).

Sur la zone d'étude, les NOx sont majoritairement émis par le trafic routier en raison de la présence des Grands Boulevards et de l'A480. Les émissions sont denses sur tout le centre ville de Grenoble et apparaissent plus élevées sur la partie du tracé située entre le boulevard Jean Pain et le pont de Catane en lien avec la densité de population et du trafic. Les grands nœuds routiers sont également très visible (Catane, Le Rondeau, La Carronnerie à Meylan) ainsi que les sources industrielles de Grenoble « intra rocade » (les 2 chaufferies urbaines et l'UIOM de La Tronche).

Pour autant, l'importance des émissions sur les grands boulevards ne semble pas expliquer les différences observées sur les concentrations qui sont les plus élevées dans ce secteur. La configuration du bâti (effet canyon) a certainement un effet très défavorable dans ce secteur.

Niveaux mesurés en 2008 et situation vis-à-vis de la réglementation

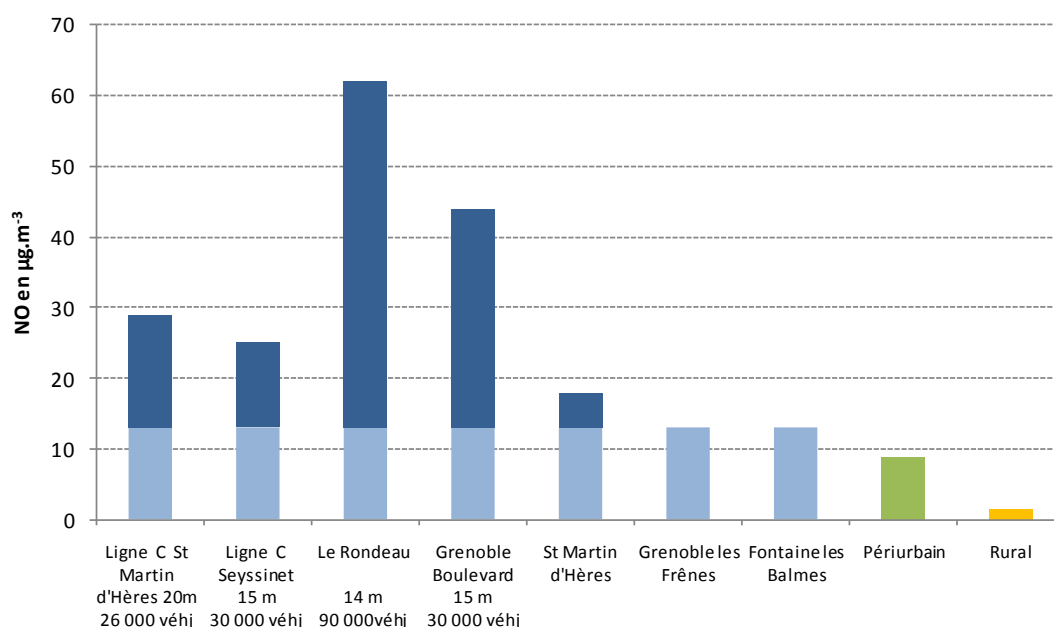
- Monoxyde d'azote (NO)

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

Estimation de la moyenne annuelle (exposition chronique)

L'estimation de la moyenne annuelle est calculée sur la base de la moyenne des 4 campagnes de mesures (8 semaines).

Le graphique et le tableau suivant illustrent la concentration moyenne annuelle de NO mesurée sur le site d'étude avec les concentrations moyennes annuelles mesurées sur les sites fixes de l'ASCOPARG. Les distances sur le graphique sont présentées par rapport au centre de la voie.



Comparaison de la concentration moyenne annuelle de NO sur le site d'étude avec les moyennes annuelles mesurées sur les sites fixes de l'ASCOPARG

Site	St Martin d'Hères	Seyssinet Pariset	Rondeau	Grenoble Boulevard	St-Martin d'Hères	Grenoble les Frênes	Fontaine les Balmes	Moyenne des sites	Charavines
Typologie	Ligne C - étude	Ligne C - étude	Trafic	Trafic	Urbain	Urbain	Urbain	Périurbain	Rural
Moyenne annuelle NO	29	25	62	44	18	11	10	9	2

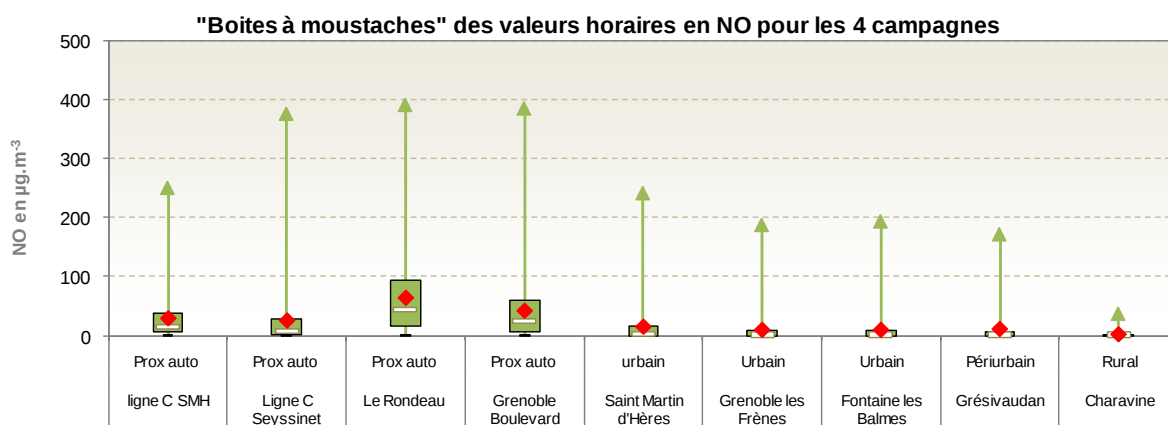
Sur les deux sites d'étude, St-Martin d'Hères et Seyssinet-Pariset les résultats des mesures confirment l'influence du trafic automobile avec des niveaux moyens de NO environ deux à trois fois supérieurs aux concentrations de fond de l'agglomération grenobloise¹. Les niveaux sont toutefois inférieurs à ceux mesurés sur les autres sites de proximité automobile malgré un trafic quasi-équivalent (30 000 veh/j) à celui observé à Grenoble Boulevard. Ces résultats peuvent s'expliquer par la configuration des sites (rues assez large et dégagée) qui apparaît plus favorable à la

¹ La moyenne annuelle de la pollution de fond de l'agglomération grenobloise (10 µg.m⁻³ approximativement en l'absence d'influence directe du trafic automobile) est calculée sur la base des trois stations (Grenoble les Frênes, Fontaine les Balmes et Saint-Martin d'Hères)

dispersion des polluants que sur les Grands Boulevards où la densité de population est importante.

Etude des valeurs horaires (exposition aigüe)

Le graphe suivant représente les statistiques horaires en NO pour les 4 campagnes de mesures sous forme de « boîtes à moustaches » (cf. explications en Annexe 4)



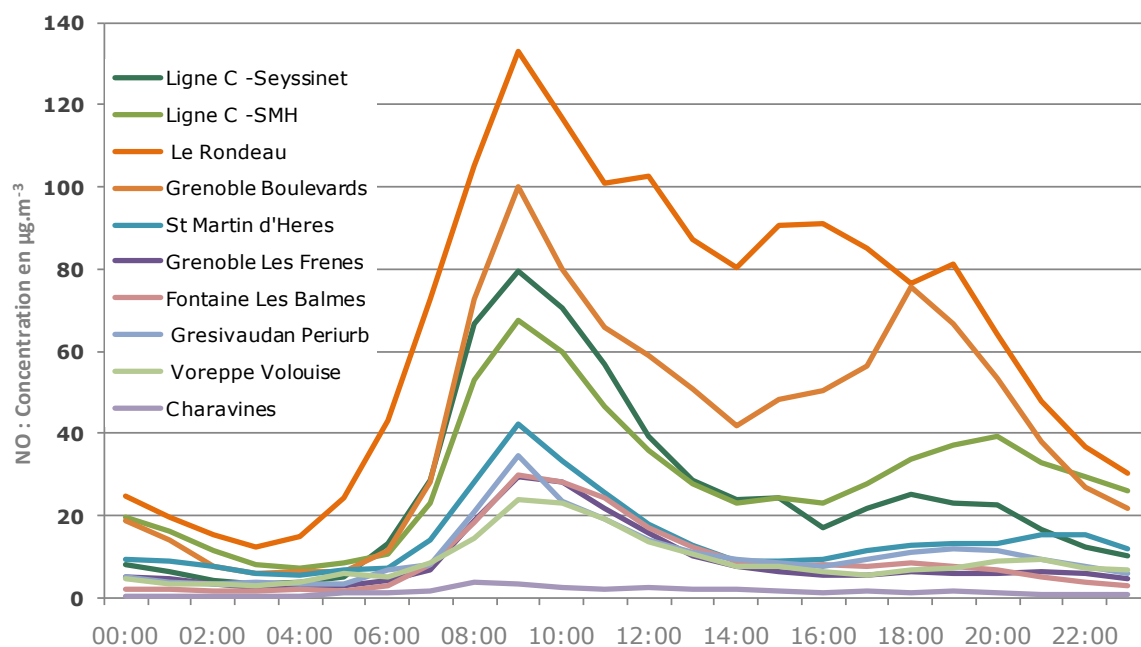
Le maximum horaire observé pour le NO lors des 4 campagnes de mesures sur le site d'étude de Seyssinet est comparable à celui des deux sites de référence en proximité automobile. En revanche la valeur maximale observée sur le site de Saint-Martin d'Hères est plus faible. Cette différence peut s'expliquer par la distance du point de mesures par rapport au trafic (environ 10 mètres).¹

Site	ligne C SMH	Ligne C Seyssinet	Le Rondeau	Grenoble Boulevard	Saint Martin d'Hères	Grenoble les Frênes	Fontaine les Balmes	Grésivaudan	Charavine
Typologie	Prox Trafic	Prox Trafic	Trafic	Trafic	urbain	urbain	urbain	Périurbain	Rural
Statistiques Horaires pour le NO sur les 4 campagnes									
moyenne	29	25	64	42	14	9	9	10	1
minimum H	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P25 H	6	1	17	7	0	0	0	0	0
P50 H	15	7	43	25	3	1	1	1	1
P75 H	37	29	94	59	15	8	9	7	1
P98 H	149	162	243	195	104	78	74	92	9
maximum H	251	377	392	386	242	188	194	172	37

¹ Les concentrations de monoxyde d'azote, émises directement par les moteurs des véhicules (polluant primaire) sont plus importantes au niveau de la source d'émission

Etude du profil moyen journalier

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 dans la journée comme le montre le graphique suivant :



Profil moyen horaire du NO sur les sites d'étude et les stations fixes de l'agglomération grenobloise

L'évolution journalière des concentrations en NO met en évidence les pointes notamment du début de matinée (07h-09h) liées aux déplacements pendulaires domicile-travail, donc plus importantes en zone de proximité automobile. Les pointes en fin de journée sont un peu moins marquées car a priori plus étalées dans le temps. La nuit, avec la diminution générale du trafic, les niveaux de NO sont assez homogènes ($\sim 10\text{-}30 \mu\text{g.m}^{-3}$) sur l'ensemble de l'agglomération.

Les concentrations de NO sont plus élevées sur les sites de proximité automobile. L'écart de concentration de NO entre les sites de mesures peut s'expliquer notamment par l'intensité du trafic à proximité mais également par rapport à la configuration du site (favorable ou non à la dispersion) et à la distance par rapport à la route.

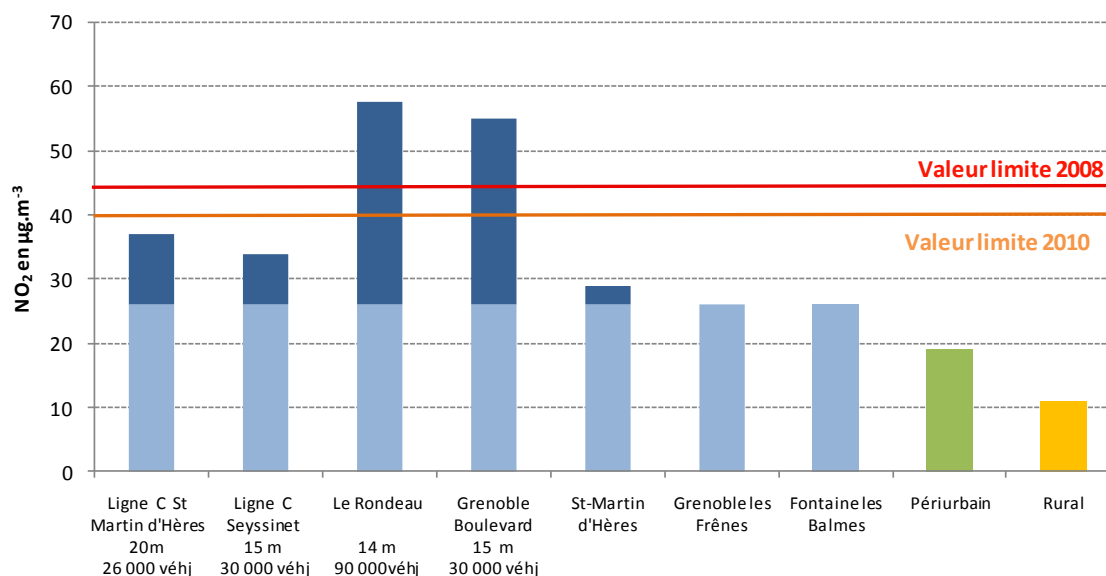
Ces résultats confirment l'influence du trafic automobile sur les 2 sites d'études.

- Dioxyde d'azote (NO₂)

La réglementation fixe pour le dioxyde d'azote une **valeur limite pour la protection de la santé** qui devra correspondre au seuil de 40 µg.m⁻³ défini pour l'objectif de qualité en 2010. Avant cette date, des marges de dépassement de la valeur limite sont autorisées (44 µg.m⁻³ en 2008)¹.

Estimation de la moyenne annuelle (exposition aigüe)

Le graphique et le tableau suivants comparent la concentration moyenne annuelle de dioxyde d'azote estimée sur les sites d'étude avec celles des stations fixes.



Comparaison des concentrations moyennes annuelles de NO₂ sur les sites d'étude et sur les sites fixes de l'ASCOPARG

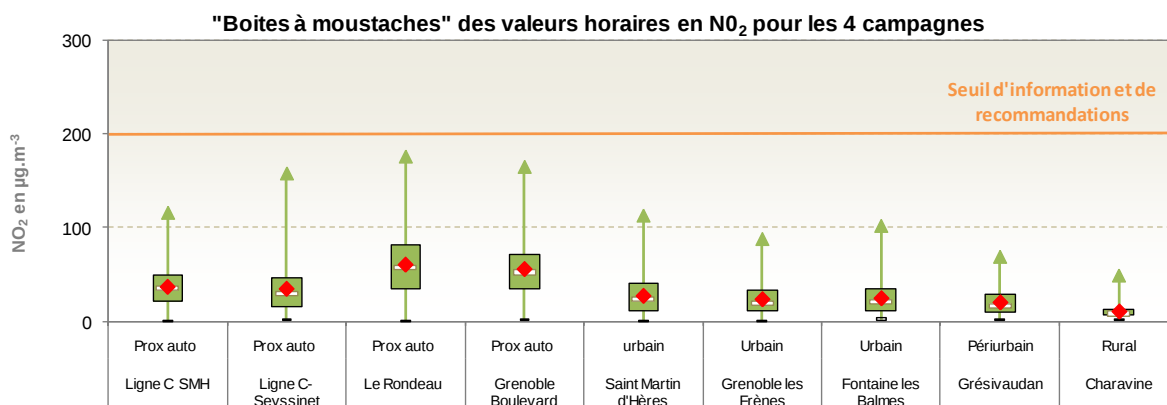
Site	St Martin d'Hères	Seyssinet Pariset	Le Rondeau	Grenoble Boulevard	St-Martin d'Hères	Grenoble les Frênes	Fontaine les Balmes	Moyenne des sites	Charavines
Typologie	Ligne C - étude		Trafic	Trafic	Urbain	Urbain	Urbain	Périurbain	Rural
Moyenne annuelle NO ₂	37	34	58	55	29	24	26	19	11

Les niveaux moyens de NO₂ observés sur les sites d'étude (point n°6 et 10) se situent entre le fond urbain et la proximité trafic. Ces derniers respectent la valeur limite 2008 (44 µg.m⁻³) et l'objectif de qualité (40 µg.m⁻³), qui est également la valeur limite à respecter en 2010. En revanche, les sites de proximité automobile du Rondeau et des Grands Boulevards, ne respectent pas ces valeurs réglementaires comme la plupart des sites de proximité automobile en Rhône-Alpes. **Les niveaux sur le site de Grenoble Boulevard sont quasi-équivalents à ceux de la station du Rondeau malgré le fait que le trafic à proximité de celui-ci est trois fois moins important que celui observé à proximité du Rondeau (30 000 veh/j contre 90 000 veh/j).** Les niveaux élevés sur ce site s'expliquent probablement par l'effet « canyon » (hauteur des bâtiments importante par rapport à la largeur de la rue) qui ne favorise pas la dispersion des polluants.

¹ Se référer à l'Annexe 5

Etude des valeurs horaires (exposition aigüe)

Le graphe suivant représente les statistiques horaires en NO₂ pour les 4 campagnes de mesures sous forme de « boîtes à moustaches » (cf. explications en Annexe 4)



Le maximum horaire observé lors des 4 campagnes de mesures sur le site d'étude de Seyssinet est proche de celui observé sur la station de proximité automobile de Grenoble Boulevard. Comme pour le NO, la valeur maximale mesurée sur le site de Saint-Martin d'Hères lors des 4 campagnes est plus faible, comprise entre le maximum enregistré sur les sites de référence trafic et celui mesuré sur les sites de fond urbain de l'agglomération grenobloise. Comme il a été précisé auparavant, ces résultats peuvent s'expliquer notamment par la position du site de mesure de St Martin d'Hères, plus éloignée de la chaussée que celle du site de Seyssinet.

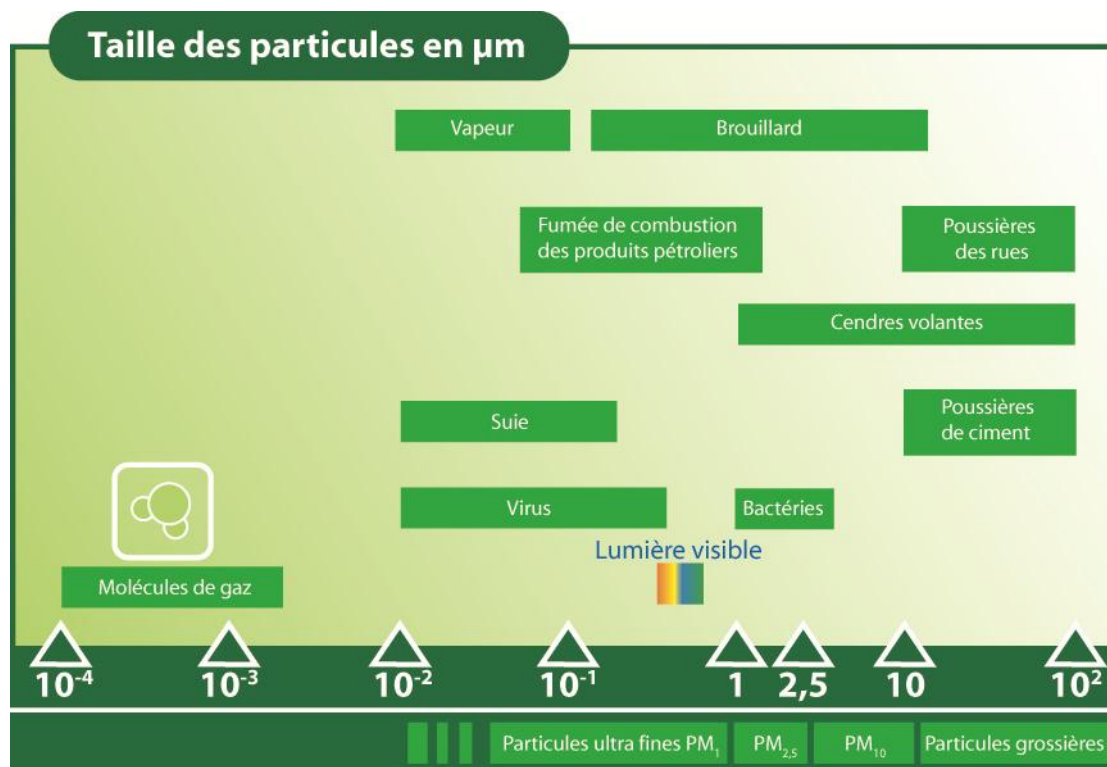
Sur l'ensemble de l'année, le site de proximité automobile « Grenoble Boulevard » enregistre un maximum horaire (218 µg.m⁻³) qui dépasse le seuil d'information et de recommandations pour les personnes sensibles (200 µg.m⁻³ sur 1 h)¹. **Le site de Grenoble Boulevard a même dépassé quatre fois ce seuil d'information en 2008. Il existe donc un risque de dépassement de ce seuil pour le NO₂ sur le site « ligne C Seyssinet-Pariset » et plus généralement sur les zones de proximité des Grands Boulevards.**

Site	ligne C SMH	Ligne C Seyssinet	Le Rondeau	Grenoble Boulevard	Saint Martin d'Hères	Grenoble les Frères	Fontaine les Balmes	Grésivaudan	Charavine
Typologie	Prox Trafic	Prox Trafic	Trafic	Trafic	urbain	urbain	urbain	Périurbain	Rural
Statistiques Horaires pour le NO ₂ sur les 4 campagnes									
moyenne	37	34	60	55	27	23	25	20	11
minimum H	0	1	0	1	0	0	2	1	1
P25 H	22	16	35	35	11	11	11	9	6
P50 H	35	29	57	52	23	19	20	16	8
P75 H	49	46	82	71	40	33	35	28	13
P98 H	78	103	128	122	73	65	71	56	35
maximum H	116	158	176	165	113	88	102	69	49
Statistiques Horaires pour le NO ₂ sur l'année complète									
moyenne			58	55	29	24	26	20	11
P98 H			126	124	88	67	76	58	37
maximum H			187	218	181	113	120	91	64

¹ En 2008 quatre dépassements du seuil d'information ont été observés sur le site de Grenoble Boulevard

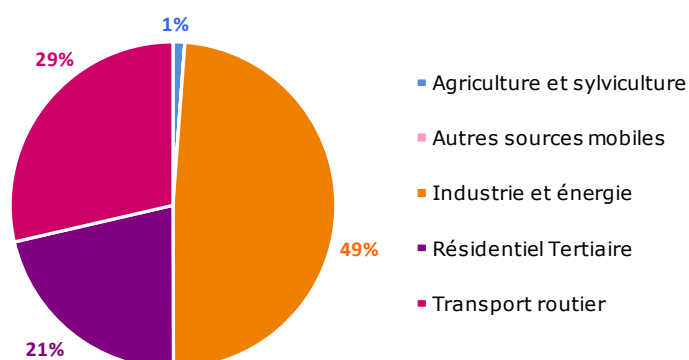
4. Les particules en suspension

Le terme PM₁₀ désigne l'ensemble des poussières en suspension de taille inférieure à 10 microns ou micromètres (10^{-6} m ou 0,0001 cm).



Echelle des différents diamètres des particules

Les émissions de PM₁₀ dans l'agglomération grenobloise



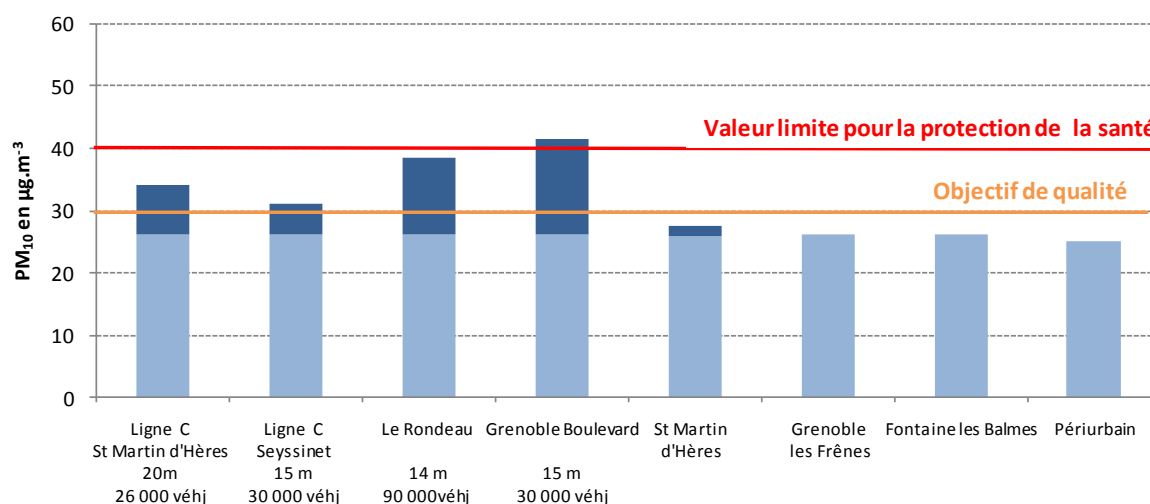
Répartition sectorielle des émissions de PM₁₀ dans l'agglomération grenobloise (METRO 26 communes, Sources : cadastre ASCOPARG émissions 2007 (version 2010-1))

Dans l'agglomération de Grenoble, le secteur **industriel** (en orange sur la figure) est le premier émetteur de poussières avec **49% des émissions de PM₁₀**. Le **transport routier** arrive juste derrière avec **29% des émissions**.

Niveaux mesurés et comparaison à la réglementation ¹

Parmi les **valeurs réglementaires**, les particules PM₁₀ font l'objet d'une **valeur limite pour la protection de la santé humaine en moyenne annuelle** fixée à 40 µg.m⁻³ et d'un **objectif de qualité** fixé à 30 µg.m⁻³.

Le graphique et le tableau suivant illustrent la concentration moyenne de particules en suspension (PM₁₀) sur les sites d'étude et les moyennes sur l'année 2008 pour les stations fixes. Sur le graphique, la partie inférieure (bleue claire) correspond au niveau moyen de fond de l'agglomération de Grenoble (26 µg.m⁻³ en 2008 sur les 3 stations urbaines de fond).



Comparaison des concentrations moyennes annuelles de PM₁₀ sur le site d'étude et sur les sites fixes de l'ASCOPARG (2008).

Site	St Martin d'Hères	Seyssinet Pariset	Le Rondeau	Grenoble Boulevard	St-Martin d'Hères	Grenoble les Frênes	Fontaine les Balms	Moyenne des sites
Typologie	Ligne C - étude		Trafic	Trafic	Urbain	Urbain	Urbain	Périurbain
Moyenne annuelle PM ₁₀	34	31	38	42	28	26	25	25

Comme pour les NOx, les niveaux moyens de poussières en suspension (PM₁₀) sur les sites d'étude se situent entre le fond urbain et la proximité automobile².

Les moyennes annuelles sur ces deux sites respectent la valeur limite annuelle (40 µg.m⁻³) mais pas l'objectif de qualité (30 µg.m⁻³).

Les concentrations les plus importantes ont été mesurées sur le site de Grenoble Boulevard (42 µg.m⁻³). Ce dernier dépasse la valeur limite pour la protection de la santé (40 µg.m⁻³).

Il faut souligner également que l'écart entre les niveaux mesurés sur les stations de proximité automobile et les stations de fond est plus faible que pour les autres polluants (NO, NO₂). En effet, le trafic automobile ne constitue pas le principal émetteur de PM₁₀ et la répartition des émissions de particules au niveau de Grenoble montre que ce secteur ne représente que 29% des émissions de PM₁₀ (cf. § précédent).

¹ Les mesures de particules prennent en compte depuis 2007 la fraction volatile et ont été ajustées avec la station de référence A7 Nord Isère

² Cf.annexe 8: Représentativité annuelle : pour une meilleure estimation de la moyenne annuelle, les moyennes de PM₁₀ ont été redressées sur le site d'étude (+3-4 µg.m⁻³)

Il existe également une **valeur limite pour la protection de la santé humaine** en moyenne journalière fixé à $50 \mu\text{g.m}^{-3}$, calculée sur la base du percentile 90,4 : la moyenne journalière ne doit pas dépasser $50 \mu\text{g.m}^{-3}$ plus de 35 jours par an.

Par ailleurs, les arrêtés préfectoraux de juillet 2006 fixent en Rhône-Alpes pour les PM_{10} un **seuil d'information et de recommandations** à $80 \mu\text{g.m}^{-3}$ en moyenne journalière et un **seuil d'alerte** à $125 \mu\text{g.m}^{-3}$ en moyenne journalière.¹

Le tableau suivant illustre les dépassements de seuils définis précédemment, observés sur les sites de l'agglomération grenobloise pendant l'année 2008 et respectivement pendant les 8 semaines de mesures du site d'étude.

Nombre de dépassement observés	Mesures Permanentes										Evaluation	
	Saint-Martin d'Hères		Grenoble les Frênes		Fontaine les Balmes		Le Rondeau		Grenoble Boulevard		Ligne C seyssinet	Ligne C SMH
	8 sem	Année	8 sem	Année	8 sem	Année	8 sem	Année	8 sem	Année	8 sem	8 sem
$50 \mu\text{g.m}^{-3}$ en moyenne journalière (valeur limite)	0	32	1	29	1	22	4	66	10	91	1	1
$80 \mu\text{g.m}^{-3}$ en moyenne journalière (seuil d'information)	0	7	0	4	0	1	0	12	1	25	0	0
$125 \mu\text{g.m}^{-3}$ en moyenne journalière (seuil d'alerte)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0

Statistiques journalières des PM_{10} sur les sites fixes de l'ASCOPARG et sur les sites d'étude sur l'année 2008 et pendant les 8 semaines de mesures de l'étude

Sur l'ensemble de l'année 2008, les sites de proximité automobile (Grenoble Boulevard et le Rondeau) ne sont pas conformes à la valeur limite pour la protection de la santé (plus de 35 jours avec une moyenne journalière supérieure ou égale à $50 \mu\text{g.m}^{-3}$).

Le seuil d'information et de recommandations pour les personnes sensibles ($80 \mu\text{g.m}^{-3}$ en moyenne journalière) est dépassé plusieurs fois dans l'année que ce soit en fond urbain ou en proximité trafic. **Le site de Grenoble Boulevard a même dépassé trois fois le seuil d'alerte ($125 \mu\text{g.m}^{-3}$ en moyenne journalière).**

Durant les quatre campagnes de mesures, les sites d'étude ont enregistré 1 dépassement de la valeur limite pour la protection de la santé en moyenne journalière (la réglementation autorise jusqu'à 35 dépassements par an). Ce nombre est équivalent à celui observé sur les sites de fond urbain qui par ailleurs respectent cette valeur limite sur l'ensemble de l'année 2008. **Par conséquent, le risque de dépassement de ce seuil sur l'ensemble de l'année 2008 pour les 2 sites d'étude (Seyssinet et Saint Martin d'Hères) de la ligne C peut-être considéré comme faible. Le risque est par contre élevé sur le tracé sur les sites se rapprochant du centre de Grenoble, dont les grands boulevards.**

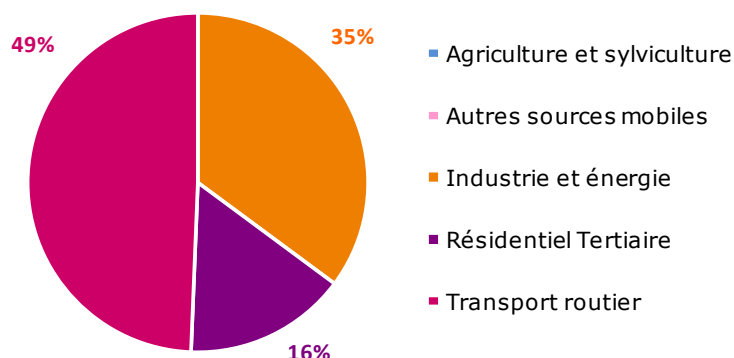
Aucun dépassement du seuil d'information et de recommandations en moyenne journalière n'a été enregistré sur ces sites durant les quatre campagnes de mesures.

¹ Dans le cadre du nouvel arrêté inter préfectoral n° 2011-004 du 5 janvier 2011, les seuils d'information et d'alerte ont été abaissés respectivement à $50 \mu\text{g.m}^{-3}$ et $80 \mu\text{g.m}^{-3}$ en moyenne journalière

5. Le monoxyde de carbone (CO)

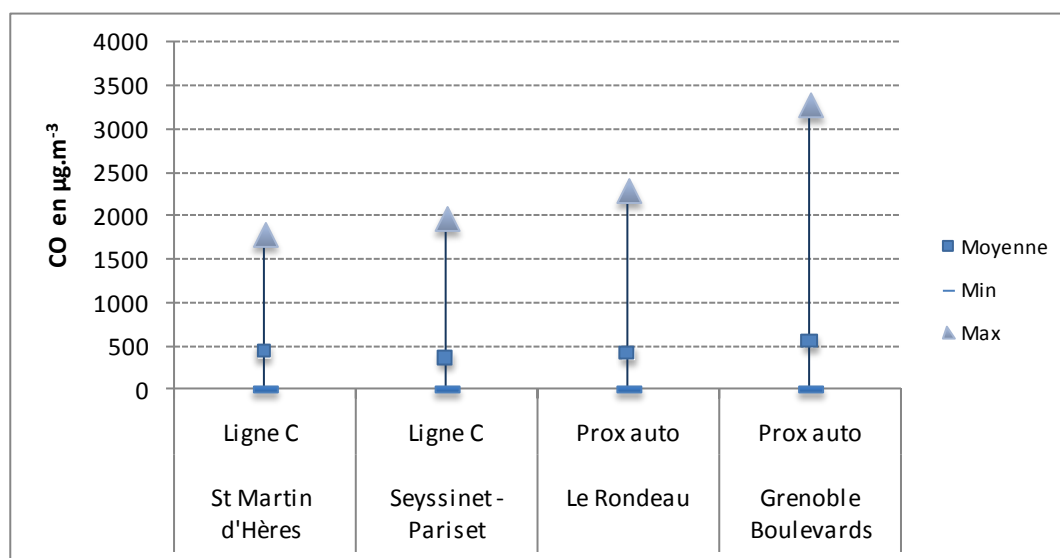
Les émissions de CO dans l'agglomération grenobloise

Dans l'agglomération de Grenoble, le transport routier est responsable de 49 % des émissions de monoxyde de carbone. L'industrie-énergie représente le 2^{ème} émetteur de CO avec 35 % des émissions totales de CO.



Répartition sectorielle des émissions de CO dans l'agglomération grenobloise (METRO 26 communes, sources : cadastre ASCOPARG émissions 2007 (version 2010-1))

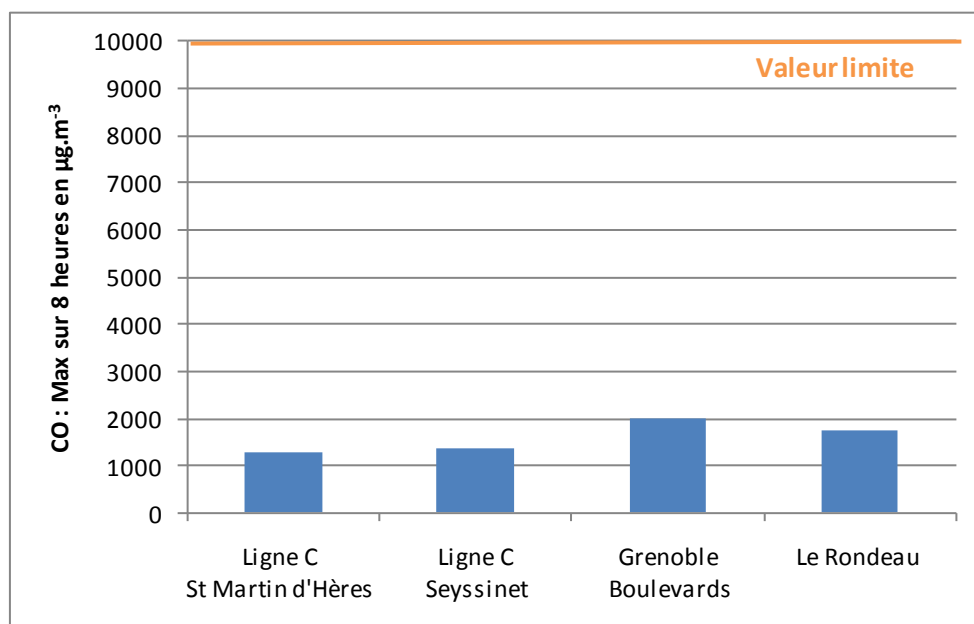
Niveaux mesurés et comparaison à la réglementation



Statistiques horaires des mesures de monoxyde de carbone (8 semaines de mesures)

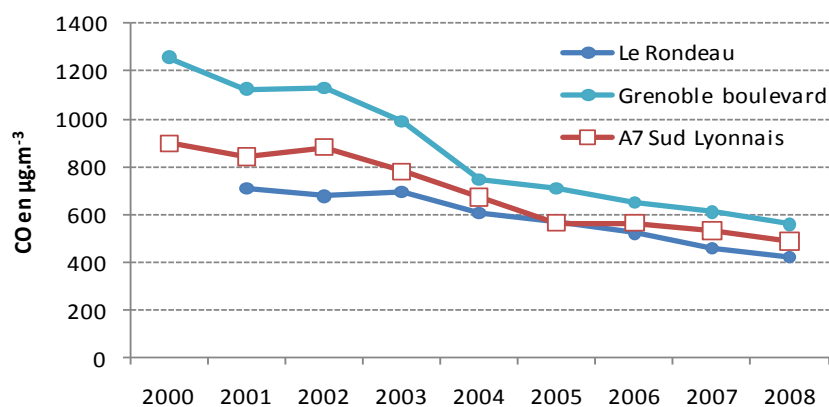
Sur les sites d'études de la ligne C, les niveaux moyens en monoxyde de carbone sont équivalents à ceux mesurés sur les stations de proximité automobile de Grenoble et caractéristiques de ce type d'environnement. Il est à noter que les niveaux moyens et maximums sont comme pour les PM_{10}

enregistrés sur le site de Grenoble Boulevard ce qui confirme la forte influence du trafic automobile dans ce secteur.



Maximum journalier de la moyenne glissante sur 8 heures pour le monoxyde de carbone (CO) sur les sites d'étude et les sites de proximité automobile de l'ASCOPARG

Sur les quatre sites, les niveaux de monoxyde de carbone respectent la valeur limite pour la protection de la santé : $10\,000\ \mu\text{g.m}^{-3}$ pour le maximum journalier de la moyenne glissante sur 8 heures.

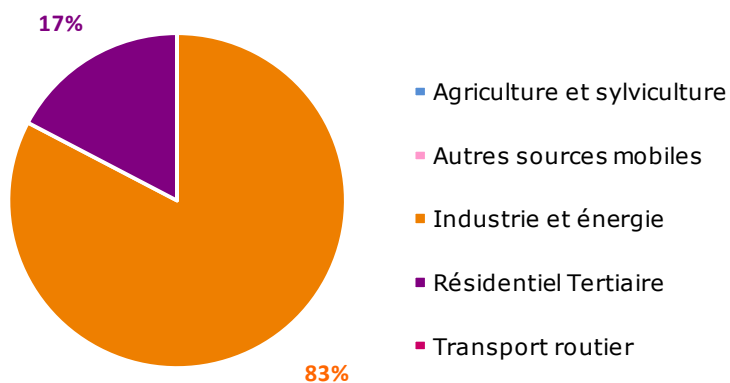


Evolution des concentrations moyennes annuelles de monoxyde de carbone (CO) sur plusieurs sites de proximité automobile

Les niveaux de ce polluant sont en baisse régulière depuis plusieurs années. Cette baisse généralisée est due à la mise en place des pots catalytiques (depuis 1993) et au renouvellement progressif du parc automobile. Il devient extrêmement rare en Rhône-Alpes de dépasser le seuil réglementaire en CO, quelque soit l'environnement des sites de mesures.

6. Le dioxyde de soufre

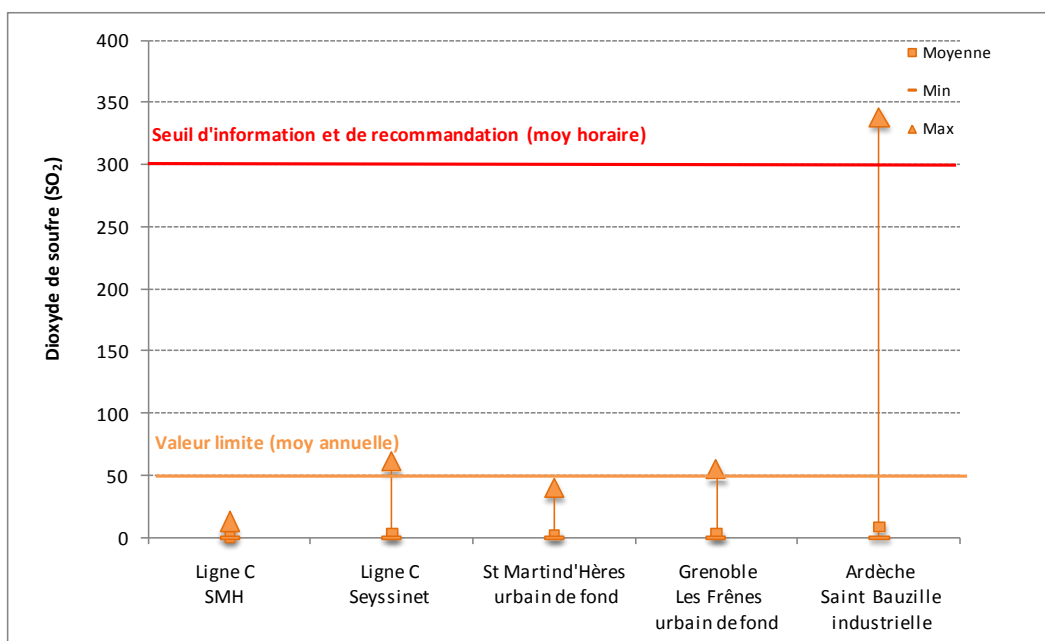
Les émissions de dioxyde de soufre dans l'agglomération grenobloise



Répartition sectorielle des émissions de dioxyde de soufre dans l'agglomération grenobloise (METRO 26 communes, sources : cadastre ASCOPARG émissions 2007 (version 2010-1))

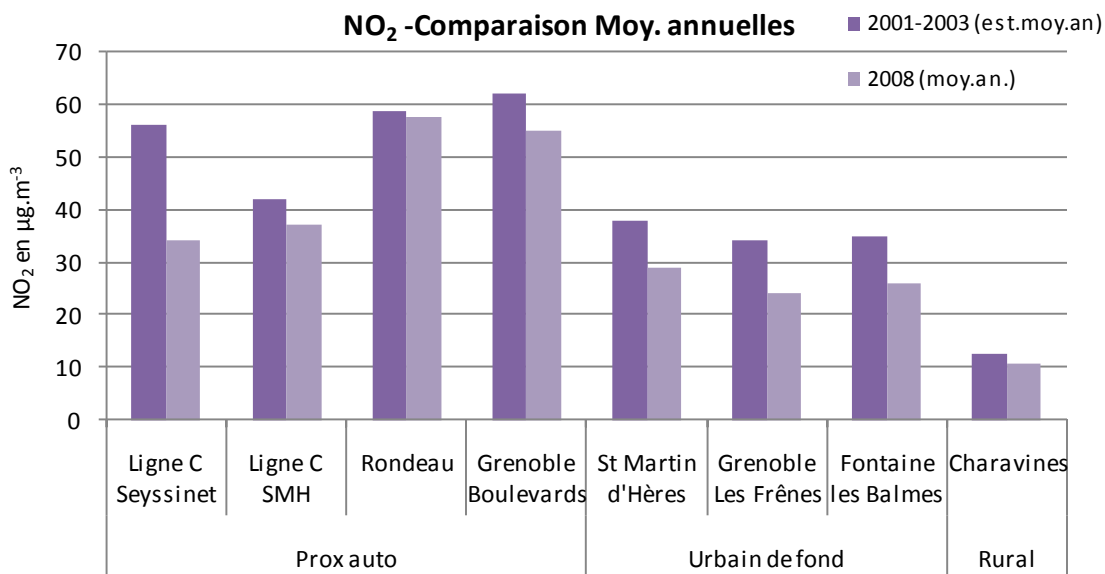
Dans l'agglomération de Grenoble, **le secteur industrie énergie** (en orange sur la figure) **est l'émetteur principal de dioxyde de soufre** avec 83% des émissions. **Le trafic automobile représente une faible part** des émissions de dioxyde de soufre (moins de 2%).

Niveaux mesurés et comparaison à la réglementation



Statistiques des mesures de dioxyde de soufre en 2008

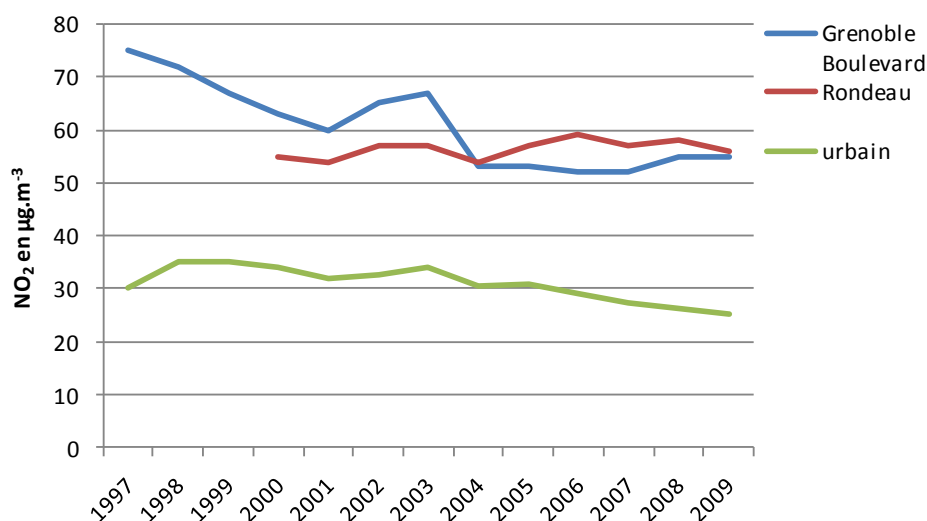
Sur les sites d'étude, les niveaux en dioxyde de soufre sont peu élevés et conformes aux valeurs réglementaires, ce qui confirme la faible influence du trafic automobile sur les concentrations dans l'air de ce polluant. Aujourd'hui, les seuls dépassements de valeurs réglementaires pour ce polluant concernent principalement le seuil d'information et de recommandations ($300 \mu\text{g.m}^{-3}$ sur 1 heure) et sont observés à proximité de sites industriels fortement émetteurs de SO_2 .



Comparaison des concentrations moyennes annuelles de dioxyde d'azote (NO₂) entre 2001-2003 et 2008 sur les sites d'étude et sur les sites fixes d'ASCOPARG

Comme pour le NO, la baisse des niveaux de NO₂ est plus visible sur le site d'étude de Seyssinet (-40%) que sur celui de Saint-Martin d'Hères. Cette dernière semble plutôt équivalente à la diminution des niveaux de fond en NO₂ observée depuis 2006 (-10%) au niveau de l'agglomération grenobloise. La comparaison des niveaux de NO₂ mesurées sur le site d'étude de Saint-Martin d'Hères entre 2001 et 2008 ne montrent pas de franche amélioration. Ce phénomène¹ s'observe également sur le site de proximité automobile du Rondeau et de manière générale sur les sites de proximité trafic du réseau fixe de l'ASCOPARG.

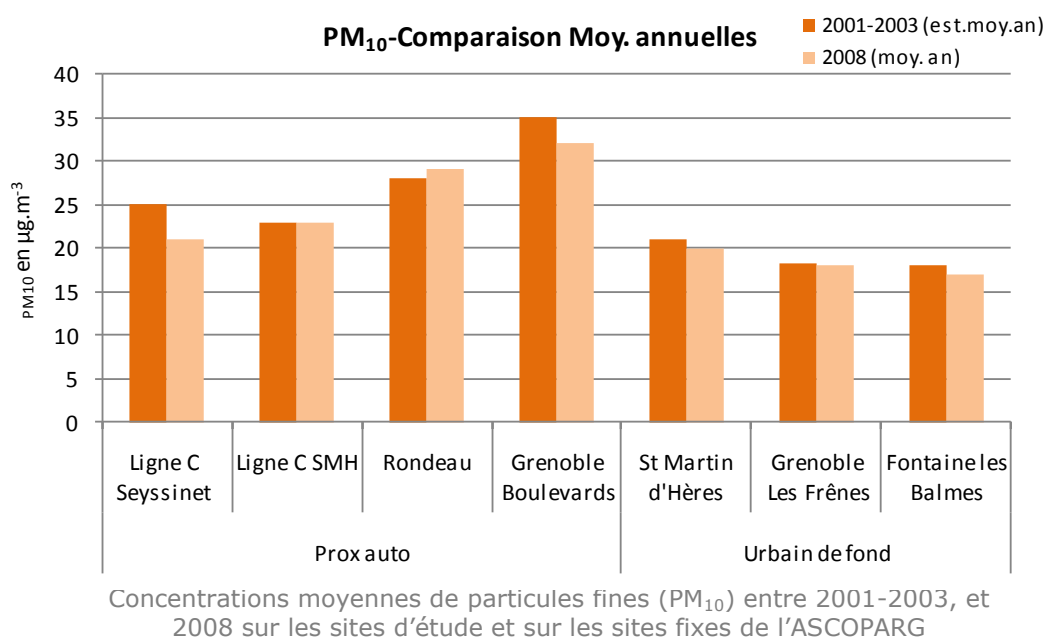
Evolution des moyennes annuelles en NO₂
Au niveau de l'agglomération grenobloise



En revanche, une diminution des concentrations de NO₂ est visible en 2004 (-18 % entre 2003 et 2008) sur le site de proximité trafic de Grenoble Boulevard.

¹ Cette tendance s'explique par une augmentation du NO₂ émis directement par certains véhicules équipés de filtres à particules

Cette diminution de NO₂ sur le boulevard Foch ne s'inscrit pas uniquement dans un contexte de baisse générale des niveaux de NO₂ dans l'agglomération grenobloise mais également dans un contexte plus local. En effet sur la même période les concentrations mesurées en proximité automobile (site fixe du Rondeau à Echirolles) n'ont pas diminué. Dans le cadre de la mise en place du tram C, une voie de circulation a été supprimée sur les grands boulevards de sorte que le trafic a diminué dans ce secteur (50 000 véhicules par jour en 2002 à 30 000 véhicules en 2007 – source ASCOPARG et ville de Grenoble). En plus de la baisse des niveaux de fond, l'amélioration de la qualité de l'air du boulevard Foch semble directement liée à la réduction du trafic sur les Grands Boulevards. Néanmoins, cette amélioration de la qualité de l'air sur le boulevard Foch ne doit pas faire oublier que les niveaux mesurés sur ce site restent sous l'influence forte du trafic automobile et ne sont toujours pas conformes à l'objectif de qualité de l'air.



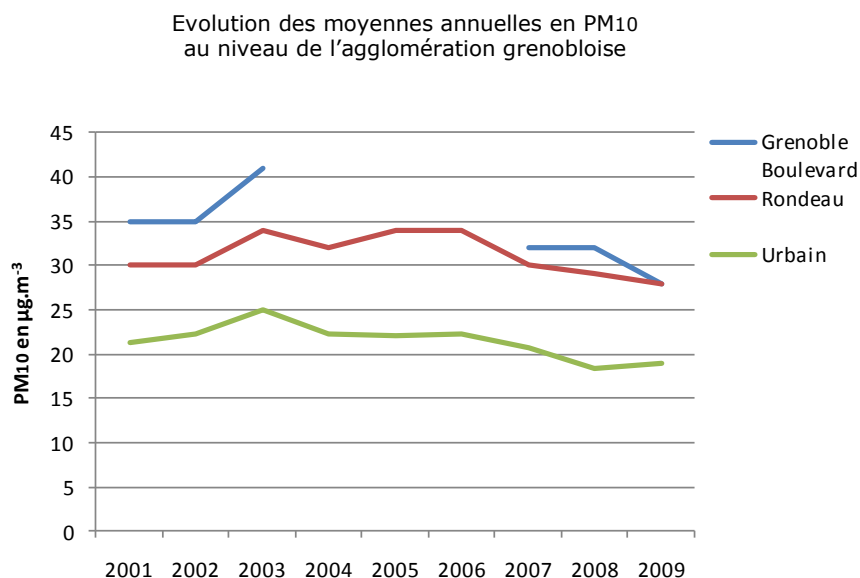
De la même façon que pour le NO et le NO₂, les niveaux de PM₁₀ mesurés¹ sur le site d'étude de Seyssinet sont moins élevés (-16%) en 2008 qu'en 2001 alors que sur le site de Saint-Martin d'Hères les niveaux de PM₁₀ ont peu évolué.

Le carrefour localisé place E. Aguiard à Seyssinet a été réaménagé dans le cadre de la mise en œuvre du projet tram C de sorte que le trafic semble avoir diminué dans ce secteur (42 500 véhicules par jour en 2002 à 30 000 véhicules/jour en 2007 – source ASCOPARG-METRO 2003 comptage CG 2007 DIR Centre-Est). En plus de la baisse des niveaux de fond, l'amélioration de la qualité de l'air sur cette partie du tracé semble liée aux aménagements réalisés dans le cadre de la mise en place du tram. La diminution du trafic à proximité du site de mesure avenue Gabriel Péri à Saint-Martin d'Hères est moins importante en comparaison à celle observée à Seyssinet (32 500 véhicules par jour en 2002 à 26 000 véhicules en 2007 – source ASCOPARG-METRO 2003 comptage CG 2007 DIR Centre-Est). La faible évolution des niveaux de polluants sur ce site peut éventuellement s'expliquer par la réorganisation de la voirie entre le carrefour des sablons et l'avenue Gabriel Péri qui dans ce cas là a eu plutôt tendance à diminuer la fluidité du trafic.

Une diminution des concentrations de PM₁₀ est également visible entre 2001 et 2008 sur le site de proximité trafic de Grenoble Boulevard. Cette baisse des concentrations n'est pas observée sur le site de proximité automobile du Rondeau et elle

¹ Les comparaisons des moyennes de PM₁₀ ont été faites sur la fraction non volatiles des particules

est à peine perceptible sur les sites de fond. Comme pour le NO₂, la diminution des PM₁₀ sur le boulevard Foch semble s'inscrire dans un contexte plutôt local.



Pourtant une baisse des niveaux en moyenne annuelle en PM₁₀ semble se dessiner depuis 2005 sur les stations de proximité automobile et de fond de l'agglomération grenobloise (-15% environ entre 2005 et 2008). Les moyennes de PM₁₀ estimées à partir des 3 campagnes de 2001 à 2003 présentent des valeurs légèrement sous-estimées par rapport aux valeurs annuelles réelles.

Pour ce polluant, il est plus difficile d'estimer le gain en termes d'amélioration de la qualité de l'air de la mise en place du Tram C sur le boulevard Foch du fait que l'on n'ait pas d'information sur l'évolution des niveaux de particules sur la station de Grenoble Boulevard entre 2004 et 2006.¹

La diminution des concentrations de PM₁₀ entre 2003 et 2008 sur le site de proximité trafic de Grenoble Boulevard est égale à environ 20%, comme pour le NO₂. Avec une baisse d'environ 15% des niveaux de fond en PM₁₀ depuis 2005, l'amélioration de la qualité de l'air liée à la mise en place du tram serait équivalente à environ 5% ? Cela reste à confirmer, car les résultats précédents montrent qu'il est difficile d'estimer l'évolution des niveaux de pollution en comparant uniquement deux années de mesures.

En résumé :

Pour la plupart des polluants, les niveaux observés en 2008 sur les sites d'étude de Saint-Martin d'Hères et de Seyssinet se situent entre le fond urbain et la proximité trafic. Les résultats des mesures montrent encore l'influence du trafic automobile sur la qualité de l'air mesurés sur ces sites, même si ces derniers respectent les valeurs réglementaires pour le NO₂.

Les modifications de circulation réalisées dans le cadre du projet tram C ont eu un impact positif sur la qualité de l'air mesurée sur le site de Seyssinet. En effet une baisse sensible des niveaux de polluants entre 2001 et 2008 est observée sur ce site d'étude. En revanche les résultats de mesures sur le site d'étude de Saint-Martin d'Hères montrent que la qualité de l'air a peu évolué à cet endroit là.

Les aménagements réalisés dans le cadre de la mise en place de cette 3^{ème} ligne de tram se sont accompagnées également d'une amélioration locale de la qualité de l'air dans le secteur des Grands Boulevards. Une nette diminution des

¹ Les mesures de particules ont été arrêtées lors du déplacement de la station

concentrations des polluants et notamment du NO₂ est visible entre 2001 et 2008 sur le site de proximité trafic de Grenoble Boulevard.

Même si une amélioration de la qualité de l'air est perceptible sur cette partie du tracé de la ligne C, les niveaux de NO₂ restent élevés et montrent encore une influence directe du trafic automobile sur la qualité de l'air dans ce secteur. Pratiquement les 2/3 (66%) des riverains habitant à moins de 50 mètres de la ligne C (soit 4500 personnes) sont exposées à des concentrations de dioxyde d'azote supérieures à l'objectif de qualité prévu en 2010 (40 µg.m⁻³).

Conclusion

Cette étude a permis de montrer qu'entre 2001 et 2008, la qualité de l'air s'est globalement améliorée sur le tracé de la ligne C. Les écarts varient en fonction des polluants et des communes traversées par le tramway : la baisse la plus notable concerne le dioxyde d'azote (NO_2) sur le secteur de Seyssinet (-40 %) et des Grands Boulevards (-20 %). En revanche les résultats de mesures sur le site d'étude de Saint-Martin d'Hères montrent que la qualité de l'air a peu évolué à cet endroit là.

A première vue, cette nette amélioration semble directement liée aux aménagements (suppression/ réorganisation des voies de circulation) réalisés dans le cadre de la mise en place de cette 3^{ème} ligne de tram, puisqu'elle n'est pas observée sur la même période en proximité automobile (site fixe du Rondeau à Echirolles).

D'autre part, il n'en demeure pas moins que les niveaux de NO_2 mesurés dans le secteur des Grands Boulevards restent élevés, notamment sur le segment reliant la place Pasteur (Bd M. Joffre) à l'ancien autopont (intersection Bd. Foch /crs J. Jaurès). En effet, sur cette partie du tracé, les niveaux en moyenne annuelle ($55 \mu\text{g.m}^{-3}$ à Grenoble Boulevard) pour le NO_2 ne respectent pas l'objectif de qualité ($40 \mu\text{g.m}^{-3}$), qui est également la valeur limite à respecter en 2010. Ces résultats montrent encore une forte influence du trafic automobile sur la qualité de l'air pour cette partie du tracé, qui avait déjà été observée avec les premières mesures réalisées en 2001.

Cette influence du trafic sur les niveaux de benzène semble plus modérée. Les concentrations les plus élevées ont été mesurées sur les sites localisés le long des Grands Boulevards (Bd Maréchal Foch et Joffre) avec des niveaux qui sont supérieurs à l'objectif de qualité ($2 \mu\text{g.m}^{-3}$).

Pour la plupart des polluants, les niveaux observés en 2008 sur les sites d'étude de Saint-Martin d'Hères et de Seyssinet se situent entre le fond urbain et la proximité trafic. Les résultats des mesures montrent encore l'influence du trafic automobile sur la qualité de l'air mesurés sur ces sites, même si ces derniers respectent les valeurs réglementaires pour le NO_2 .

Par ailleurs, les moyennes annuelles pour les particules fines (PM_{10}) mesurées sur ces sites ne sont pas conformes à l'objectif de qualité ($30 \mu\text{g.m}^{-3}$). C'est également sur le secteur des Grands Boulevards que les concentrations de PM_{10} sont les plus importantes avec des niveaux sur le site de Grenoble Boulevard qui dépasse la valeur limite pour la protection de la santé ($40 \mu\text{g.m}^{-3}$).

Enfin, cette étude a permis d'évaluer qu'environ 50% des riverains habitant à moins de 50 mètres de la ligne C (soit 4700 personnes) sont exposées à des concentrations en NO_2 supérieures ou égales à l'objectif de qualité et valeur limite pour 2010 ($40 \mu\text{g.m}^{-3}$). Les résultats de modélisation indiquent que les personnes exposées sont localisées majoritairement sur la portion du tracé de la ligne C qui traverse Grenoble où la densité de population et le trafic est important. En effet, le pourcentage de population potentiellement exposé à des concentrations supérieures à l'objectif de qualité dans ce secteur est égal à 66% (soit 4500 personnes), dont 50% sont exposées à des concentrations supérieures à la valeur limite de 2008 ($44 \mu\text{g.m}^{-3}$).

Bien que les niveaux de pollution soient moins importants lorsqu'on s'éloigne de Grenoble (commune de Saint-Martin d'Hères et de Seyssinet), ces résultats montrent ainsi qu'il convient d'être prudent sur les futurs projets d'urbanisme dans ces secteurs. En effet toute urbanisation en proximité de voirie sera susceptible d'exposer de nouvelles populations à un air non-conforme à la réglementation française et européenne.

ANNEXES

ANNEXE 1 : Implantation des sites de mesures par laboratoire mobile

Nom des sites	Site de mesures par laboratoire mobile		Polluants mesurés
SMTC 2001-2002-2003 Typologie des sites de mesures : Observation spécifique (influence de l'avenue Gabriel Péri et du boulevard des frères Desaires)	 Gabriel Péri Saint Martin d'Hères	 Place Edgar Aguiar Seyssinet Pariset	▪ SO₂ ▪ NO_x ▪ CO ▪ PM₁₀ ▪ C₆H₆ ▪ HAP
2008_ASC_SMTC Typologie du site de mesures : Observation spécifique (influence de l'avenue Gabriel Péri et du boulevard des frères Desaires)	 Gabriel Péri Saint Martin d'Hères	 Place Edgar Aguiar Seyssinet Pariset	▪ SO₂ ▪ NO_x ▪ CO ▪ PM₁₀ ▪ O₃ ▪ C₆H₆

ANNEXE 2 : Identification des sites de mesures en 2001 et 2008

Etude ligne C en 2001-2002-2003

Code du site	Nom du site	Type mesures
1	Seyssinet Pariset	MOB
2	Place pasteur Grenoble	MOB
3	Gabriel Péri à Saint Martin d'Hères	MOB

Etude ligne C en 2008

Code du site	Nom du site	Type mesures
1	Hôtel Mercure bd M. Joffre	Tube
201	Caisse Epargne Championnet	Tube
202	Pluralis Bd M.Foch	Tube
3	Autopont Bd M.Foch	Tube
401	Phcie des Eaux Clair Bd J. Vallier	Tube
402	Huit à Huit Bd Joseph Vallier	Tube
5	Hôtel de ville Bd Frères Desaire	Tube
06MOB	Bd Frères Desaire Seyssinet	MOB +Tube
7	Victor Hugo Seyssinet	Tube
8	PR Tram C Seyssinet	Tube
9	Stade des Alpes Av. Valmy	Tube
10MOB	Métro Gabriel Péri SMH	MOB +Tube
11	Gabriel Péri SMH	Tube
12	Snack pizzeria Péri	Tube
1301	Géant Péri T1	Tube
1302	Campus T2	Tube
1303	Campus T3	Tube
14	Terminus Tram C SMH	Tube

ANNEXE 3 : Sites fixes de mesures de l'ASCOPARG pris en référence pour l'étude

Sites fixes de mesures d'ASCOPARG en 2007		
Le Rondeau Echirrolles Typologie du site de mesures : <i>Proximité automobile</i> <i>(Référence Rocade Sud)</i>		■ NOx ■ CO ■ PM₁₀, PM_{2.5} ■ C₆H₆
Grenoble Boulevards Typologie du site de mesures : <i>Proximité automobile</i>		■ NOx ■ CO ■ PM₁₀
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.		
Grenoble les Frênes Typologie du site de mesures : <i>Fond urbain</i>		■ NOx ■ PM₁₀, PM_{2.5} ■ C₆H₆ (+ HAP¹) ■ SO₂ ■ O₃ ■ Métaux lourds
Fontaine les Balmes Typologie du site de mesures : <i>Fond urbain</i>		■ NOx ■ PM₁₀ ■ O₃
Saint-Martin d'Hères Typologie du site de mesures : <i>Fond urbain</i>		■ NOx ■ PM₁₀ ■ SO₂ ■ O₃
Une station " urbaine " permet de suivre l'exposition moyenne de la population aux phénomènes de pollution atmosphérique dans les centres urbains.		

¹ HAP : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (exemple de HAP : le benzo[a]pyrène)

Voreppe Volouise Typologie du site de mesures : <i>Périurbain</i>		■ NOx ■ O ₃
Grenoble périurbain sud Typologie du site de mesures : <i>Périurbain</i>		■ NOx ■ PM ₁₀ ■ O ₃
Grésivaudan périurbain Typologie du site de mesures : <i>Périurbain</i>		■ NOx ■ PM ₁₀ ■ O ₃
Une station " périurbaine " permet de suivre l'exposition moyenne de la population aux phénomènes de pollution atmosphérique à la périphérie du centre urbain.		
Charavines Typologie du site de mesures : <i>Rural</i>		■ NOx ■ O ₃
Une station " rurale " permet le suivi de la qualité de l'air en zone rurale, afin d'évaluer l'exposition des écosystèmes et de la population à la pollution atmosphérique, notamment photochimique, à l'échelle régionale.		

ANNEXE 4 : Les unités statistiques employées

Définitions

La surveillance de la qualité de l'air vise à mesurer la concentration des polluants gazeux ou particulaires dans l'air ambiant. Cette concentration s'exprime en unité de masse par unité de volume d'air prélevé ramenée aux conditions normales de température (20°C) et de pression (1 atm). Les unités les plus couramment utilisées sont le **microgramme par mètre cube ($\mu\text{g.m}^{-3}$)**, soit le millionième de gramme par mètre cube.

L'analyse des résultats fait appel à différents paramètres statistiques dépendant des choix faits dans les textes réglementaires et permettant d'appréhender les effets de pointe ou les effets chroniques.

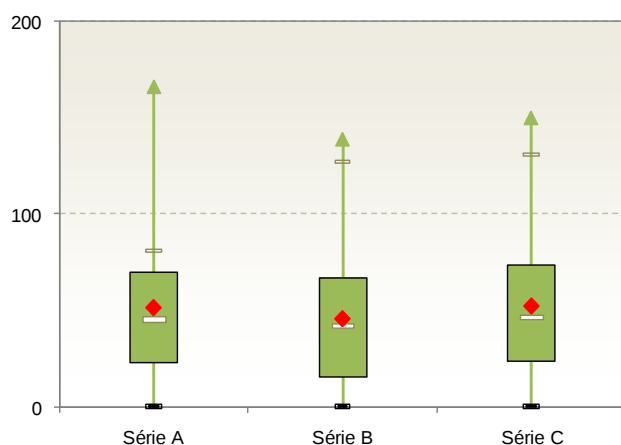
- **Moyenne horaire** = moyenne arithmétique des valeurs quart-horaires mesurées par l'analyseur (Une moyenne horaire est valide si au moins 3 valeurs quart-horaires qui la composent le sont).
- **Moyenne journalière** = moyenne arithmétique des valeurs horaires de 0 à 23 heures (Une moyenne journalière est valide si au moins 18 valeurs horaires le sont).
- **Ecart-type** = Ecart-type de la moyenne horaire ou journalière
L'écart-type permet de connaître la façon dont les valeurs fluctuent autour de la moyenne (alternance de pointes de pollution et de valeurs faibles).
- **Percentile 98** = valeur dépassée par seulement 2% des données de la série statistique.

Le percentile 98, comme la valeur maximale, est un indice du taux de pointe de pollution.

- **Percentiles 25 (P25), 50 (P50), 75 (P75)** (ou Quartiles) = valeur dépassée par exactement 25% (premier quartile), 50% (deuxième quartile ou Médiane), 75% (troisième ou dernier quartile) des données de la série statistique.

La médiane est souvent utilisée dans la détermination des valeurs guides ou des valeurs limites. Le premier et dernier quartile peuvent être utilisés comme repères statistiques (voir ci-après).

Représentation statistique



La représentation des résultats statistiques utilisée dans cette étude affiche pour chaque série de données :

- ✓ Le 1^{er} quartile (P25) et le 3^{ème} quartile (P75) : bords inférieurs et supérieurs de la boîte rectangulaire verte

La hauteur de cette boîte (l'écart interquartile) est un bon indicateur de la dispersion des résultats puisqu'elle contient 50% des données.

- ✓ La médiane (P50) : long trait horizontal situé dans la boîte
- ✓ La moyenne représentée par un signe $\diamond$

Représentation statistique des séries de données

ANNEXE 5 : Les valeurs réglementaires

Définition

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

Les seuils fixés par ces textes réglementaires sont définis ci-dessous :

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

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

Valeur limite pour la protection de la santé : niveau maximal de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère, fixé sur la base des connaissances scientifiques, dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs de ces substances pour la santé humaine ou pour l'environnement. En cas de dépassement, la réglementation prévoit la mise en place de plans d'actions (PDU¹, PPA,...) afin d'essayer de réduire les émissions et de respecter ces valeurs, dans une période donnée.

Objectif de qualité : niveau de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère, fixé sur la base des connaissances scientifiques, dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs de ces substances pour la santé humaine ou pour l'environnement. Il s'agit d'une valeur de confort (valeur guide ou valeur cible), ou d'un objectif de qualité de l'air à atteindre, si possible, dans une période donnée.

¹ PDU : Plan de Déplacements Urbains ; PPA : Plan de Protection de l'Atmosphère

Valeurs réglementaires concernant le dioxyde d'azote (NO₂)

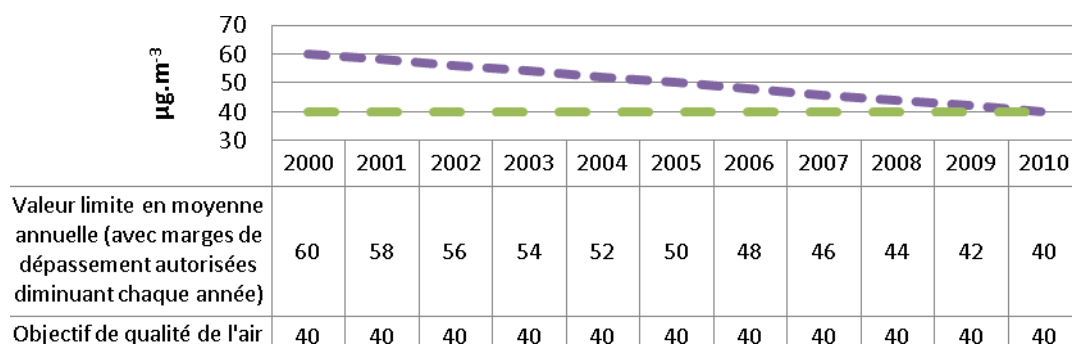
La réglementation définit pour le dioxyde d'azote (NO₂) plusieurs valeurs à respecter :

La réglementation fixe pour le dioxyde d'azote un **objectif de qualité** à 40 µg.m⁻³ en moyenne annuelle. Elle fixe aussi une **valeur limite pour la protection de la santé** qui devra correspondre au seuil de 40 µg.m⁻³ défini pour l'objectif de qualité en 2010. Avant cette date des marges de dépassement de la valeur limite sont autorisées (46 µg.m⁻³ en 2007).

	Valeur à respecter en µg .m ⁻³	Période de calcul
Seuil d'information et de recommandations	200	Moyenne horaire
Seuil d'alerte	400	Moyenne horaire
Valeurs limites pour la protection de la santé humaine en moyennes horaires	200	Centile 98 des moyennes horaires (175 heures de dépassements)
	230	Centile 99,8 des moyennes horaires (175 heures de dépassements)
Valeurs limites pour la protection de la santé humaine en moyenne annuelle	46	Moyenne annuelle en 2007
	40	Moyenne annuelle en 2010
Objectif de qualité	40	Moyenne annuelle

Principales valeurs réglementaires concernant le dioxyde d'azote (NO₂)

C'est la deuxième **valeur limite pour la protection de la santé humaine** (46 µg.m⁻³ en moyenne annuelle) et **l'objectif de qualité** (40 µg.m⁻³ en moyenne annuelle) qui ne sont pas respectés sur le site de Valence Trafic en 2007.



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

NB 1: Pour le monoxyde d'azote (NO), il n'existe pas de valeurs réglementaires. Concernant ce polluant, il n'y a qu'une valeur limite en moyenne annuelle pour les oxydes d'azote (NO₂ + NO en équivalent NO_x).

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

Valeurs réglementaires concernant les particules en suspension

La réglementation définit pour les particules en suspension de taille inférieure à 10 microns (PM₁₀) plusieurs valeurs à respecter :

Seuils réglementaires	Valeur à respecter en µg .m ⁻³	Période de calcul
Seuil d'information et de recommandations	80 (50 depuis janv 2011)	Moyenne sur 24h
Seuil d'alerte	125 (80 depuis janv 2011)	Moyenne sur 24h
Valeur limite pour la protection de la santé humaine	50	Moyenne journalière à ne pas dépasser plus de 35 jours par an
	40	Moyenne annuelle
Objectif de qualité	30	Moyenne annuelle

Principales valeurs réglementaires concernant les particules en suspension

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

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

Valeurs réglementaires concernant les COV

Seul le **Benzène** est réglementé au niveau européen, avec une **valeur limite pour la protection de la santé** fixée à **5 $\mu\text{g.m}^{-3}$** pour 2010, mais avec des marges de dépassement autorisées décroissantes d'ici là :

2005	2006	2007	2008	2009	2010
10 $\mu\text{g.m}^{-3}$	9 $\mu\text{g.m}^{-3}$	8 $\mu\text{g.m}^{-3}$	7 $\mu\text{g.m}^{-3}$	6 $\mu\text{g.m}^{-3}$	5 $\mu\text{g.m}^{-3}$

Evolution de la valeur limite pour la protection de la santé concernant le benzène entre 2005 et 2010

En droit français, il existe un **objectif de qualité** pour le **Benzène** qui est fixé à **2 $\mu\text{g.m}^{-3}$** .

ANNEXE 6 : Le modèle SIRANE

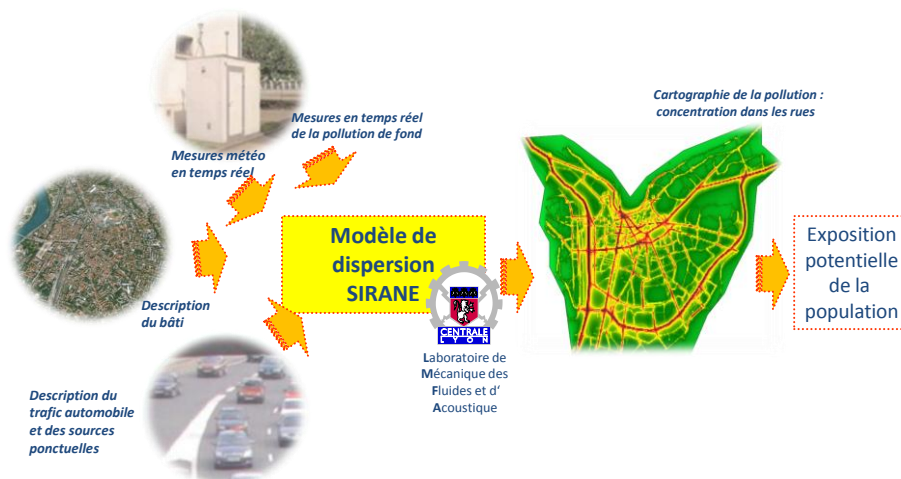
Le modèle SIRANE est développé au Laboratoire de Mécanique des Fluides et d'Acoustique de l'Ecole Centrale de Lyon. Les travaux de recherche qui ont conduit au développement de ce modèle ont été réalisés dans le cadre de la thèse de L.Soulhac¹.

Le modèle SIRANE est un modèle de dispersion atmosphérique en milieu urbain à l'échelle de la rue ou d'un quartier (échelle de l'ordre de 10 mètres), qui permet de décrire les concentrations en polluants dans des zones urbaines 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



Principe de fonctionnement de la modélisation avec SIRANE

¹ 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

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.

ANNEXE 7 : Techniques de mesures

Les méthodes de travail d'ASCOPARG sont certifiées selon le référentiel d'assurance qualité ISO 9001 pour l'ensemble de son activité et 17025 pour l'activité d'étalonnage et ont été appliquées pour la présente étude (maintenance du parc d'appareils de mesures, traitement des données, conduite de projet).

Dans le cadre d'études ponctuelles, la surveillance de la qualité de l'air est réalisée à partir de laboratoires mobiles (remorque, camion), équipés d'analyseurs équivalents à ceux du réseau fixe de l'ASCOPARG, pour la mesure en continu des polluants réglementés (NO_2 , PM_{10} , CO ...). Ces dernières sont complétées par des mesures hebdomadaires réalisées par tubes à diffusion passive qui fournissent une information sur la variation spatiale des concentrations de polluants.

Mesures en continu par analyseurs

Dans le cadre de cette étude, les mesures en continu par analyseurs automatiques concernent les polluants suivants :

- Les oxydes d'azote (NO_x : NO et NO_2)
- Les poussières en suspension de taille inférieure à 10 microns (PM_{10})
- Le monoxyde de carbone (CO)
- Le dioxyde de soufre (SO_2)
- L'ozone (O_3)

Pour établir un bilan de la qualité de l'air et estimer l'importance des dépassements de valeurs réglementaires, il est indispensable de disposer de données précises (déclinées dans la mesure du possible sur un pas de temps horaire) produites par les analyseurs.



La remorque laboratoire



Vue intérieure

Photos d'une remorque laboratoire

Mesures par échantillonnage passifs

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

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

Les polluants mesurés dans le cadre de cette étude à partir de cette technique de mesure sont le dioxyde d'azote et le benzène.

Les tubes Benzène (C_6H_6) et dioxyde d'azote (NO_2) sont exposés dans l'air ambiant sur une période d'une semaine, puis renvoyés pour analyse afin de déterminer la concentration des polluants piégés.



Tubes BTX



Tubes NO_2

Photos des tubes à diffusion mesurant le benzène (Marque : Radiello) et des tubes mesurant le dioxyde d'azote (Marque : Passam AG)

Afin de pouvoir les comparer avec les analyseurs une standardisation des données à 20°C a été réalisée. Il est à noter que cette technique des échantillonneurs passive a tendance à surestimer les concentrations de polluants¹.

¹ Rapport : Echantillonneurs passifs pour le dioxyde d'azote ADEME, LCSQA, fédération Atmo, septembre 2002

La modélisation de la qualité de l'air

En complément des mesures effectuées dans le cadre de cette étude, nous utiliserons la cartographie des niveaux moyens annuels de dioxyde d'azote (NO₂) réalisée à l'aide du **modèle SIRANE** (cf. Annexe 6) et actualisée pour l'année 2008.

Cette modélisation, qui reconstitue les concentrations en air ambiant du dioxyde d'azote (NO₂), permet d'estimer les niveaux moyens annuels en tout point de la zone d'étude et d'évaluer l'exposition de la population à ce polluant.

Les données d'entrée

SIRANE est un outil « opérationnel » qui utilise des modèles théoriques de dispersion et des formulations plus ou moins simplifiées des différents phénomènes atmosphériques. En données d'entrées, il a notamment besoin, de données d'émissions (issues du trafic et éventuellement de sources ponctuelles), de données météorologiques (vitesses et directions de vent, température, nébulosité, précipitations) et de données de pollution de fond (mesurées par une station fixe du réseau).

- données météorologiques

L'année 2008 a été simulée sur Grenoble en utilisant **les mesures météorologiques de Pont de Claix** (station météo de l'ASCOPARG).

- données d'émissions

Les données de trafic sur la ville de Grenoble sont issues de la modélisation DAVISUM réalisée par l'AURG^[1] pour le compte du SMTC sur la base de l'enquête ménage de 2002^[2]. **Les volumes de trafic ont été corrigés pour l'année 2006 à partir des évolutions 2002-2006 constatées sur les postes de comptages disponibles sur l'agglomération (voies rapides et départementales), en lien avec l'AURG. Le parc roulant 2008 a été utilisé, tandis que le calcul des émissions a été réalisé en utilisant la méthode COPERT 4.**

La traduction de volumes de trafic en émissions se fait par des facteurs d'émissions issus de **COPERT 4** (Computer Programme to Calculate Emissions from Road Transport). Ce travail mené conjointement par plusieurs organismes de recherche européens, a abouti à des formules mathématiques permettant d'estimer les émissions de différents polluants selon différentes catégories de véhicules, en fonction de leur vitesse ou des conditions de circulation (ville, campagne, autoroute).

- données de pollution de fond

La pollution de fond utilisée comme donnée d'entrée du modèle SIRANE est la moyenne des mesures réalisées à partir des trois stations de fond de Grenoble les Frênes, Fontaine les Balmes et de St-Martin d'Hères¹. La moyenne annuelle de NO₂ en 2008 utilisée est de 25 µg.m⁻³.

^[1] AURG : Agence d'Urbanisme de la Région Grenobloise

^[2] Un modèle de trafic s'appuie sur une enquête ménage déplacements qui permet de déterminer des matrices origine/destination au sein de l'agglomération. Ces déplacements sont ensuite retranscrits dans le réseau routier existant.

¹ La moyenne sur le site de St-Martin d'Hères est chaque année légèrement plus élevée que sur les autres sites de référence, ce qui peut-être lié à la présence d'un parking à proximité du site.

ANNEXE 8 : Redressement statistique des poussières

Pour une meilleure estimation de la moyenne annuelle, les moyennes sur 8 semaines de PM_{10} , ont été redressées à partir des données des stations de référence, sur le site de la ligne C (env. $+3-4 \mu g.m^{-3}$).

- ✓ Ajustement linéaire pour la correction des données PM_{10} sur les sites **étude ligne C** : **a 1,1227** = **b=0,2849**; **x=28** et **y =31** (seyssinet) et **x=30** et **y = 34** (Saint-Martin d'Hères)

