

Projet de requalification de la ligne de bus 3 en ligne de tram (E)

Etat initial de la qualité de l'air (2000-2007)
et perspectives (2012)

Axe Grenoble - Saint-Egrève - Le Fontanil Cornillon



Résumé

Depuis 2004, ASCOPARG travaille en collaboration avec le SMTC¹ dans le cadre de l'Observatoire des impacts environnementaux du PDU², ce qui se traduit par un suivi régulier de la qualité de l'air sur des lieux susceptibles d'être influencés par des modifications du trafic routier. En 2007, un état initial et des simulations de la qualité de l'air ont été réalisés dans le cadre du projet de mise en place du tram E qui remplacera la ligne 3 entre Grenoble et le Fontanil-Cornillon.

Une qualité de l'air globalement bonne sur le tracé de la ligne 3 (Grenoble-Le Fontanil-Cornillon) malgré trois secteurs sensibles.

Sur l'ensemble du tracé de la ligne 3, les mesures de dioxyde d'azote et de benzène sont assez homogènes et légèrement supérieures ou équivalentes au niveau de fond de l'agglomération grenobloise, malgré la proximité de la voirie.

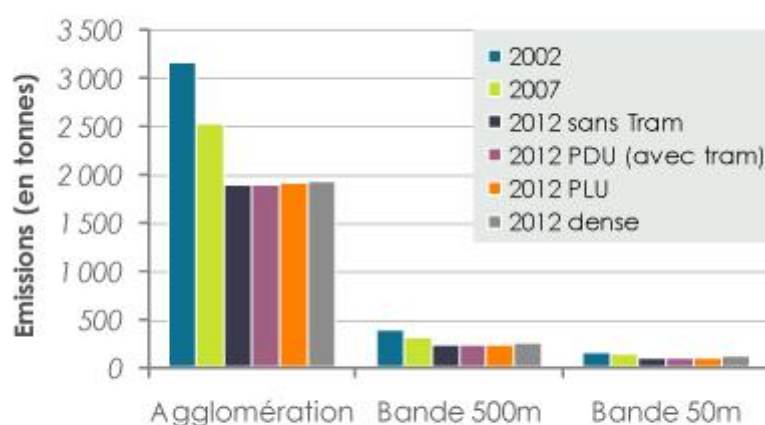
Trois sites se distinguent par rapport au reste des résultats de par leur exposition à un trafic plus intense et congestionné (Carrefour Karben, route de Lyon et pont de Vence). Ces niveaux peuvent être cependant encore considérés comme modérés en comparaison de résultats observés en proximité automobile à Grenoble (6 fois plus élevés sur le site du Rondeau). Ces 3 zones bénéficient par ailleurs d'une configuration de rue favorable à la dispersion des polluants.

Depuis l'étude de qualité de l'air réalisée sur le secteur en 2000, la qualité de l'air mesurée reste stable exceptée sur les trois secteurs sensibles qui enregistrent une légère dégradation.

Evaluation des émissions de polluants selon plusieurs scénarii.

L'évaluation des émissions de polluants le long de la ligne E a été réalisée selon différents scénarii : l'état initial 2002 et les 4 prospectives 2012 suivantes :

- Sans Tram E (maintien de la ligne de bus).
- Avec Tram E :
 - Urbanisation faible (scénario PDU).
 - Urbanisation modérée caractérisée par 7500 personnes supplémentaires (scénario PLU³).
 - Urbanisation dense associée à 20 000 personnes supplémentaires.



Emissions de NOx liées au trafic routier dans une bande de 50 m et de 500 m de part et d'autre de la ligne E, selon différents scénarii (méthode COPERT III)

¹ Syndicat Mixte des Transports en Commun

² Plan de Déplacement Urbain

³ Plan Local d'Urbanisme

Un renouvellement du parc automobile favorable à la baisse des émissions.

Les trois premières simulations montrent que malgré une hausse des kilomètres parcourus, entre 2002 et 2012 (+15,4 % dans une bande de 50 mètres autour du tracé), les émissions de polluants sont en baisse régulière pour les NOx (-40 %), les PM10 (-50 %), et les COVNM (-65 %), en lien avec le renouvellement du parc automobile au profit de véhicules moins polluants.

Une densification de l'habitat favorisant davantage de circulation.

Concernant l'année 2012, la mise en place du tram à la place de la ligne de bus n°3 n'aurait pas d'impact significatif sur les émissions de polluants car le volume de trafic varie peu dans le secteur. En revanche, l'intensification de l'urbanisation le long de la future ligne de tram dans une bande de 50 mètres se traduirait par une augmentation du trafic de +4 % (scénario PLU) à 10 % (scénario dense) et d'une augmentation des émissions de polluants du même ordre de grandeur.

Préconisations en matière d'urbanisation

Ce travail a permis d'établir des préconisations en matière d'urbanisation (privilégier une urbanisation morcelée, en retrait de la rue...), afin de réduire l'impact de la pollution atmosphérique sur les populations habitants près des grands axes de circulation.

1	EVALUATION DE LA QUALITE DE L'AIR 2000-2007 SUR LE TRACE DE LA LIGNE 3 (SECTEUR GRENOBLE LE FONTANIL-CORNILLON)	6
1.1	METHODOLOGIE ADOPTEE	6
1.1.1	<i>Localisation des sites de mesures</i>	6
1.1.2	<i>Période de mesures</i>	9
1.1.3	<i>Représentativité des périodes de mesures</i>	10
1.1.4	<i>Techniques de mesures</i>	11
1.2	RESULTATS DES MESURES.....	14
1.2.1	<i>Les oxydes d'azote (NOx)</i>	14
1.2.2	<i>Les particules en suspension</i>	30
1.2.3	<i>Le benzène C₆H₆</i>	34
2	EVALUATION DE LA QUALITE DE L'AIR A L'HORIZON 2012	38
2.1	ESTIMATION DES EMISSIONS DE POLLUANTS EN 2012.....	38
2.1.1	<i>Evolution des émissions entre 2002 et 2012</i>	39
2.1.2	<i>Contribution de chaque type de véhicule aux émissions routières</i>	40
2.1.3	<i>Contribution du transport routier aux émissions totales</i>	40
2.1.4	<i>Impact de la mise en service du tram E en 2012</i>	41
2.1.5	<i>Impact de l'urbanisation le long de la ligne E</i>	42
2.2	EVALUATION DES ZONES RISQUANT DE DEPASSER LES SEUILS REGLEMENTAIRES	43
2.2.1	<i>Données d'entrée</i>	43
2.2.2	<i>Résultats de modélisation</i>	43
2.2.3	<i>Validation par rapport à une modélisation annuelle</i>	45
2.2.4	<i>Bandes impactées selon les scénarii 2012</i>	46
2.3	SYNTHESE - PRECONISATIONS.....	49
2.3.1	<i>Diminution des émissions</i>	49
2.3.2	<i>Règles d'urbanisme</i>	51
3	CONCLUSIONS	52

Introduction

Dans le cadre de l'observatoire du Plan de Déplacements Urbains de l'agglomération grenobloise, un suivi régulier de la qualité de l'air par campagnes de mesures est en place depuis l'année 2004, sur des lieux susceptibles d'être influencés par des modifications du trafic routier.

En 2007, 4 zones de l'agglomération ont fait l'objet de surveillance de la qualité de l'air :

- Etats de la qualité de l'air après restructuration (modification de la voirie) sur les tracés de ligne de transports en commun :
 - ligne de bus n°31 sur l'axe Eybens / Grenoble,
 - ligne de bus n°3 sur l'axe Grenoble / Le Fontanil-Cornillon,
- Etats de la qualité de l'air sur des secteurs susceptibles d'être exposés à des restructurations et des modifications de trafic routier :
 - le secteur Polygone Scientifique et le projet de prolongement de la ligne B de tramway,
 - le quartier Bouchayer-Viallet en proximité de l'A480 à Grenoble, complété de mesures en proximité de la Rocade sud de Grenoble.

La présente étude s'intéresse uniquement à la qualité de l'air sur le secteur de Grenoble/Le Fontanil-Cornillon. Les premières mesures de qualité de l'air sur le secteur ont été réalisées sur le tracé de la ligne 3 (anciennement ligne 33) entre décembre 2000 et janvier 2001 dans le cadre d'un état initial de la qualité de l'air.

Un premier volet consiste à dresser un bilan de la qualité de l'air entre 2000 et 2007, après restructuration de la ligne 3.

Un second volet porte sur une évaluation de la qualité de l'air le long du tracé de la future ligne E du tram qui se substituera à la ligne 3 à partir de 2012. Il s'agit dans un premier temps d'évaluer les émissions⁴ selon différents scénarii d'urbanisation le long de la ligne E en 2012. Une modélisation précise de la qualité de l'air n'étant pas réalisable actuellement dans ce secteur avec le modèle urbain SIRANE, une estimation des zones potentiellement exposées a été réalisée sur un brin théorique en modulant les paramètres d'entrée (émissions et météorologie) au moyen de valeurs compatibles avec le domaine d'étude. De ce travail vont découler des recommandations permettant de limiter la population exposée en 2012.

⁴ L'évaluation des émissions de polluants liés aux transports routiers à l'horizon 2012 s'appuie sur plusieurs simulations de trafic fournies par l'Agence d'Urbanisme de la Région Grenobloise. Ces calculs s'appuient sur différentes hypothèses socio-économiques (identification de nouvelles zones d'habitation et d'emplois.....).

1 Evaluation de la qualité de l'air 2000-2007 sur le tracé de la ligne 3 (secteur Grenoble le Fontanil-Cornillon)

1.1 Méthodologie adoptée

1.1.1 Localisation des sites de mesures



Tracé des lignes 33, 3 et 30

Mesures réalisées avant travaux en 2000/2001 (de décembre à janvier, cf carte page 5)

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. La première étude sur le secteur a regroupé **30 sites** de surveillance entre décembre 2000 et janvier 2001, avant la restructuration (rétrécissement de la voirie, accès handicapés..) de la ligne 3 (anciennement ligne 33).

Les mesures ont été réalisées à l'aide de deux **laboratoires mobile**, localisé avenue Général de Gaulle, au niveau du **Châtelet à Saint-Egrève** et avenue Général Leclerc au niveau de la **cité Merger à Saint-Martin le Vinoux**.

Ces sites de mesures sont représentatifs du type d'environnement « Influence trafic » : la qualité de l'air du site est influencée par le trafic automobile à proximité. Les résultats des principaux polluants issus du trafic automobile sont présentés à la suite de ce rapport.

Ces dernières ont été complétées par des mesures par tubes à diffusion passive.

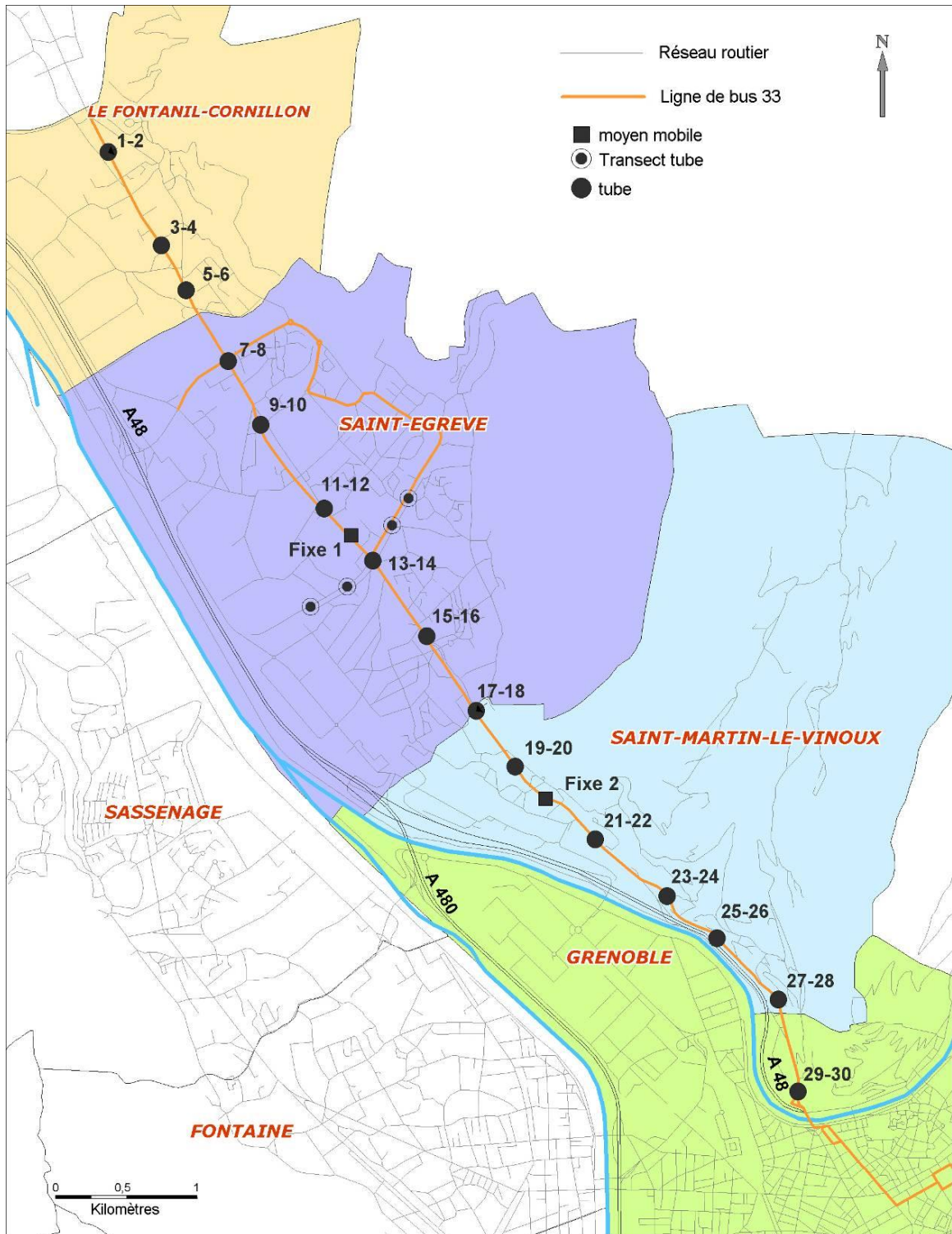
Ces tubes à diffusion ont permis d'évaluer les concentrations en dioxyde d'azote (NO_2) et benzène (C_6H_6) sur l'ensemble du tracé, en fonction de l'éloignement de l'axe observé.

Mesures réalisées après travaux en 2007 (quatre périodes, cf carte page 6)

En 2007, le nombre de sites de mesures a été restreint aux sites les plus pertinents (selon des critères de représentativité du tracé, de l'exposition de la population....) représentant 11 sites de mesures dont un laboratoire mobile (Châtelet à Saint-Egrève). Comme en 2000, un transect⁵ a été réalisé, mais uniquement avec 2 points de mesures (sites 5 et 6) distants de 500 mètres de l'axe du tracé de la ligne 3 et de l'avenue du Général de Gaulle.

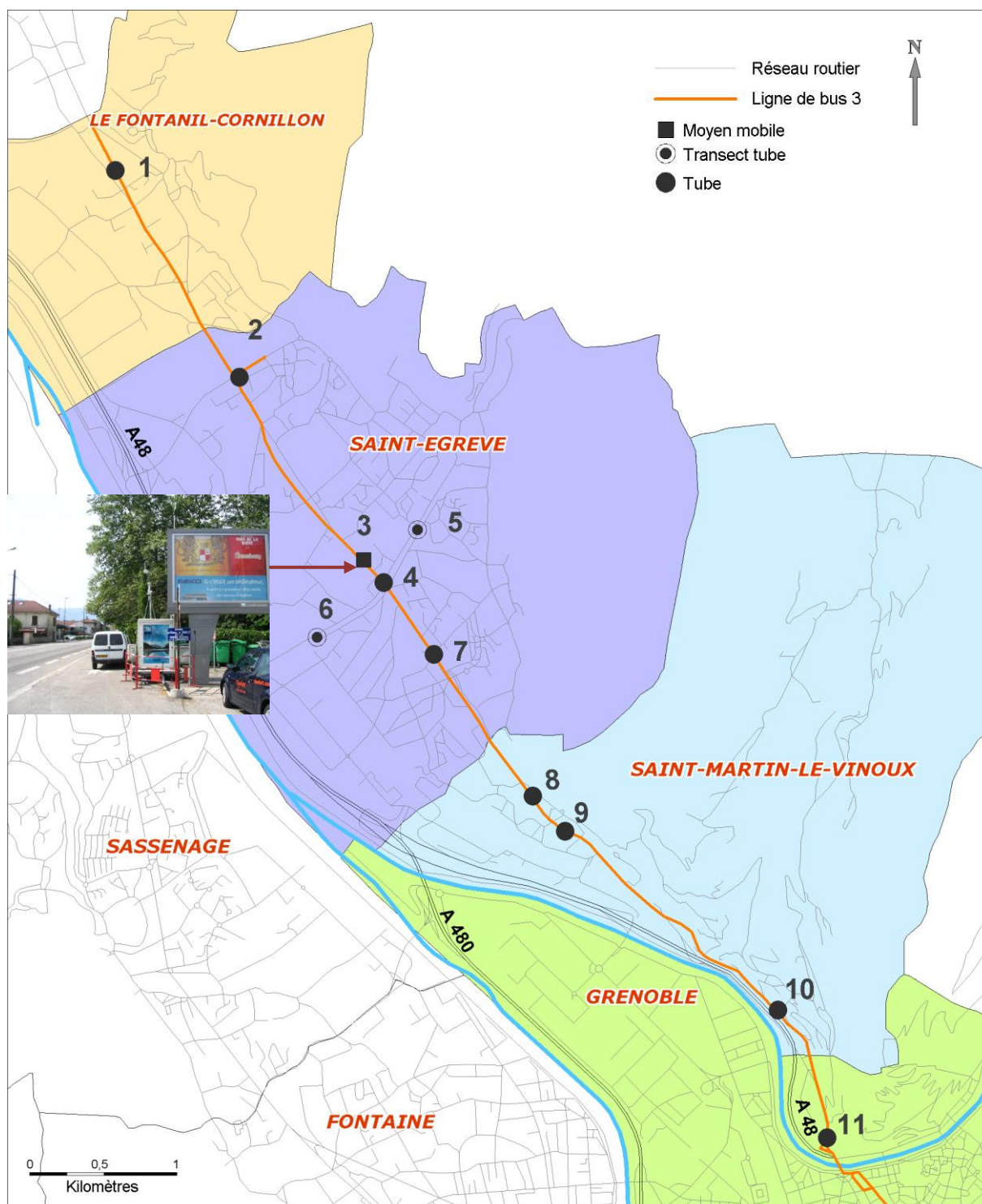
⁵ Série de mesures transversales permettant d'apprécier la décroissance des niveaux de pollution en fonction de l'éloignement par rapport à la route

Localisation des sites de mesures le long du tracé de la ligne 33 (2000/2001)



Carte réalisées à partir :
-Données de qualité de l'air ASCOPARG 2007
-BD carto IGN, 2003
-MAGELLAN géomatique 1999

Localisation des sites de mesures le long du tracé de la ligne 3 (2007)



N° de site	Nom du site
01	Le Fontanil
02	Carrefour Karben
03	Le Chatelet (moyen mobile)
04	Pont de Vence
05	Avenue de la monta (Transect)
06	Rue de l'Isère (Transect)
07	Route de Grenoble
08	Avenue Général Leclerc
09	Cité Merger
10	Rue de la résistance
11	Route de Lyon

Carte réalisées à partir :

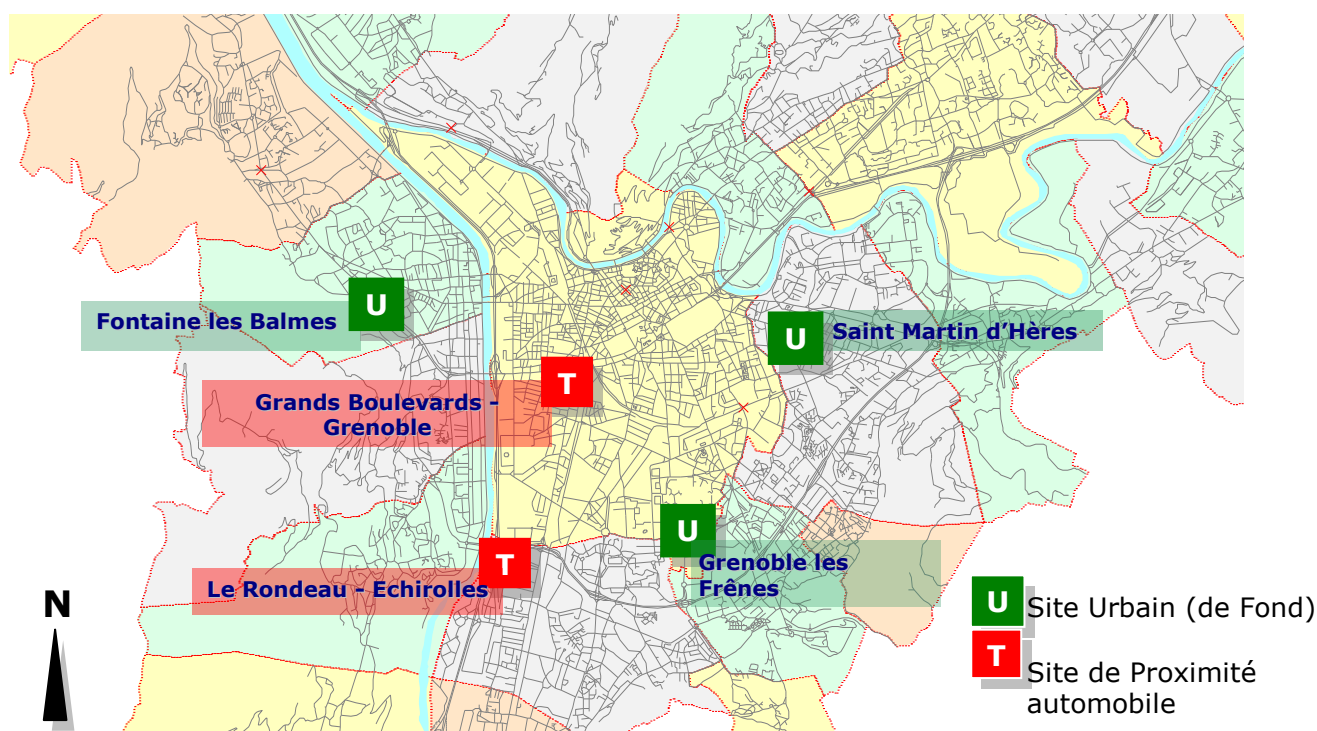
-Données de qualité de l'air ASCOPARG 2007

-BD carto IGN, 2003

-MAGELLAN géomatique 1999

Les stations de référence de l'ASCOPARG

Afin d'évaluer les concentrations de polluants mesurées sur les sites de l'étude, une comparaison des mesures est effectuée avec des **stations fixes**⁶ de l'ASCOPARG sur lesquelles le comportement des polluants est bien connu et sert de référence.



Localisation des stations fixes de surveillance (fond et proximité automobile) de l'ASCOPARG

Les 3 stations urbaines (Fontaine les Balmes, Grenoble les Frênes, Saint-Martin d'Hères) permettent de caractériser la pollution urbaine de fond, c'est à dire non influencée par une source particulière de pollution. **La moyenne annuelle de la pollution de fond de l'agglomération grenobloise est calculée sur la base de ces 3 stations.**

Les 2 stations de proximité automobile permettent de caractériser l'impact du trafic automobile sur la qualité de l'air de 2 grands axes routiers de l'agglomération.

1.1.2 Période de mesures

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 2008/50/CE du 21 mai 2008) pour être considérées comme représentatives de la qualité de l'air d'une année sur un site donné et permettre une comparaison avec les normes en vigueur.

La présente étude 2007 est ainsi conforme à ces exigences de représentativité. L'état initial réalisé en hiver 2000 ne permet par contre pas d'estimer des résultats annuels en raison de la faible représentativité.

⁶ Cf Annexe 1

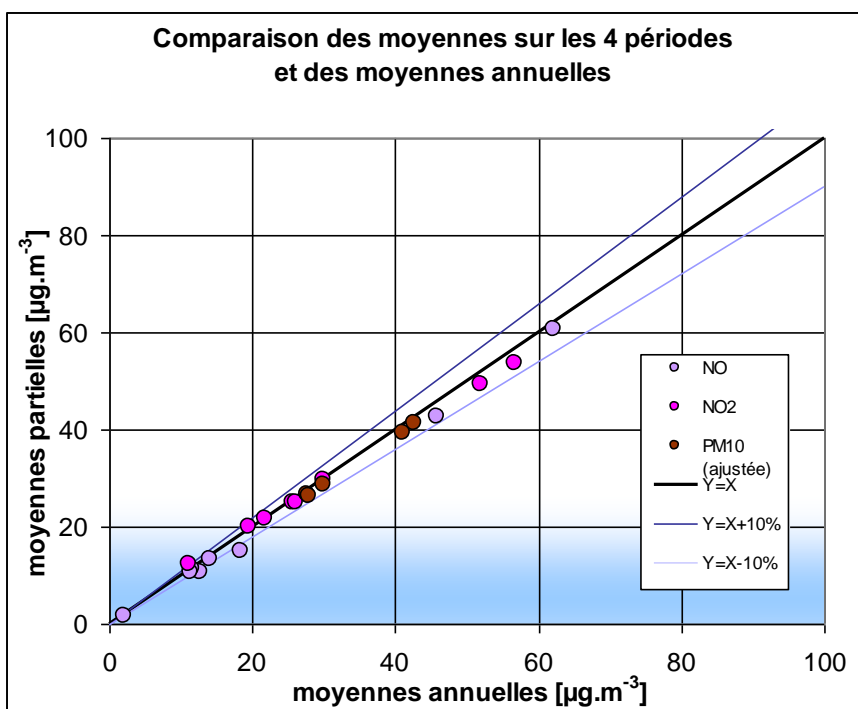
Campagnes		Date début	Date de fin	Saison	Durée de chaque campagne = 17 jours
1	Ligne 3 Saint-Egrève	24/1/07 10:30	9/2/07 8:45	Hiver	
2	Ligne 3 Saint-Egrève	27/4/07 9:30	14/5/07 8:45	Printemps	
3	Ligne 3 Saint-Egrève	25/7/07 10:15	10/8/07 8:00	Eté	
4	Ligne 3 Saint-Egrève	31/10/07 10:30	16/11/07 9:30	Automne	

1.1.3 Représentativité des périodes de mesures

Dans le cadre de cette étude, 8 semaines de mesures également réparties sur toute l'année ont été réalisées.

Il est nécessaire de vérifier si les mesures effectuées sont représentatives de l'année 2007 pour pouvoir être comparées aux valeurs réglementaires. Cette vérification se fait en utilisant les données de stations fixes de référence de l'ASCOPARG. En effet, celles-ci ont fonctionné durant l'année et donc pendant les campagnes de mesures. Si pour une station fixe, la moyenne calculée pendant les 8 semaines de mesures correspondant à une étude est proche de la moyenne annuelle (moyenne des 12 mois de mesures de la station fixe), alors ces 8 semaines de mesures seront considérées comme représentatives de l'année 2007.

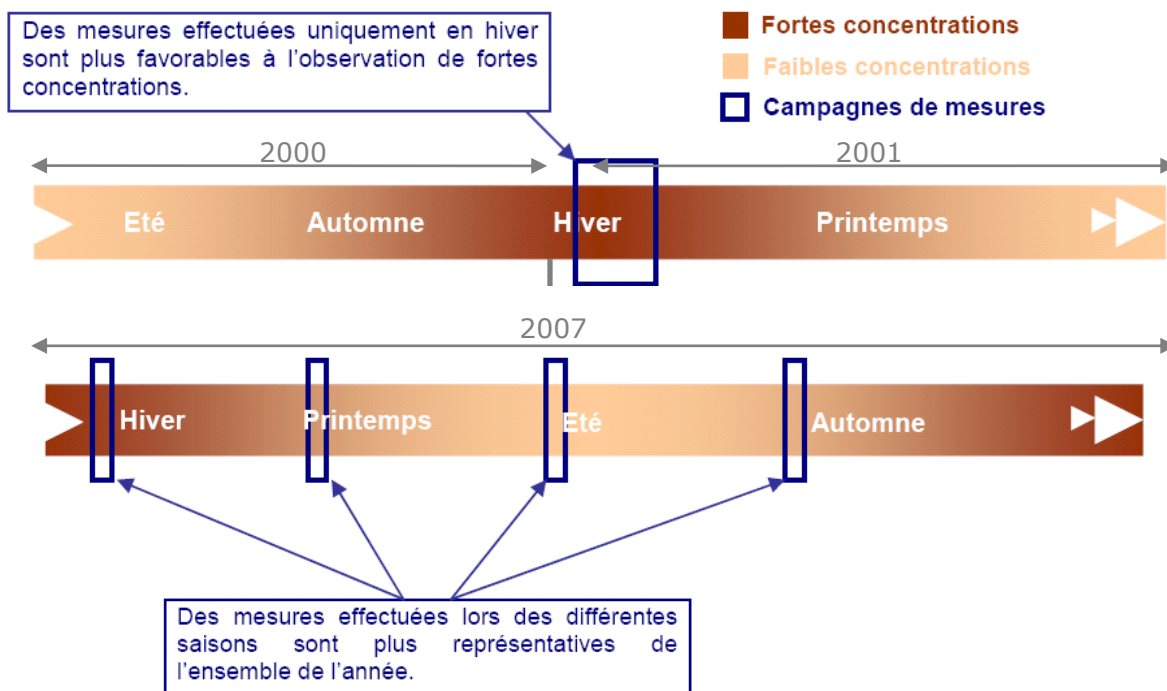
Le graphique suivant compare les moyennes de NO, NO₂, PM₁₀ calculées pour les **stations fixes** de l'ASCOPARG lors des périodes de mesures de l'observatoire des déplacements (8 semaines de mesures pour la ligne 3) avec la moyenne annuelle (calculée sur les 365 jours de mesures de la station fixe).



Comparaison des moyennes mesurées du NO, NO₂, PM₁₀ pendant les 8 semaines de l'étude et de la moyenne annuelle pour les stations fixes de l'ASCOPARG (Saint Martin d'Hères, Fontaine les Balmes, Les Frênes, Le Rondeau, Grenoble Boulevard, Le Versoud, Voreppe Volouise, Charavines).

Pour les sites fixes de référence, l'écart entre la moyenne calculée pendant les 4 campagnes de mesures (8 semaines) et la moyenne calculée sur l'année civile est faible. Les résultats ne nécessitent donc pas de correction.

Les 8 semaines de mesures effectuées par laboratoire mobile sur le site de la ligne 3 sont considérées comme représentatives de l'année 2007, et peuvent ainsi être comparés aux valeurs réglementaires annuelles.



Plan d'échantillonnage des campagnes de mesures de la ligne 3

1.1.4 Techniques de mesures

Les mesures dans le cadre d'une étude sont réalisées à partir de laboratoire mobile (remorque, camion) souvent complétées avec des mesures par échantillonnage passif (tubes).

ASCOPARG est certifiée ISO 9001 et à ce titre, toutes les dispositions prises pour le système assurance qualité sont applicables pour la présente étude (maintenance du parc d'appareils de mesures, gestion de l'étude).

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 dits « analyseurs » 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 à l'aide de gaz étalons reliés à la référence du Laboratoire National d'Essais (BNM-LNE), pour une qualité de mesure identique à celle pratiquée sur le réseau fixe.



La remorque laboratoire



Intérieur de la remorque

Photos d'une remorque laboratoire

Les mesures par laboratoire mobile sont dites continues. Elles fournissent des résultats horaires permettant d'apprécier les évolutions de la qualité de l'air au cours des journées. Les polluants mesurés sur ces sites temporaires sont les oxydes d'azote, les particules en suspension (PM_{10}), le monoxyde de carbone, le dioxyde de soufre et l'ozone.

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 par échantillonnage passif

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



Tubes BTX



Tubes NO₂

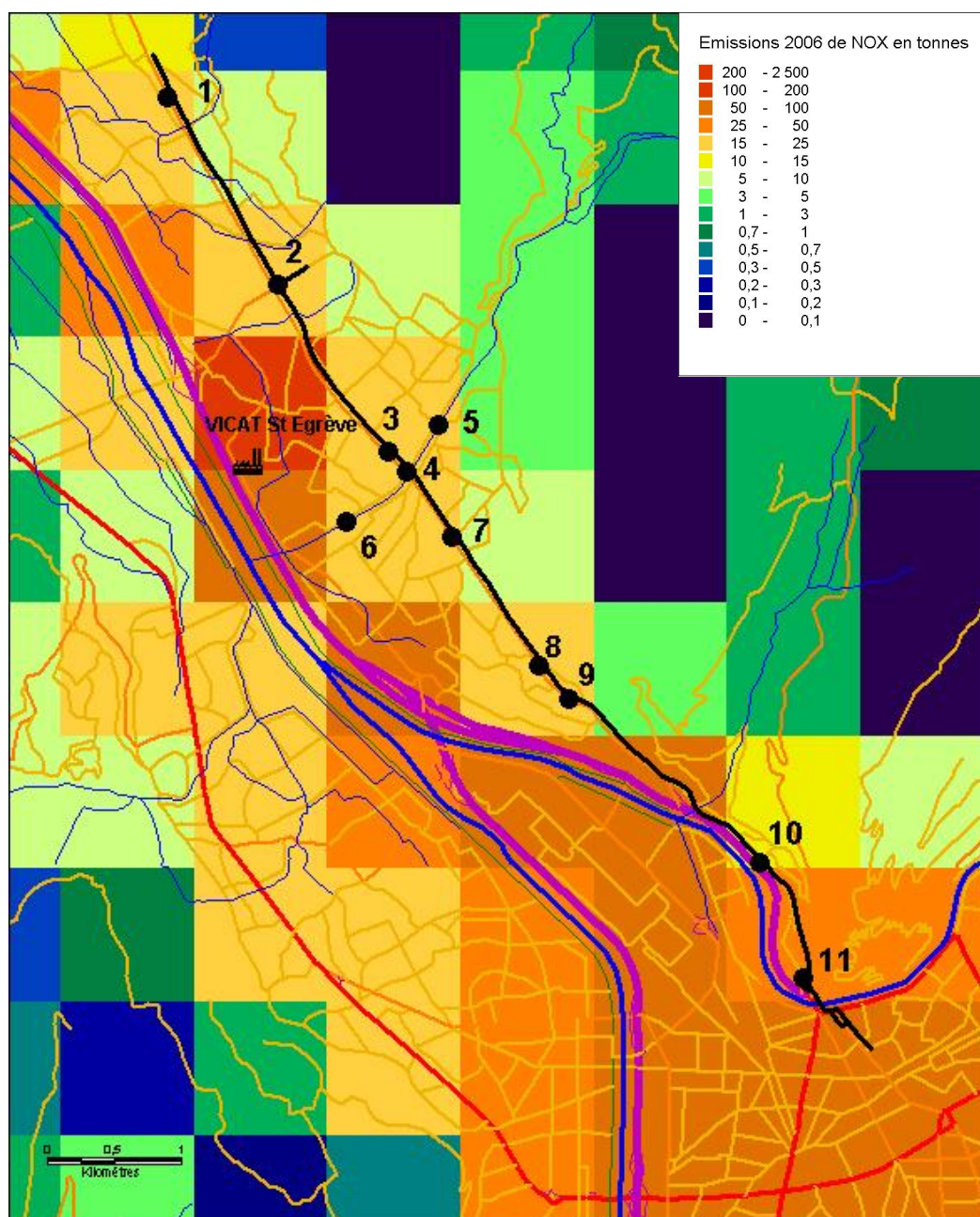
Photos des tubes à diffusion Benzène (Marque : Radiello) et tubes dioxyde d'azote (Marque : Passam AG)

1.2 Résultats des mesures

1.2.1 Les oxydes d'azote (NOx)

➤ Les émissions sur la zone d'étude

La cartographie suivante illustre les émissions de NOx en 2006 (tonnes/an) dans le secteur de la ligne 3.



Cadastre des émissions de NOx dans le secteur de la ligne 3 (ASCOPARG, émissions 2006 version 2008-3.

Sur la zone d'étude, les NO_x sont majoritairement émis par le trafic routier et cela en raison de la proximité de l'A48 et de la présence de la N 75. Il est à noter que la cimenterie Vicat constitue également une source ponctuelle d'émissions de NO_x assez importante.

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 : $N_2 + O_2 \rightarrow 2NO$), puis celui-ci se transforme rapidement dans l'air en NO₂ (quelques secondes à quelques minutes).

Dans le cas d'un site à proximité du trafic automobile, la concentration de monoxyde d'azote est directement liée à l'intensité des émissions, et donc au trafic automobile, mais aussi aux conditions météorologiques (stabilité de l'atmosphère, dispersion par le vent ou lessivage par les précipitations) et à la configuration de la rue (la configuration d'une rue en « canyon » peut favoriser l'accumulation des polluants).

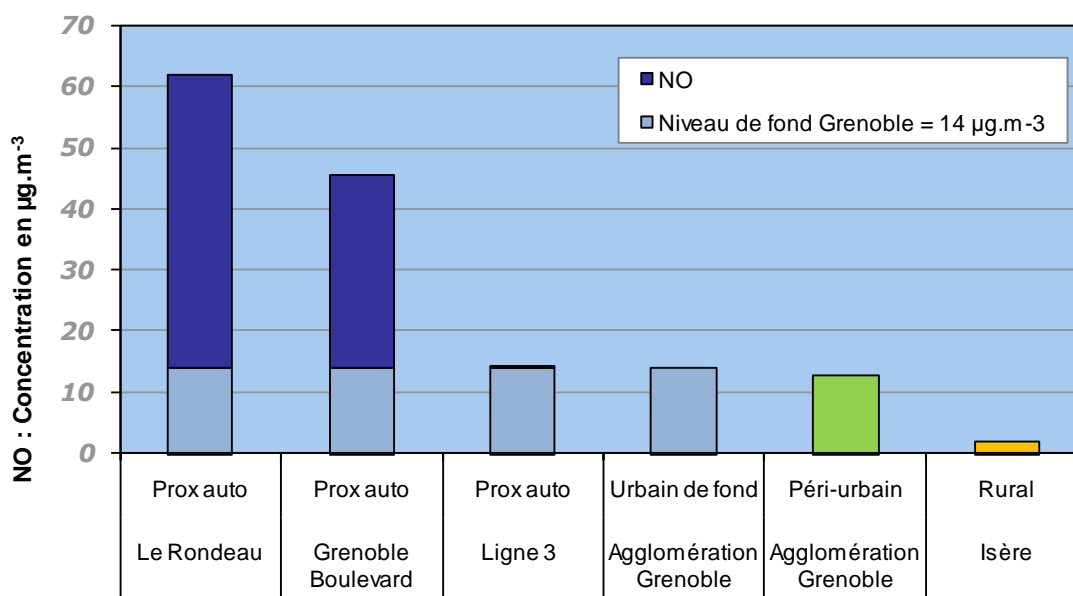
Il n'existe pas de réglementation concernant le NO. Cependant, cette mesure permet de bien caractériser l'activité du trafic automobile.

➤ Estimation de la moyenne annuelle de NO

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

Le graphique suivant illustre la concentration moyenne annuelle de NO estimée sur le site de la ligne 3 (le Chatelet à Saint-Egrève) et les concentrations moyennes annuelles mesurées sur les sites fixes de l'ASCOPARG.

Station	Ligne 3	Le Rondeau	Grenoble Boulevards	St Martin d'Hères	Grenoble Les Frênes	Fontaine les Balmes	Versoud	Voreppe Volouise	Charavines
Typologie	<i>Prox auto</i>	<i>Prox auto</i>		<i>Urbain de fond</i>			<i>Péri-urbain</i>		<i>Rural</i>
NO	Estimation Moyenne annuelle	Moyenne annuelle							
	14	62	46	18	13	11	12	14	2



Estimation de la concentration moyenne annuelle de NO sur le site de la ligne 3 et concentrations moyennes annuelles mesurées sur les sites fixes de l'ASCOPARG en 2007

Bien que ce site de mesures soit installé en proximité automobile (environ 4 mètres de la voie de circulation), les **niveaux de NO** peuvent être considérés **comme faibles**. En effet ces derniers sont **équivalents aux niveaux d'une station urbaine de fond** de l'agglomération grenobloise.

➤ Résultats des mesures de NO

- Les 8 semaines de mesures de l'année 2007

Les tableaux suivants illustrent les statistiques⁷ de NO sur le site de la ligne 3 (localisé à Saint-Egrève) comparées aux statistiques des sites de références de type urbain, périurbain, rural et de proximité automobile sur une période de 8 semaines.

Station	Ligne 3	St Martin d'Hères	Grenoble Les Frênes	Fontaine les Balmes	Versoud	Voreppe Volouise	Charavines
Typologie	<i>Prox auto</i>	<i>Urbain de fond</i>	<i>Urbain de fond</i>	<i>Urbain de fond</i>	<i>Péri-urbain</i>	<i>Péri-urbain</i>	<i>Rural</i>
% de données valides	99	98	94	91	99	98	98
Moyenne horaire	14	15	11	11	11	13	2
Minimum horaire	0	0	0	0	0	0	0
Maximum horaire	209	273	297	158	144	162	57
Percentile 99,8 horaire	178	215	211	151	132	142	16
Percentile 50 horaire	4	2	1	2	1	5	1

Station	Ligne 3	Le Rondeau	Grenoble Boulevards
Typologie	<i>Prox auto</i>	<i>Prox auto</i>	<i>Prox auto</i>
% de données valides	99	95	99
Moyenne horaire	14	61	43
Minimum horaire	0	0	0
Maximum horaire	209	411	417
Percentile 99,8 horaire	178	315	358
Percentile 50 horaire	4	44	27

Statistiques horaires du NO pendant les 4 campagnes de mesures (8 semaines)

⁷ Pour plus d'information sur les valeurs réglementaires dans le domaine de l'air se référer : [www.atmo-rhonealpes.org/publications/ASCOPARG/généralités air et Annexe 2](http://www.atmo-rhonealpes.org/publications/ASCOPARG/généralités%20air%20et%20Annexe%202)

Les niveaux moyens de concentration de NO mesurés sur le site temporaire de Saint-Egrève correspondent aux niveaux de fond de l'agglomération grenobloise⁸.

- La période du 08/12/2000 au 07/01/2001

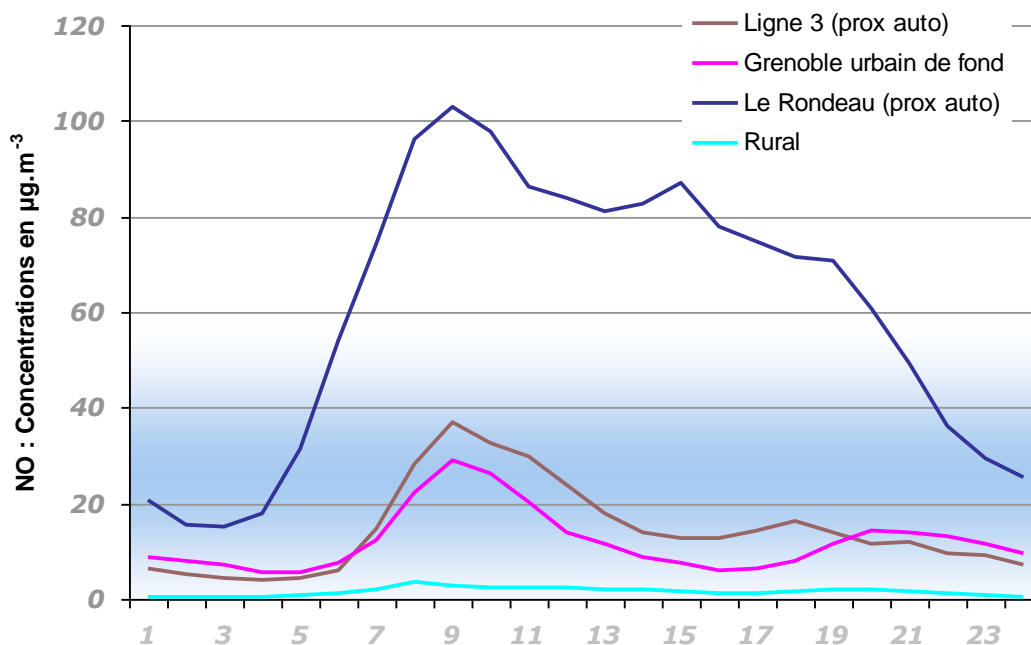
Le tableau suivant illustre les statistiques de NO sur le site de Saint-Egrève comparées aux statistiques des sites de références en proximité automobile et en milieu urbain pendant la période hivernale 2000/2001.

	Prox auto Camion labo St Egrève	Prox auto Grenoble Foch	Urbain de fond Villeneuve
Taux de validité	100%	100%	100%
Moyenne	53	119	63
Minimum horaire (µg/m ³)	0	0	0
Maximum horaire (µg/m ³)	384	593	448

Les niveaux enregistrés sur le site de la ligne 3 étaient également modérés et **proches de ceux d'une station urbaine** de fond grenobloise.

➤ **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 comme le montre le graphique suivant :



Profil moyen horaire du NO sur le site de la ligne 3 et les stations fixes de l'agglomération grenobloise (campagnes de mesures 2007)

⁸ La moyenne annuelle de la pollution de fond de l'agglomération grenobloise est calculée sur la base des trois stations (Grenoble les Frênes, Fontaine les Balmes et Saint-Martin d'Hères)

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 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 ($\sim 10-30 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) sur l'ensemble de l'agglomération.

L'écart de concentration de NO entre les sites s'explique notamment par l'intensité du trafic à proximité du site de mesures. Les concentrations de NO sont plus élevées sur le site trafic du Rondeau que sur celui de la ligne 3, en lien avec l'importance du trafic sur le site grenoblois (environ 90 000 véhicules jour contre environ 10 000 sur le site localisé avenue du Général de Gaulle à Saint-Egrève). L'augmentation des concentrations de NO pendant les heures de pointe sur le site de proximité automobile de la ligne 3 s'apparente plus à celle d'une station de fond que d'une station trafic. Ces résultats peuvent également s'expliquer **par la configuration de l'avenue** (assez large et dégagée) qui **est favorable à la dispersion des polluants.**

En résumé pour le monoxyde d'azote (NO)

La mesure du monoxyde d'azote dans l'environnement est un bon traceur de l'influence directe des sources de pollution d'origine automobile. Les profils moyens de NO et les concentrations moyennes équivalentes au niveau de fond de l'agglomération grenobloise montrent une faible influence du trafic automobile sur le site de la ligne 3 (Saint Egrève – Le Chatelet), malgré la proximité de la voirie. La configuration du site apparaît comme favorable à la dispersion des polluants. La même tendance a été observée sur le même site lors des mesures effectuées en 2000/2001.

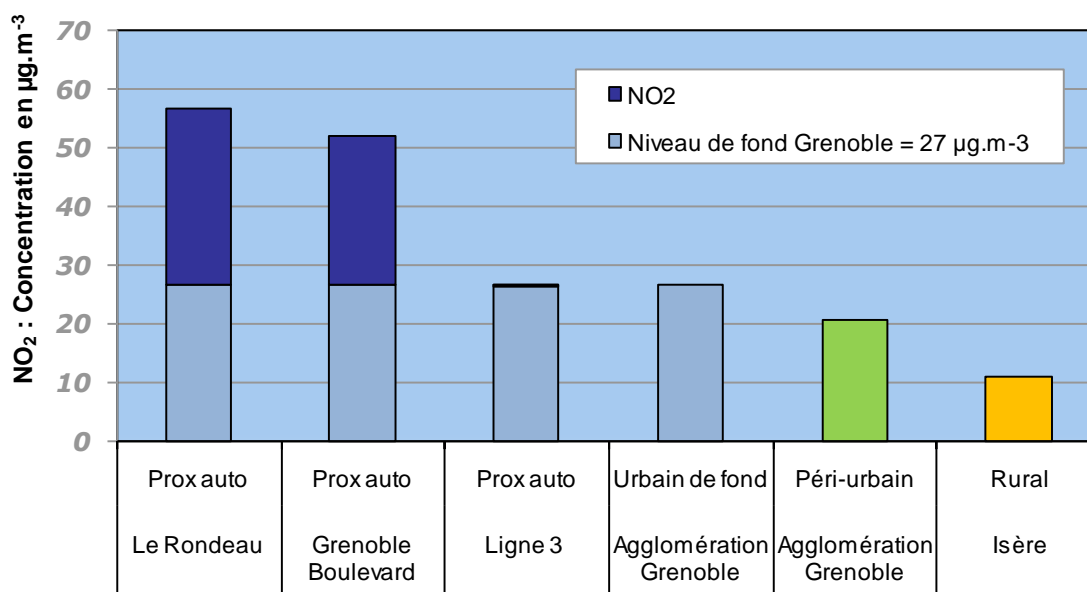
Le dioxyde d'azote

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.

➤ Estimation de la moyenne annuelle de NO₂

Le graphique suivant illustre la concentration moyenne annuelle de NO₂ estimée sur le site de la ligne 3 et les concentrations moyennes annuelles mesurées sur les sites fixes de l'ASCOPARG.

Station	Ligne 3	Le Rondeau	Grenoble Boulevards	St Martin d'Hères	Grenoble Les Frênes	Fontaine les Balmes	Versoud	Voreppe Volouise	Charavines
Typologie	Prox auto	Prox auto		Urbain de fond			Péri-urbain		Rural
NO ₂	Estimation Moyenne annuelle	Moyenne annuelle							
	27	57	52	30	26	26	20	22	11



Estimation de la concentration moyenne annuelle de NO₂ sur le site de la ligne 3 et concentrations moyennes annuelles mesurées sur les sites fixes de

Les niveaux moyens en NO₂ sont équivalents à ceux observés sur les sites urbains de fond de l'agglomération grenobloise⁹.

⁹ La moyenne annuelle de la pollution de fond de l'agglomération grenobloise est calculée sur la base des trois stations (Grenoble les Frênes, Fontaine les Balmes et Saint-Martin d'Hères)

➤ **Résultats des mesures de NO₂**

- les 8 semaines de mesures (année 2007)

Les tableaux suivants illustrent les statistiques de NO₂ sur le site de la ligne 3 (localisé à Saint-Egrève) comparées aux statistiques des sites de références de type urbain, périurbain, rural et de proximité automobile sur une période de 8 semaines.

Station	Ligne 3	St Martin d'Hères	Grenoble Les Frênes	Fontaine les Balmes	Versoud	Voreppe Volouise	Charavines
Typologie	Prox auto	Urbain de fond	Urbain de fond	Urbain de fond	Péri-urbain	Péri-urbain	Rural
% de données valides	99	98	94	93	99	98	98
Moyenne horaire	27	30	25	25	20	22	12
Minimum horaire	0	0	0	0	0	1	1
Maximum horaire	90	121	99	91	78	70	58
Percentile 99,8 horaire	88	109	89	86	69	64	56
Percentile 50 horaire	23	26	22	20	17	19	10

Station	Ligne 3	Le Rondeau	Grenoble Boulevards
Typologie	Prox auto	Prox auto	Prox auto
% de données valides	99	95	99
Moyenne horaire	27	54	49
Minimum horaire	0	2	4
Maximum horaire	90	156	174
Percentile 99,8 horaire	88	138	147
Percentile 50 horaire	23	50	48

Statistiques horaires du NO₂ pendant les 4 campagnes de mesures (8 semaines)

- la période du 08/12/2000 au 07/01/2001

Le tableau suivant illustre les statistiques de NO₂ sur le site de Saint-Egrève comparées aux statistiques des sites de références en proximité automobile et en milieu urbain pendant la période hivernale.

	Prox auto Camion labo St Egrève	Prox auto Grenoble Foch	Urbain de fond Villeneuve
Taux de validité	100%	100%	100%
Moyenne	46	60	45
Minimum horaire (µg/m ³)	4	0	4
Maximum horaire (µg/m ³)	121	151	142

Statistiques horaires du NO₂ pendant la période du 08/12/2000 au 07/01/2001

Malgré la proximité automobile du site d'étude, les niveaux observés en hiver 2000/2001 ainsi qu'en 2007 sont équivalents à ceux observés en zone urbaine à Grenoble.

➤ **Etude du rapport Monoxyde d'azote/Dioxyde d'azote**

Selon la proximité des sources de NOx (NOx = NO+NO₂), le rapport NO/NO₂ peut varier :

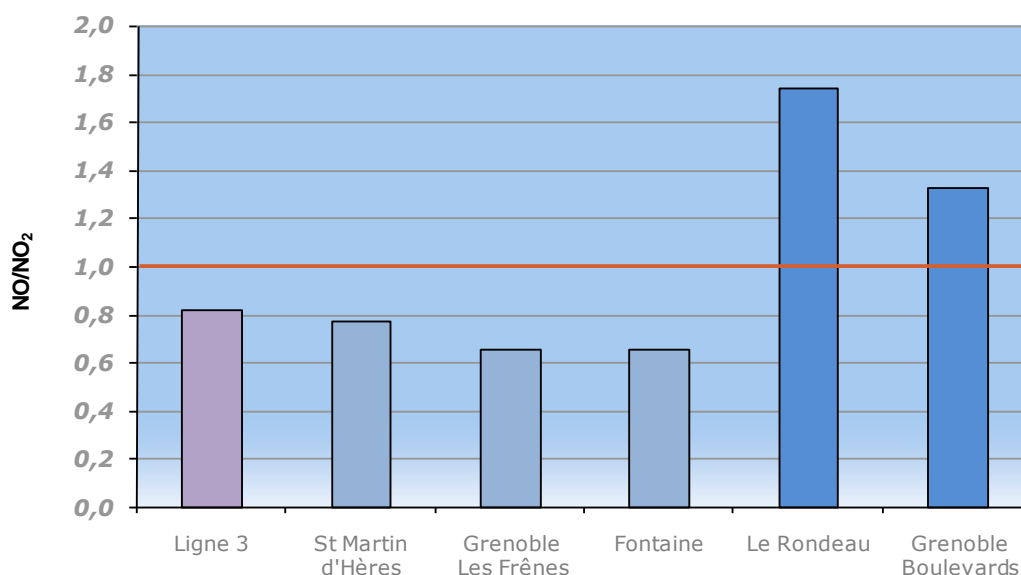
NO/NO₂>1 : le NO est prédominant par rapport au NO₂. Le site est sous l'influence directe d'une source de NOx. En effet le NO est un produit de la combustion résultant de l'association de l'oxygène et de l'azote de l'air à haute température.

NO/NO₂<1 : le NO₂ est prédominant par rapport au NO. Les oxydes d'azote (NOx) sont présents sous la forme la plus oxydée, le NO₂.

Un rapport annuel supérieur à 1 traduit une influence directe du trafic automobile avec une présence majoritaire de polluants primaires (NO).

Les rapports sont calculés à partir des concentrations moyennes exprimées en ppb sur la période de mesures.

- les 8 semaines de mesures (année 2007)



Rapport NO/NO₂ en (ppb) sur les 4 campagnes de mesures (année 2007)

Le rapport du site de Saint-Egrève est légèrement supérieur aux sites urbains de l'agglomération grenobloise. Il est cependant inférieur à 1 et montre une influence automobile très modérée bien que la mesure s'effectue en bordure de voirie.

-La période du 08/12/2000 au 07/01/2001

	Ligne 3	Grenoble Foch	Grenoble les Frênes
	Prox auto	Prox auto	Urbain de fond
Rapport NO/NO ₂ (ppb)	1,8	3,1	2,1

Rapport NO/NO₂ en (ppb) du 8 décembre 2000 au 7 janvier 2001

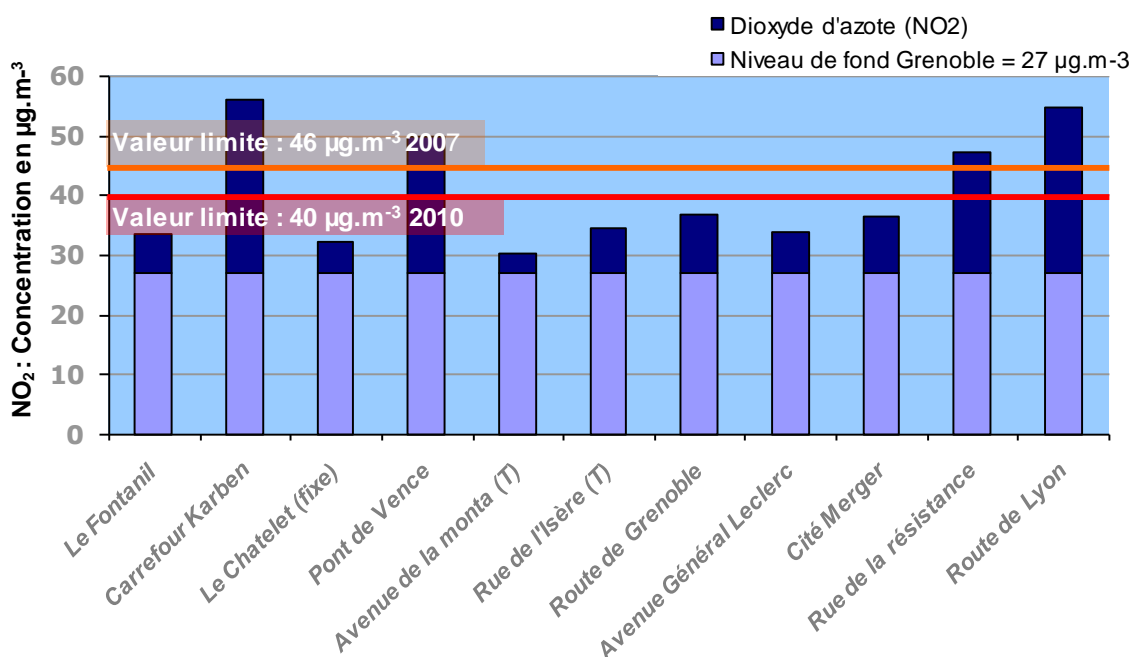
Même si le rapport NO/NO₂ est habituellement plus élevé pendant la saison hivernale, sur le site de Saint-Egrève, il reste inférieur à celui de la station urbaine de Grenoble les Frênes et indiquait déjà en 2000 cette influence modérée.

L'intensité du trafic et la configuration du site peuvent également expliquer le rapport modéré de NO/NO₂ du site de St Egrève le Châtelet par rapport à des sites de proximité automobile plus marqués.

➤ **Variations sur le tracé de la ligne 3 : mesures de NO₂ par échantillonneurs passifs**

Des mesures complémentaires de dioxyde d'azote ont été réalisées par tubes à diffusion passive. Neuf sites ont été localisés le long de l'axe emprunté par la ligne de bus 3 dont un au niveau du moyen mobile à Saint-Egrève. Un transect a également été réalisé en plaçant 2 points de mesures (site N°5 et 6) distant de 500 mètres perpendiculairement à l'axe emprunté par la ligne 3 au niveau du site du pont de Vence (site N°4).

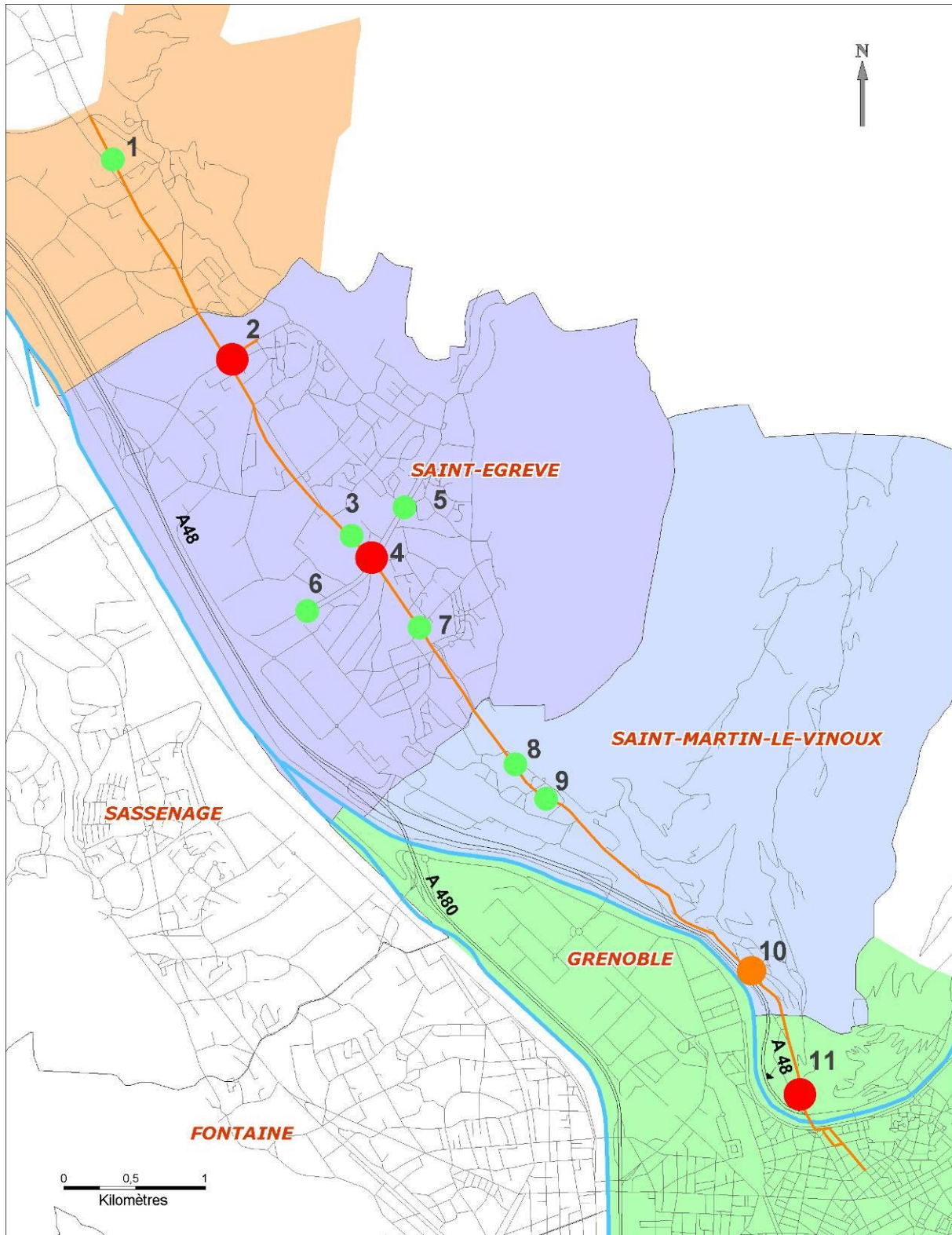
Afin de pouvoir les comparer avec les mesures des analyseurs une correction des résultats des tubes NO₂ (année 2000/2001 et 2007) est réalisée (standardisation des données à 20°).



Concentrations moyennes annuelles estimées de NO₂ sur le tracé de la ligne 3

n° site	Sites	Typologie	NO ₂
1	Le Fontanil	Prox auto	33
2	Carrefour Karben	Prox auto	56
3	Le Chatelet (échantillonneur)	Prox auto	32
3	Le Chatelet (analyseur)	Prox auto	27
4	Pont de Vence	Prox auto	50
5	Avenue de la monta (T)	Transect	30
6	Rue de l'Isère (T)	Transect	35
7	Route de Grenoble	Prox auto	37
8	Avenue Général Leclerc	Prox auto	34
9	Cité Merger	Prox auto	36
10	Rue de la résistance	Prox auto	47
11	Route de Lyon	Prox auto	55

Concentrations moyennes annuelles de NO₂ sur le tracé de la ligne 3 (2007)



Concentrations moyennes annuelles
NO₂ en µg.m⁻³



Carte réalisées à partir :
-Données de qualité de l'air ASCOPARG 2007
-BD carto IGN, 2003
-MAGELLAN géomatique 1999

La comparaison des concentrations moyennes annuelles de NO₂ sur le site n°3 (mesures réalisées à partir de 2 techniques différentes) montre que les mesures par tubes à diffusion sont plus élevées que celles réalisées en continu à partir d'un analyseur (5 µg.m⁻³ d'écart). La technique des échantillonneurs passive, moins précise que les analyseurs automatiques, a tendance à surestimer les concentrations de polluants¹⁰.

Les **concentrations annuelles estimées de NO₂** sur l'ensemble du tracé sont comprises entre **32 µg.m⁻³ (Le châtelet à St Egrève) et 56 µg.m⁻³ (Carrefour Karben)**. Les **niveaux les plus élevés** (entre 50 et 56 µg.m⁻³) se situent sur **les sites du carrefour Karben, carrefour du pont de Vence, et de route de Lyon**. Ces derniers présentent des niveaux **équivalents aux sites de proximité automobile de Grenoble** et ne respectent ni la valeur limite annuelle de 2007 (46 µg.m⁻³), ni celle préconisée pour 2010 (40 µg.m⁻³). Il convient de rappeler que **ces sites sont particulièrement proches du trafic et de carrefours importants**.

Le site de mesures n°10 (rue de la résistance) présente également des concentrations plus élevées en comparaison aux autres points de mesures situés sur le tracé de la ligne 3, et cela en raison très probablement de la configuration du site situé en montée¹¹.

Les mesures de dioxyde d'azote réalisées par échantillonnage passif ont montré un niveau moyen assez homogène sur l'ensemble du tracé de la ligne 3, à l'exception des 4 points particuliers cités précédemment dont les concentrations sont plus élevées. Même si **ceux-ci ont en moyenne des concentrations supérieures au niveau de fond de l'agglomération grenobloise** (27 µg.m⁻³), ils **se rapprochent plus** des niveaux mesurés sur les sites urbain grenoblois que de **ceux observés en proximité automobile**.

La réalisation de mesures transversales (transect) montre une diminution des concentrations plus accentuée avenue de la Monta par rapport à la rue de l'Isère. Au regard de la direction des vents dominants (Nord-Ouest / Sud-Est) (cf page 23), ce dernier pourrait être influencé par la cimenterie Vicat localisée à 700 mètres au nord ouest du site. L'autoroute A 48, située à environ 500 mètres, peut également avoir une influence par vent Sud / Sud Ouest.

➤ **Comparaison des concentrations moyennes de NO₂ entre 2000 et 2007**

Les mesures de NO₂ effectuées sur le tracé de la ligne 3 entre l'année 2000 et 2007 sont difficilement comparables du fait de la différence entre la durée et la répartition des campagnes de mesures sur l'année.

Les mesures effectuées en 2000 ne sont pas suffisamment représentatives de l'année car elles ne durent que 5 semaines uniquement en période hivernale. Les mesures de 2007 ont duré 8 semaines réparties sur l'ensemble de l'année. Par conséquent seules les mesures effectuées pendant la période hivernale ont pu être comparées.

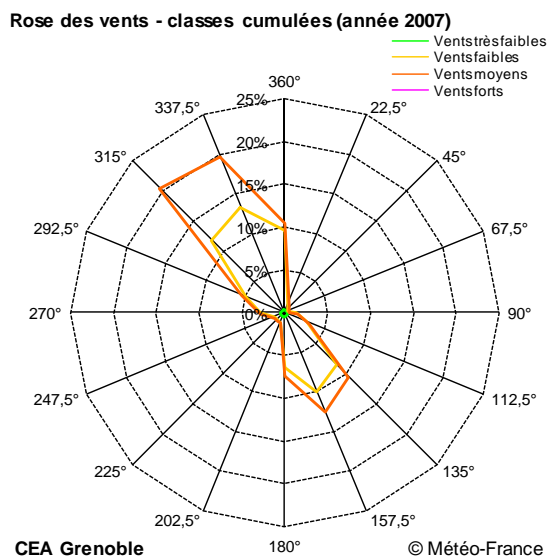
Une première analyse vise à comparer les conditions météorologiques entre les hivers 2000 et 2007 afin d'étudier l'influence de ces dernières sur les niveaux de concentrations en NO₂.

¹⁰ Echantillonneurs passifs pour le dioxyde d'azote ADEME, LCSQA, fédération Atmo.

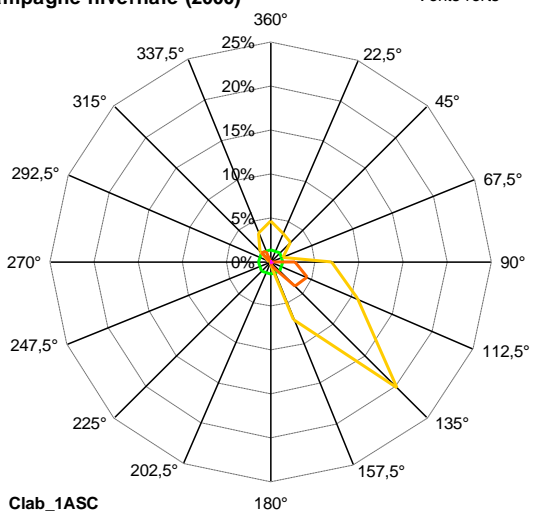
¹¹ La pente oblige le moteur à développer plus de puissance et donc à plus consommer, ce qui entraîne une augmentation des émissions de polluants.

Présentation des conditions météorologiques

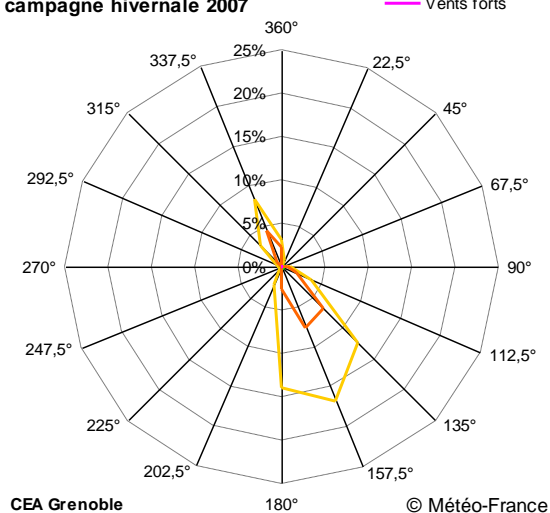
✓ Le vent



Rose des vents - classes non cumulées
campagne hivernale (2000)



Rose des vents - classes non cumulées
campagne hivernale 2007



La géographie locale favorise une orientation du vent selon l'axe Nord-Ouest / Sud-Est avec une direction de vent habituellement orientée Nord. Les conditions de vents lors de ces 2 campagnes de mesures hivernales sont assez similaires. En effet, la direction de vent principale est sud-est et la vitesse du vent dominant est faible, par conséquent favorable à l'accumulation des polluants.

✓ Les températures et précipitations

	du 08/12/2000 au 07/01/2001 Camion laboratoire	du 24/01/2007 au 9/02/2007 MF CEA Grenoble	Normales mensuelles de décembre	Normales mensuelles janvier	Normales mensuelles février
température minimale (°C)	2	-5,0	-0,2	-1,3	0,1
température maximale (°C)	16,6	13,4	6,8	6,2	9
moyenne (°C)	6,8	2,8	3,3	2,4	4,6
Précipitation	127,4	9	81,8	83,5	79,3

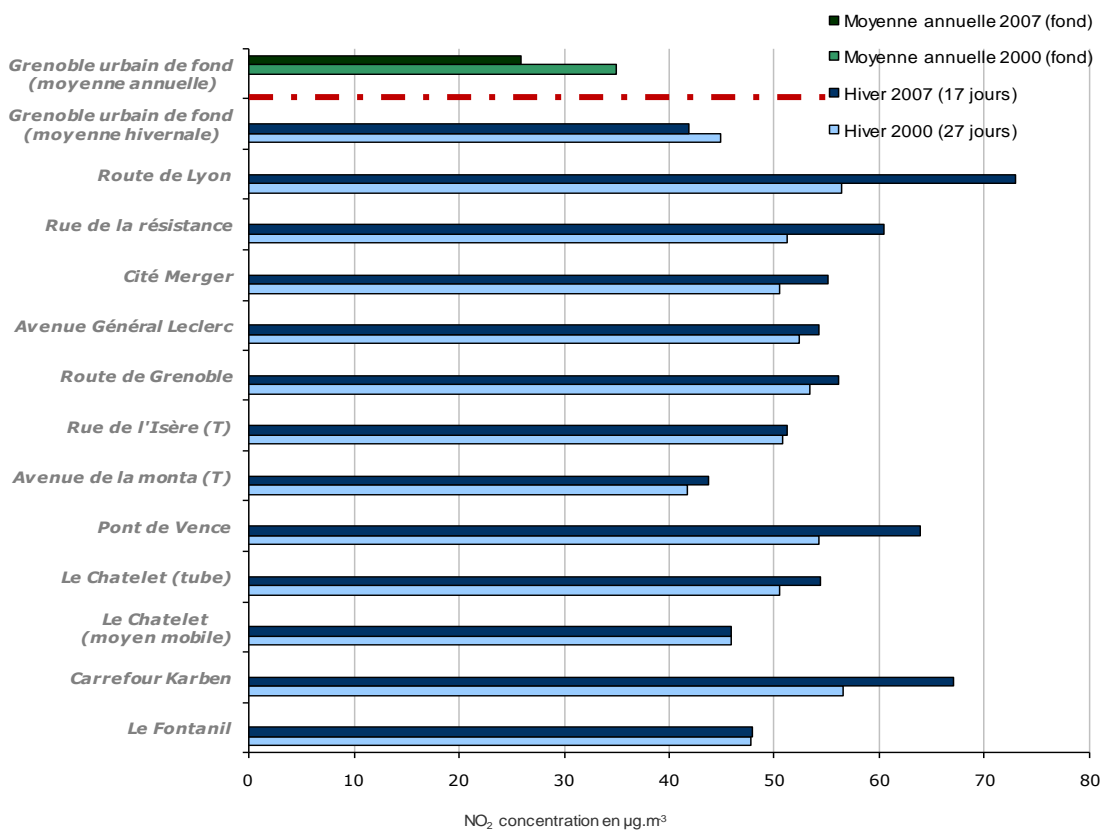
Les températures observées pendant la campagne de mesures de l'hiver 2000 sont douces en comparaison avec les normales saisonnières du mois de décembre et de celles observées lors de la campagne de 2007. **La période des mesures effectuées durant l'année 2000 a été particulièrement pluvieuse** avec des niveaux sur un mois nettement supérieurs aux normales saisonnières. **Par opposition, peu de précipitations sont observées lors de la période de mesures de l'hiver 2007.**

Les conditions météorologiques observées lors de la campagne de 2007 sont plus propices à l'accumulation des polluants. Mais il convient également de noter sur l'histogramme suivant que la baisse des niveaux de fond en dioxyde d'azote entre 2000 et 2007 semble compenser l'effet météorologique défavorable.

Le graphique suivant compare les mesures de NO₂ effectuées sur la période hivernale de l'année 2000 (du 08/12/2000 au 07/01/2001) avec celle de l'année 2007 réalisées du (24/01/2007 au 09/02/2007) sur :

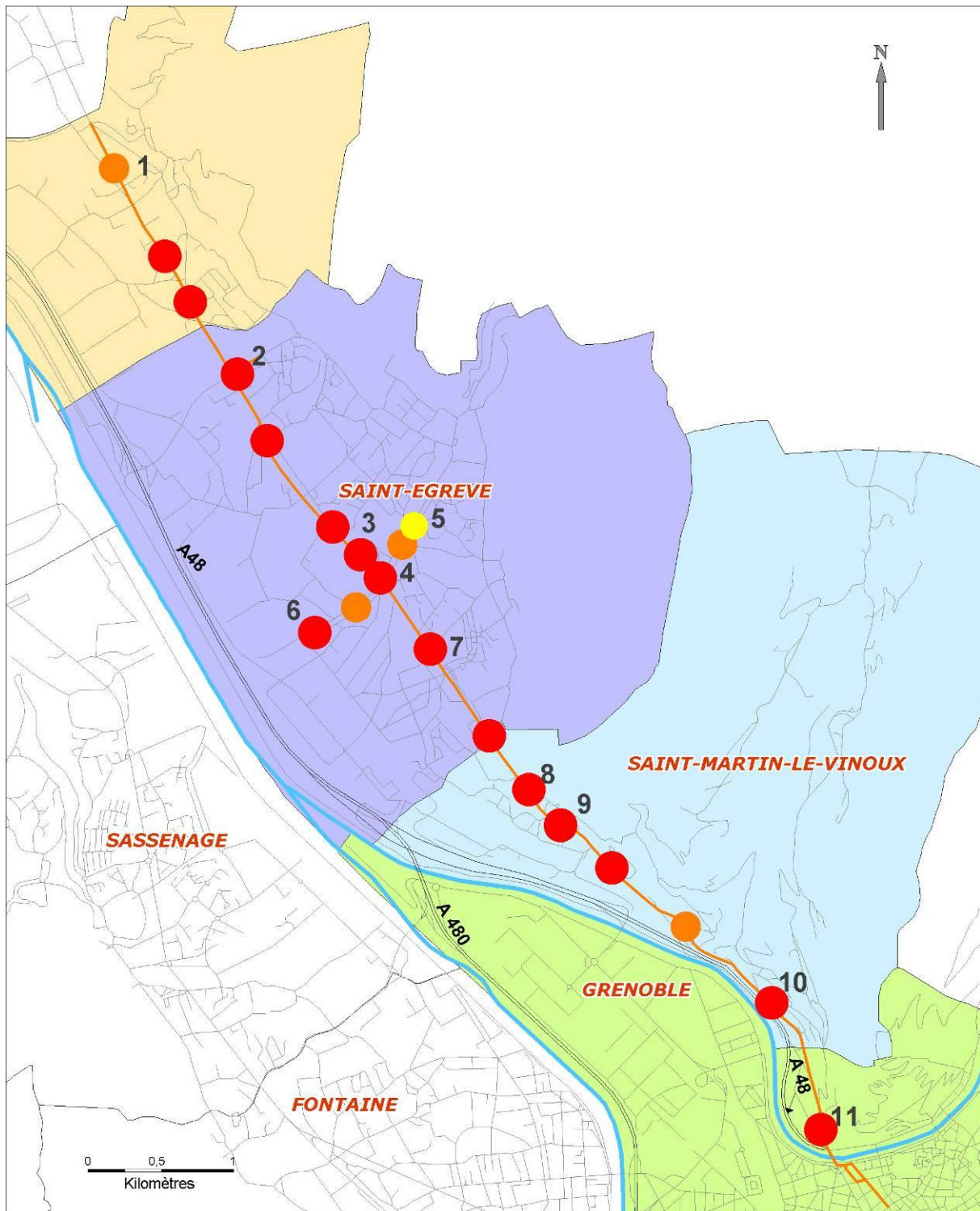
-les sites du tracé de la ligne 3 ;

-le site urbain de fond de Grenoble les Frênes. La comparaison entre la moyenne annuelle de 2000 et 2007 de ce dernier est également représentée sur ce graphique.



Concentrations moyennes hivernales et annuelles de NO₂

Concentrations moyennes hivernales de NO₂ sur le tracé de la ligne 3 (du 08/12/2000 au 07/01/2001)

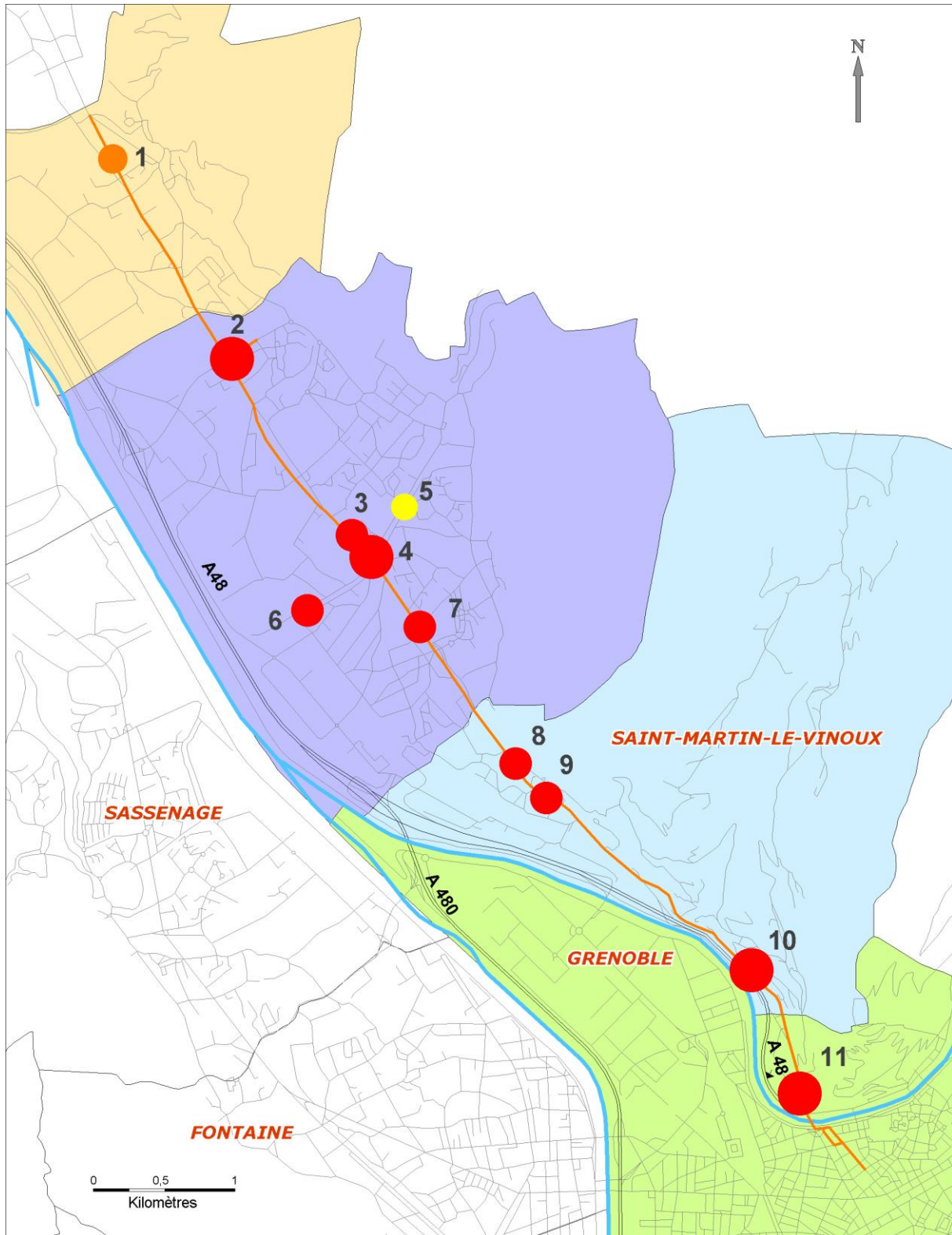


Concentrations moyennes annuelles
NO₂ en µg.m⁻³



Carte réalisées à partir :
 -Données de qualité de l'air ASCOPARG 2007
 -BD carto IGN, 2003
 -MAGELLAN géomatique 1999

Concentrations moyennes hivernales de NO₂ sur le tracé de la ligne 3 (du 24/01/2007 au 09/02/2007)



Concentrations moyennes annuelles
NO₂ en µg.m⁻³



Carte réalisées à partir :
 -Données de qualité de l'air ASCOPARG 2007
 -BD carto IGN, 2003
 -MAGELLAN géomatique 1999

Les **concentrations de NO₂ relevées** pendant la campagne de mesures de **l'hiver 2007 sont plus élevées** en moyenne, et en particulier **sur les 2 points noirs** déjà identifiés en 2000 (carrefour Karben, route de Lyon) ainsi que sur **le site du pont de Vence**, tous trois **exposés à un trafic plus intense**. Il faut souligner **les conditions météorologiques pendant la campagne de 2007, plus favorables à l'accumulation des polluants**.

Cependant **les niveaux de fond observés sur les mêmes périodes de mesures** sont en diminution **entre l'hiver 2000 et 2007** (cette tendance se confirme sur les moyennes annuelles depuis 2000).

Plusieurs facteurs peuvent être à l'origine de cette augmentation des concentrations de NO₂ entre 2000 et 2007 sur le tracé de la ligne 3 :

- Les **conditions météorologiques** plus favorables à l'accumulation des polluants pendant la campagne 2007 ;
- La **réorganisation de la voirie sur la ligne 3** qui a eu tendance à **diminuer la fluidité du trafic** ;
- La **variation de la quantité de trafic** entre les 2 campagnes de mesures. La moitié de la campagne de mesure de 2000/2001 a été effectuée pendant les vacances de fin d'année alors que celle de 2007 a été réalisée pendant une période d'activité normale. Le trafic aurait augmenté d'environ 20% entre ces 2 périodes (données Conseil Général de l'Isère).

En résumé pour le dioxyde d'azote (NO₂)

Les concentrations de NO₂ mesurées en un point du tracé à Saint-Egrève en 2007 (ainsi qu'en 2000) par le laboratoire mobile sont équivalentes aux niveaux de fond de l'agglomération grenobloise malgré la proximité du site d'étude par rapport à la voirie. Les niveaux modérés de NO₂ observés semblent liés à l'intensité moyenne du trafic de la N75 (6 fois moins élevé que sur le site du Rondeau) mais également à la configuration de la rue qui est favorable à la dispersion des polluants (rue ouverte).

les mesures de NO₂ sur l'ensemble du tracé de la ligne 3 sont assez homogènes et dépassent le niveau de fond de l'agglomération grenobloise. Trois sites se distinguent par rapport au reste des résultats de par leur exposition à un trafic plus intense et congestionné (Carrefour Karben, route de Lyon et pont de Vence).

Enfin, comparativement à l'étude 2000/2001, les concentrations de NO₂ relevées pendant la campagne de mesures de l'hiver 2007 apparaissent stables sur une grande partie du tracé mais plus fortes sur les « points noirs », en lien probable avec un trafic plus intense et moins fluide. A l'inverse, la moyenne de fond urbain de l'agglomération en dioxyde d'azote est en nette diminution entre 2000 et 2007, et s'améliore également légèrement si l'on considère seulement les périodes hivernales étudiées. Cette constatation permet de ne pas mettre en cause les différences de météorologie sur l'évolution défavorable constatée.

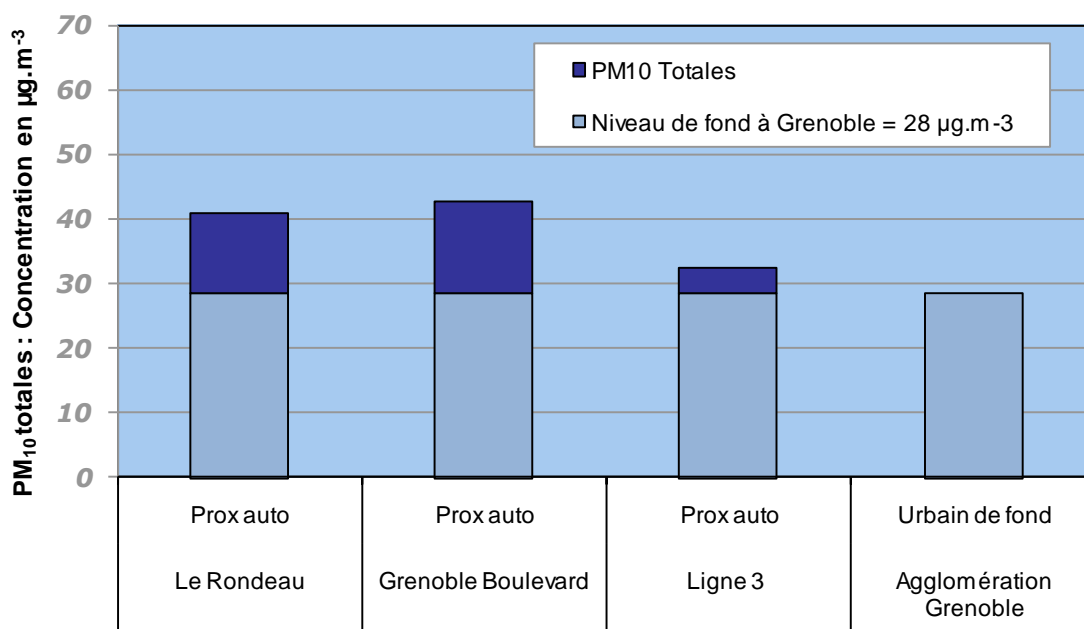
1.2.2 Les particules en suspension

En 2007, l'Etat français a décidé d'une évolution des méthodes de mesures des particules afin de se rapprocher de la méthode de référence de l'Union Européenne. Ainsi, toutes les mesures de particules PM₁₀ prennent en compte depuis le 1^{er} janvier 2007 une fraction volatile supplémentaire pouvant représenter au final près de 30% de la concentration totale.

Cette mesure n'ayant pris effet qu'en 2007, les mesures réalisées en 2000/2001 correspondent par conséquent à la fraction non volatile des particules.

➤ Estimation de la moyenne annuelle des PM₁₀ totales en 2007

Le graphique suivant illustre la concentration moyenne annuelle estimée de PM₁₀ totales sur le site de la ligne 3¹² (le Chatelet à Saint-Egrève) et les concentrations moyennes annuelles mesurées sur les sites fixes de l'ASCOPARG.



Estimation de la concentration moyenne annuelle de PM₁₀ totales sur le site de la ligne 3 et concentrations moyennes annuelles mesurées sur les sites fixes de l'ASCOPARG.

La concentration moyenne annuelle de PM₁₀ totales estimée sur le site d'étude **est légèrement supérieure au niveau de fond**¹³ de l'agglomération grenobloise et s'explique par la proximité entre la station et la voirie.

¹² Les mesures de particules ont été ajustées avec la station de référence A7 Nord Isère

¹³ Explications sur le calcul du fond page 7

➤ **Résultats des mesures de PM₁₀**

- Statistiques horaires

Les résultats statistiques horaires des PM₁₀ totales mesurés sur 8 semaines sur le site de la ligne 3 ainsi que ceux des sites fixes de l'ASCOPARG observés sur la même période ont été résumés dans les tableaux suivants :

- Les 8 semaines de mesures (année 2007)

Station	Ligne 3	Le Rondeau	Grenoble Boulevards	St Martin d'Hères	Grenoble Les Frênes	Fontaine les Balmes
Typologie	<i>Prox auto</i>	<i>Prox auto</i>		<i>Urbain de fond</i>		
% de données valides	98	99	100	100	99	98
Moyenne horaire	32	39	41	29	27	26
Minimum horaire	0	3	4	0	0	0
Maximum horaire	101	147	216	105	140	102
Percentile 90,4 horaire	59	69	73	56	53	51
Percentile 50 horaire	29	34	35	24	23	22

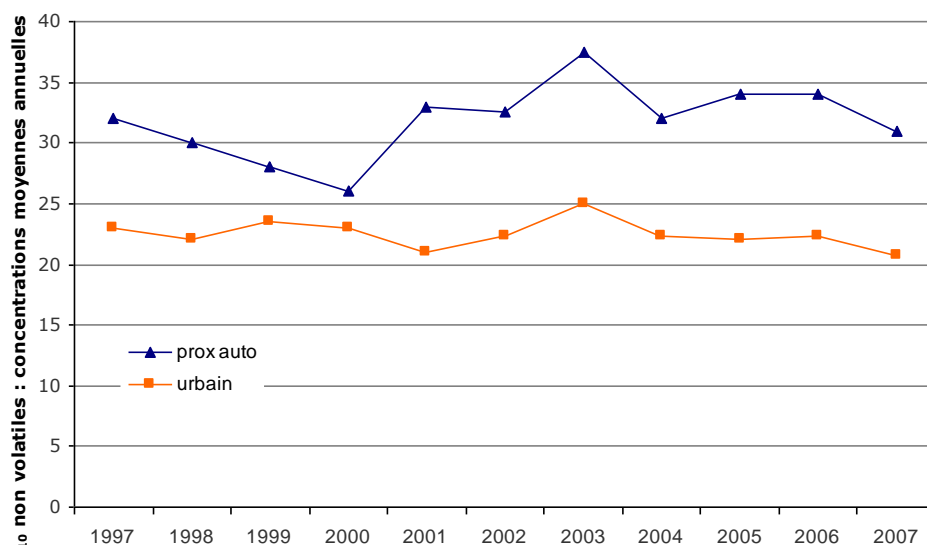
- La période du 08/12/2000 au 07/01/2001

Le tableau suivant illustre les statistiques de PM₁₀ non volatiles (seules mesures disponibles en 2000) sur le site de Saint-Egrève comparées aux statistiques des sites de références en proximité automobile et en milieu urbain pendant la période hivernale.

	Prox auto Camion labo St Egrève	Prox auto Grenoble Foch	Urbain de fond Villeneuve
Taux de validité	100%	97%	100%
Moyenne	29	35	29
Médiane horaire P50 (µg/m ³)	25	30	25
Minimum horaire (µg/m ³)	0	0	0
Maximum horaire (µg/m ³)	256	123	110

Les **mesures de PM₁₀ non volatiles** réalisées à Saint-Egrève présentent une **concentration moyenne équivalente au site urbain de fond de Villeneuve**.

La concentration moyenne de PM₁₀ non volatiles mesurée pendant la 1^{ère} campagne de 2007 (hiver) est égale à 32 µg.m⁻³, elle est donc légèrement supérieure à celle observée en 2000. Les niveaux de PM₁₀ observés sur la ligne 3 en 2007 sont légèrement supérieurs au niveau de fond alors qu'en 2000 ils étaient équivalents. Ces résultats montrent une légère augmentation des concentrations de particules entre 2000 et 2007.



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

Depuis 10 ans, les concentrations moyennes de particules (PM₁₀) mesurées en zone urbaine (de fond) semblent peu évoluer dans l'agglomération grenobloise. Elles ont tendance à augmenter sur les sites de proximité automobile ce qui pourrait être la cause de la diésélisation du parc automobile.

- Statistiques journalières

Parmi les valeurs réglementaires, les PM₁₀ font l'objet d'une valeur limite pour la protection de la santé humaine fixée à 50 µg.m⁻³ pour le centile 90,4 (c'est-à-dire que la concentration moyenne journalière de PM₁₀ ne doit pas dépasser 50 µg.m⁻³ plus de 35 jours par an).

En Rhône-Alpes, les arrêtés interpréfectoraux (juillet 2006) fixent 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 sur 24 heures.

Le tableau suivant illustre les dépassements des seuils définis précédemment, observés sur les sites de l'agglomération grenobloise, respectivement pendant les 8 semaines de mesures de la ligne 3 et pendant l'année 2007.

Mesures	Permanentes					Evaluation
	Saint-Martin d'Hères urbain de fond	Grenoble les Frênes urbain de fond	Fontaine les Balmes urbain de fond	Le Rondeau prox auto	Grenoble Boulevard prox auto	
Année 2007 (PM ₁₀ totales) Nombre de dépassement						Ligne 3 prox auto
seuil 50 µg.m ⁻³ en moyenne journalière (< à 35 jours par an)	9/51	7/41	5/35	18/111	18/103	9
seuil 80 µg.m ⁻³ en moyenne journalière (seuil information et recommandation)	0/8	0/5	0/5	2/15	5/26	0
seuil 125 µg.m ⁻³ en moyenne journalière (seuil d'alerte)	0/1	0/0	0/0	0/0	0/1	0

Statistiques journalières des **PM₁₀ totales** pendant les 8 semaines de mesures et l'année 2007

Durant la campagne de mesures, le site de la ligne 3 a enregistré, comme le site de Saint-Martin d'Hères, 9 dépassements de la valeur limite journalière pour la protection de la santé fixée à $50 \mu\text{g.m}^{-3}$. Sur l'ensemble de l'année 2007, tous les sites urbains de l'agglomération grenobloise ont enregistré un nombre de jours de dépassement du seuil de $50 \mu\text{g.m}^{-3}$ (en moyenne journalière) supérieur ou égal à 35. L'ensemble des sites urbains en 2007 (à l'exception de Fontaine les balmes) ne respecte pas la valeur limite pour la protection de la santé. Par conséquent, le risque de dépassement de ce seuil sur l'ensemble de l'année 2007 pour le site d'étude de la ligne 3 localisé à Saint-Egrève peut être considéré comme élevé.

Durant la campagne de mesures, aucun dépassement du seuil d'information et de recommandations ($80 \mu\text{g.m}^{-3}$ en moyenne journalière) n'a été observé sur le site de la ligne 3 ni sur les sites de référence urbains.

Sur l'ensemble de l'année 2007, ce seuil a été dépassé 8 fois sur le site de Saint-Martin d'Hères et 5 fois sur les autres sites urbains.

Par conséquent, compte tenu des niveaux proches avec les stations de référence, le risque de dépassement en 2007 du seuil d'information et de recommandation sur le site du Chatelet existe.

En résumé pour les PM_{10}

Les mesures de PM_{10} totales réalisées en 2007 à Saint-Egrève sont légèrement supérieures au niveau de fond. L'évolution des concentrations entre 2000 et 2007 bien que difficile à établir, montre une légère dégradation des niveaux de particules en 2007.

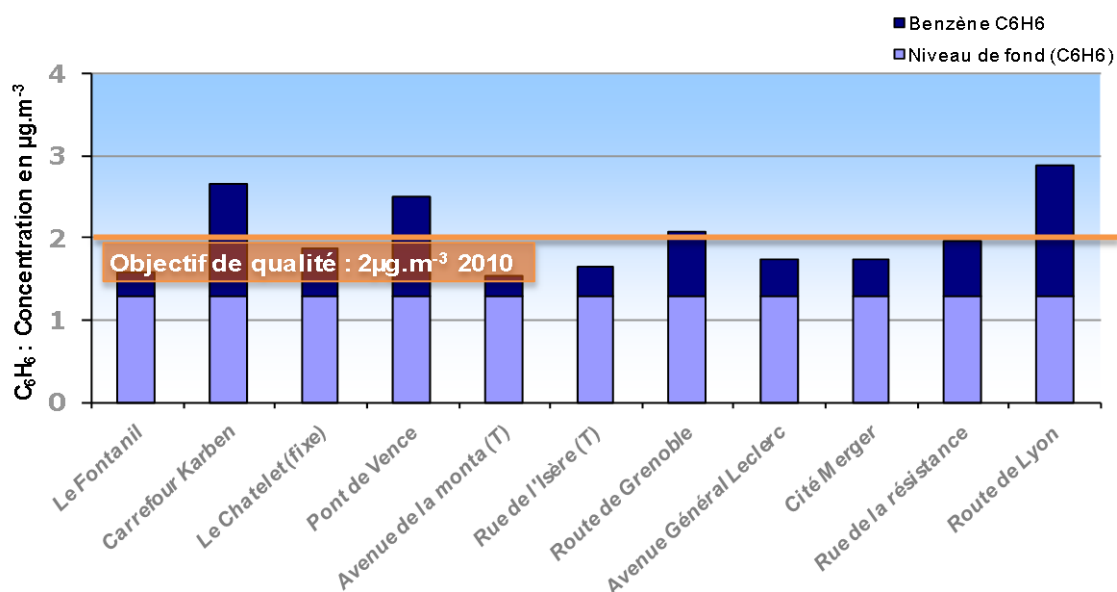
Au niveau de l'agglomération grenobloise en 2007, l'ensemble des sites de fond et de proximité automobile atteignent ou dépassent la valeur limite pour la protection de la santé fixée à $50 \mu\text{g.m}^{-3}$. Par conséquent, Le risque de dépassement de ce seuil sur l'ensemble de l'année 2007 sur le site de la ligne 3 existe.

1.2.3 Le benzène C₆H₆

Dans un but d'observation de la qualité de l'air le long du tracé, parallèlement aux mesures de NO₂, des mesures de benzène par tubes à diffusion ont également été réalisées sur les 11 sites de mesures.

➤ Résultats des mesures de benzène par échantillonneurs passifs

Le graphique et le tableau suivant illustrent les concentrations moyennes annuelles estimées de benzène sur l'ensemble des sites du tracé de la ligne 3.

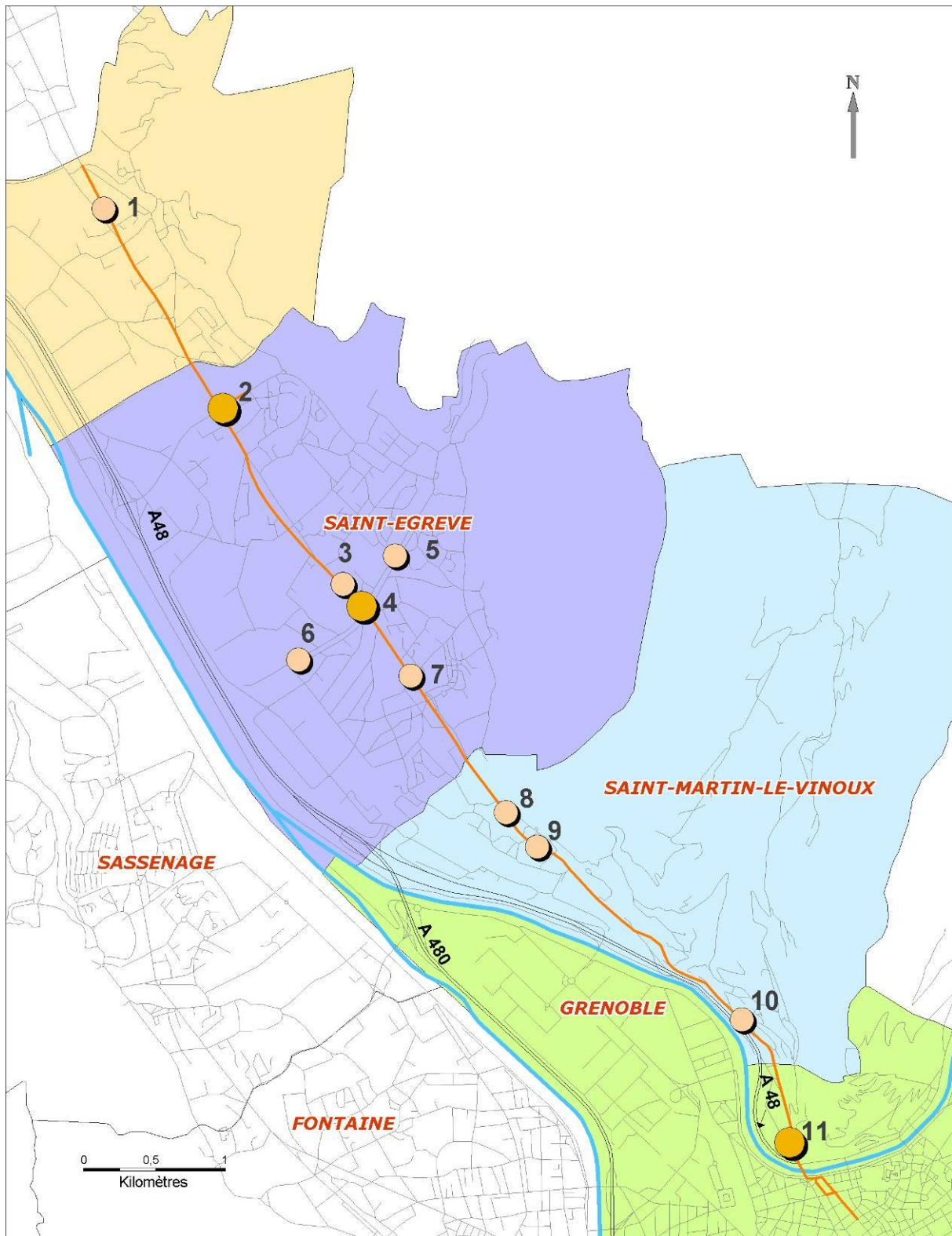


Dans le tableau suivant, les sites qui ne sont pas conformes à l'objectif de qualité (supérieurs à 2 µg.m⁻³) sont présentés avec une légende de couleur orange.

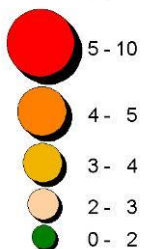
n° site	Sites	Typologie	moyenne annuelle en µg.m ⁻³
1	Le Fontanil	Prox auto	2
2	Carrefour Karben	Prox auto	3
3	Le Chatelet	Prox auto	2
4	Pont de Vence	Prox auto	3
5	Avenue de la monta (T)	Transect	2
6	Rue de l'Isère (T)	Transect	2
7	Route de Grenoble	Prox auto	2
8	Avenue Général Leclerc	Prox auto	2
9	Cité Merger	Prox auto	2
10	Rue de la résistance	Prox auto	2
11	Route de Lyon	Prox auto	3

Concentrations moyennes annuelles de benzène estimées sur le tracé de la ligne 3

Concentrations moyennes annuelles de benzène sur le tracé de la ligne 3 (2007)



Concentration moyenne annuelle
C6H6 en $\mu\text{g.m}^{-3}$



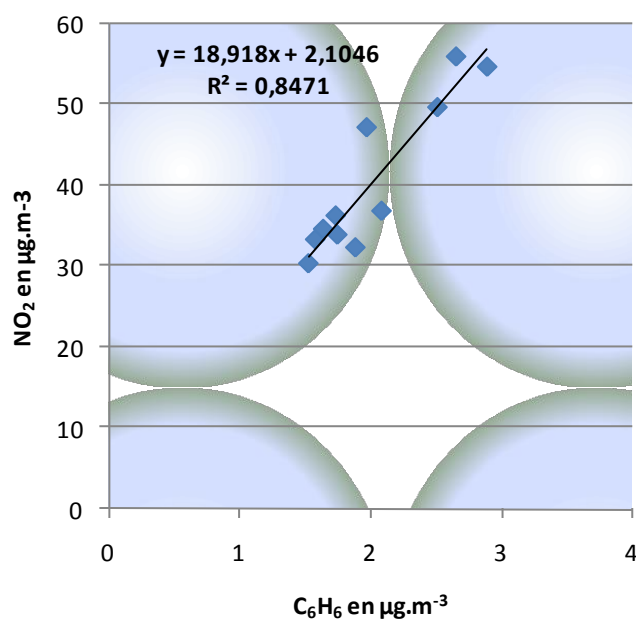
Carte réalisée à partir :
 - Données de qualité de l'air ASCOPARG 2007
 - Géovue Géosys data 1997

Les mesures de benzène sur l'ensemble du tracé sont comprises entre 2 et 3 $\mu\text{g.m}^{-3}$.

Trois sites **dépassent l'objectif de qualité fixé à 2 $\mu\text{g.m}^{-3}$** en raison de **leur localisation proche du trafic au niveau de carrefours**. Les **niveaux les plus élevés** sont **observés sur les mêmes sites que pour le NO_2** (route de Lyon, carrefour Karben et pont de Vence).

A titre de comparaison, le niveau de **fond en benzène de l'agglomération grenobloise** mesuré par tubes à diffusion en **2007** est égal à 1,3 $\mu\text{g.m}^{-3}$. L'ensemble des **sites de mesures sur le tracé de la ligne 3** présentent des **concentrations moyennes en benzène supérieures** au **niveau de fond** de l'agglomération grenobloise.

Corrélation entre le dioxyde d'azote (NO_2) et le benzène (C_6H_6)



La bonne corrélation entre le benzène et le NO_2 (traceur de la pollution automobile) sur les sites de mesures montre l'influence certaine du trafic automobile sur les niveaux de benzène.

➤ **Comparaison des concentrations moyennes de benzène entre 2000 et 2007**

Comme pour le NO_2 , les mesures de benzène effectuées sur le tracé de la ligne 3 entre l'année 2000 et 2007 sont également difficilement comparables en raison de la différence de durée et de répartition des campagnes de mesures sur l'année.

En 2000, les mesures de benzène à l'aide de tubes à diffusion passive, sont disponibles sur deux sites (Chatelet et Cité Merger).

Le graphique suivant compare les mesures de benzène effectuées sur la période hivernale de l'année 2000 (du 08/12/2000 au 07/01/2001) avec celle de l'année 2007 réalisées du 24/01/2007 au 09/02/2007) au niveau :

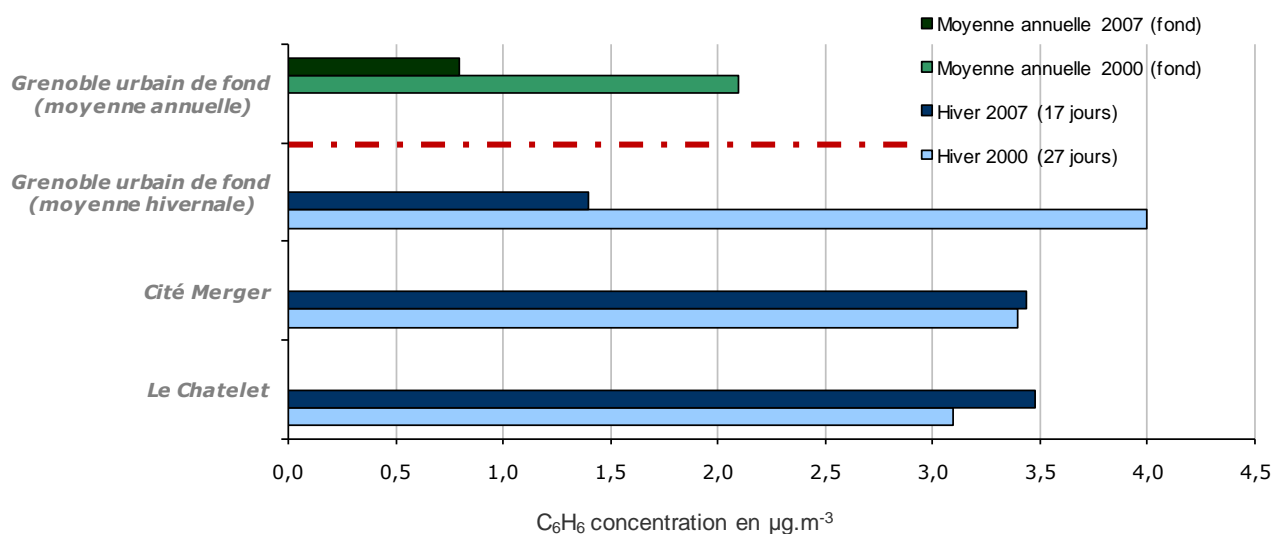
- des 2 sites du tracé de la ligne 3 cités précédemment (Le Chatelet et Cité Merger) ;
- du site urbain de fond de Grenoble les Frênes.

La comparaison entre la moyenne annuelle de 2000 et de 2007 pour ce dernier est également représentée sur ce graphique.

Les **concentrations de benzène mesurées** sur le site du Chatelet pendant la **campagne de mesure de l'hiver 2007** suivent la même tendance que pour le dioxyde d'azote. Elles sont **légèrement plus élevées** par rapport à celles mesurées pendant la campagne de **l'hiver 2000**.

Comme pour le dioxyde d'azote, les niveaux de fond de l'agglomération grenobloise observés sont en amélioration, sur les mêmes périodes de mesures comme sur l'année complète. Ces éléments permettent de confirmer la dégradation légère des concentrations de benzène sur le tracé.

Les mêmes facteurs que ceux cités précédemment (cf partie sur la comparaison des concentrations moyennes de NO₂ entre 2000 et 2007) sont probablement à l'origine de ce phénomène.



En résumé pour le benzène

L'ensemble des sites de mesures sur le tracé de la ligne 3 présente des concentrations moyennes en benzène supérieures au niveau de fond de l'agglomération grenobloise en raison de la proximité automobile. **Cependant la plupart des sites respectent l'objectif de qualité (2 µg.m⁻³).**

Les niveaux les plus élevés en benzène sont observés sur les mêmes sites que pour le NO₂.

Les concentrations de benzène mesurées pendant la campagne de 2007 semblent, selon le site, en stagnation ou en légère augmentation comparativement à la campagne 2000/2001, malgré des niveaux de fond en nette diminution sur l'agglomération grenobloise.

2 Evaluation de la qualité de l'air à l'horizon 2012

L'évaluation des émissions de polluants liés aux transports routiers à l'horizon 2012 s'appuie sur plusieurs simulations de trafic fournies par l'Agence d'Urbanisme de la Région Grenobloise. Ces calculs s'appuient sur différentes hypothèses socio-économiques (identification de nouvelles zones d'habitation et d'emplois...). Il s'agit dans un premier temps d'évaluer l'impact sur les émissions de polluants de la mise en service de la ligne E du tram en lieu et place de l'actuelle ligne 3, ainsi que de densification de l'habitat envisagée à proximité de la ligne E. Dans un deuxième temps sont évaluées des bandes théoriques, de part et d'autre d'une voie de circulation, dans lesquelles les niveaux de NO₂ risquent de dépasser les seuils réglementaires (40 µg.m⁻³ en moyenne annuelle).

2.1 Estimation des émissions de polluants en 2012

L'objectif est d'évaluer les émissions de polluants (oxydes d'azote – NO_x -, Composés Organiques Volatils Non Méthaniques – COVNM - et particules en suspension de taille inférieure à 10 µm - PM₁₀ -) à l'horizon 2012 :

- Sans Tram E : scénario « **2012 sans Tram E** » intégrant le maintien de la ligne 3 de bus ;
- Avec Tram E, selon différents scénarii d'urbanisation :
 - o scénario « **2012 Tram E urbanisation PDU** » intégrant le tram E (tracé de référence), avec les hypothèses d'urbanisation partagée (PDU) ;
 - o scénario « **2012 Tram E urbanisation PLU** » intégrant le tram E (tracé de référence) associé à une urbanisation PLU (droit des sols actuel). Ce scénario s'accompagne d'un accroissement de la population d'environ 7500 personnes le long de la ligne E ;
 - o scénario « **2012 Tram E urbanisation dense** » intégrant le tram E (tracé de référence) associé à une urbanisation dense (intensification urbaine). Ce scénario s'accompagne d'un accroissement de la population d'environ 20000 personnes le long de la ligne E ;

La méthodologie employée pour le calcul des émissions figure en annexe 3. Les calculs d'émissions sont présentés à trois échelles :

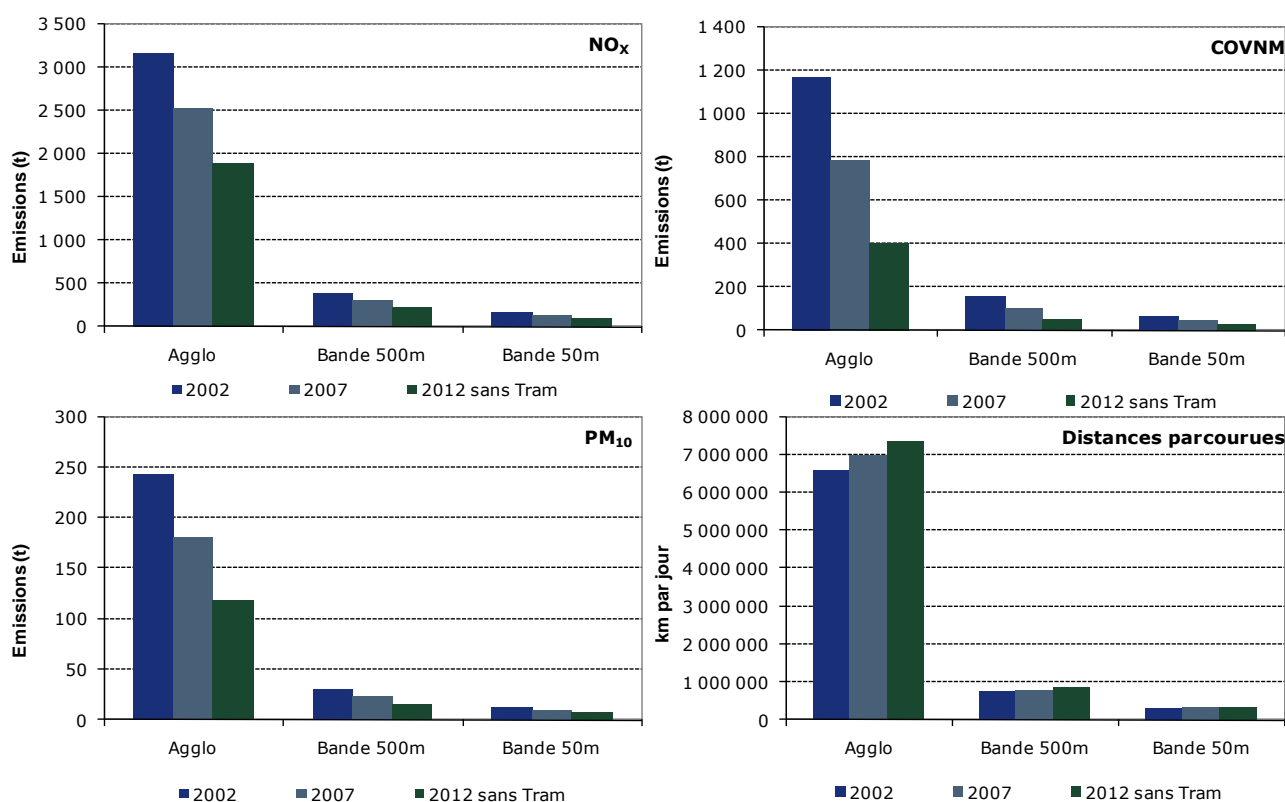
- Agglomération grenobloise
- Tronçons routiers situés à moins de 500m de part et d'autre de la future ligne E (actuelle ligne 3).
- Tronçons routiers situés à moins de 50m de part et d'autre de la future ligne E

2.1.1 Evolution des émissions entre 2002 et 2012

Un premier calcul a été réalisé sur les années 2002 et 2012. A noter que les trafics 2007 ont été obtenus en moyennant les deux matrices 2002 et « 2012 sans Tram E ».

Il est ainsi possible de mesurer l'impact sur les émissions, de la progression du trafic entre 2002 et 2012 d'une part, et de l'amélioration technologique des véhicules d'autre part.

Malgré une hausse des kilomètres parcourus, entre 2002 et 2012, comprise entre 11,8% sur l'agglomération et 15,4% dans la bande de 50m, les émissions de polluants sont en baisse régulière pour les NO_x (-40%), les PM₁₀ (-50%) et les COVNM (-65%). Le renouvellement progressif du parc de véhicules, au profit de véhicules plus récents soumis à la norme Euro, explique en grande partie cette baisse marquée des émissions.

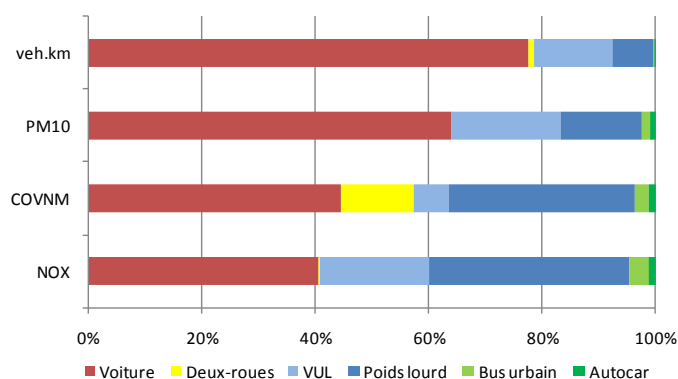


Comparaison des émissions trafic entre les années 2002, 2007 et 2012 (avant mise en service du Tram)

La baisse des émissions de NO_x entre 2002 et 2007 va à l'encontre des mesures de qualité de l'air réalisées en 2000-2001 et 2007 : en effet, les émissions ont été calculées sur une année complète, alors que les comparaisons de mesures n'ont pu être réalisées que sur les périodes hivernales. D'autres paramètres peuvent également expliquer cette différence de tendance entre émissions et mesures comme une dégradation de la fluidité sur le tracé ou une augmentation du trafic. Il est à noter que la fluidité n'est pas une donnée disponible et que son influence ne peut donc pas être modélisée.

2.1.2 Contribution de chaque type de véhicule aux émissions routières

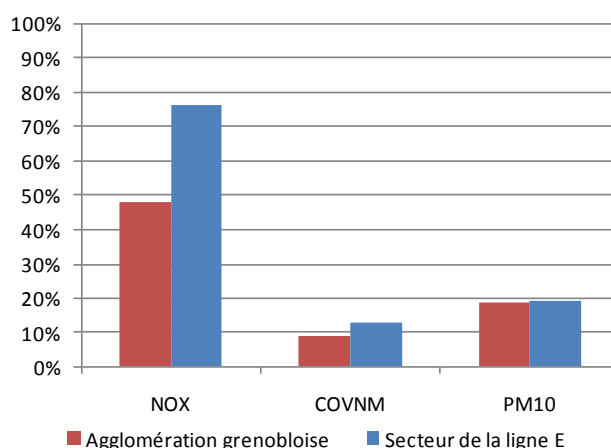
La contribution aux émissions par type de véhicule est illustrée ci-dessous (scenario 2012 sans Tram E). Elle met en évidence la prépondérance de la voiture dans les distances parcourues (près de 80% sur l'agglomération) et les émissions de PM₁₀. Les poids lourds, bien que parcourant moins de 7% des kilomètres, contribuent pour plus d'un tiers aux émissions de NO_x et COVNM. La part des émissions des bus urbains représente quant à elle moins de 5% des émissions de NO_x et de COVNM.



Contribution des types de véhicules aux émissions de polluants – scénario 2012 avant mise en service du Tram.

2.1.3 Contribution du transport routier aux émissions totales

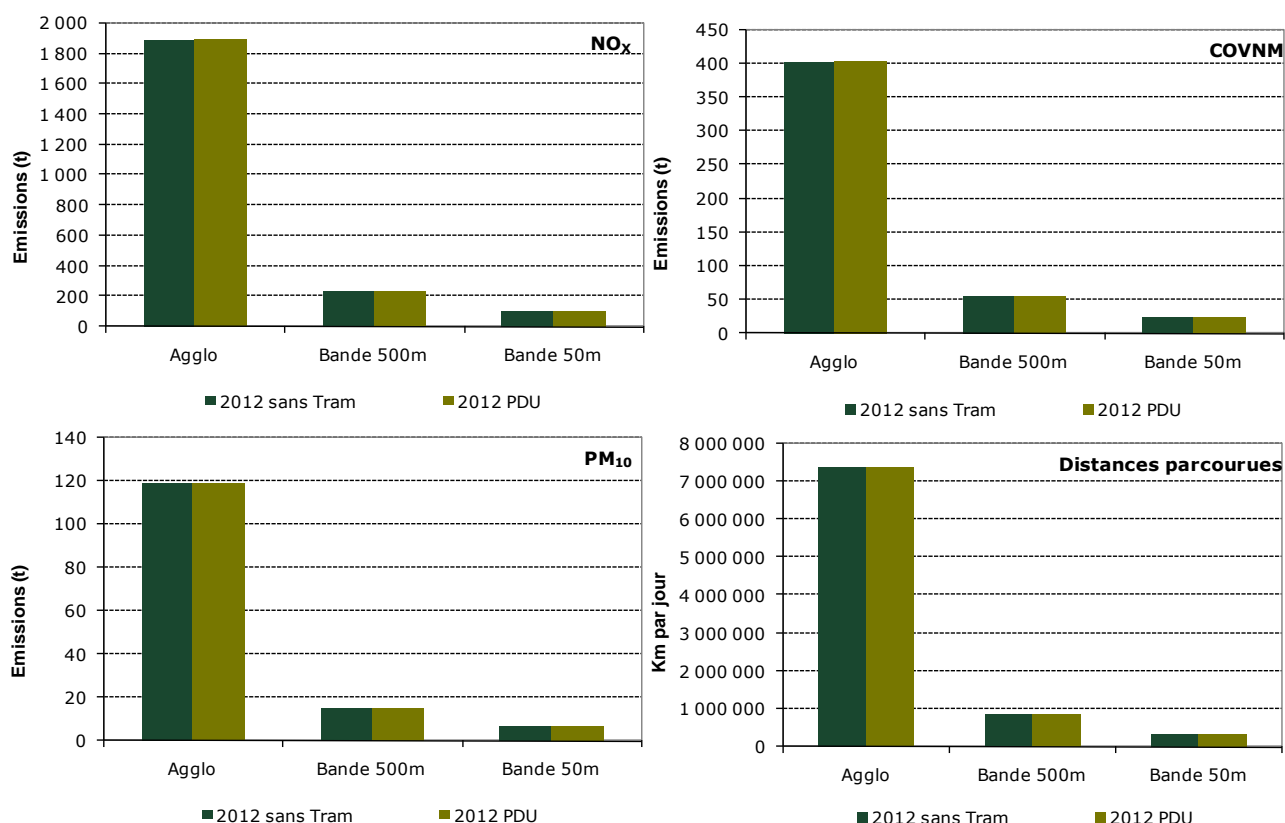
La contribution du transport routier dans la situation actuelle est particulièrement importante dans le secteur de la ligne E par comparaison au bilan sur l'agglomération comme le montre la figure suivante. En particulier, les NO_x émis par le trafic routier représentent $\frac{3}{4}$ des émissions totales. Il convient donc d'agir prioritairement sur cette source pour espérer une diminution significative des niveaux d'émissions dans cette zone.



Contribution du transport routier aux émissions de polluants dans le secteur de la ligne E – comparaison aux données sur l'agglomération. Année 2006 – Version 2008-3

2.1.4 Impact de la mise en service du tram E en 2012

L'impact de la mise en service du Tram E a été évalué en comparant les scénarii « 2012 sans tram E » et « 2012 tram E urbanisation PDU ». Les graphiques suivants montrent qu'il n'y a pas d'impact significatif sur les émissions de polluants car le volume de trafic varie peu entre les deux scénarii. Seules les émissions des bus urbains diminuent au profit du tramway sur la bande de 50m. On peut toutefois penser qu'avec la diminution du nombre de bus, il y aura une meilleure fluidité du trafic (pour mémoire, le terre plein central mis en place entre 2000 et 2007 sur la RD1075 empêche tout dépassement de bus lorsqu'il est à un arrêt). Ce paramètre n'a cependant pas été pris en compte dans le calcul des émissions, par manque de données précises à ce sujet.



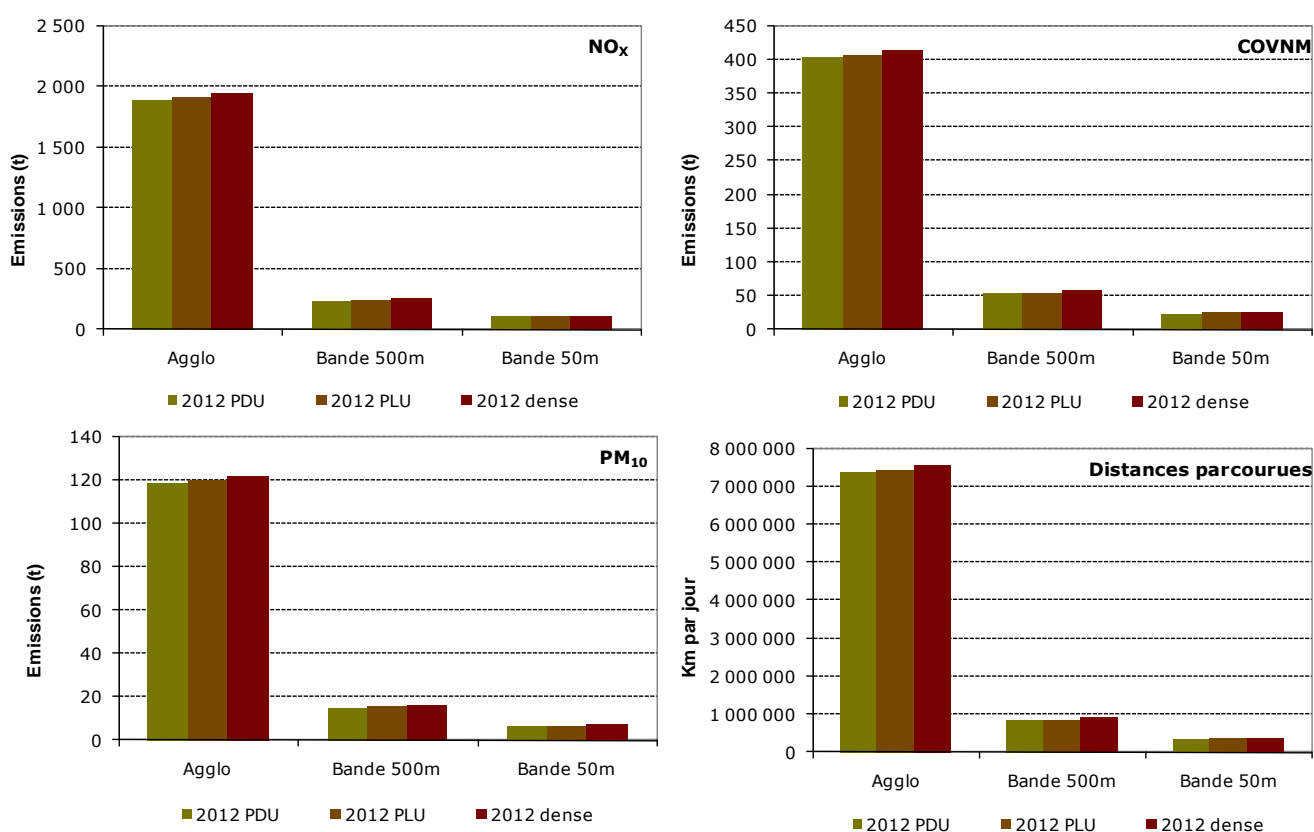
Impact de la mise en service du Tram E sur les niveaux d'émissions et les distances parcourues

2.1.5 Impact de l'urbanisation le long de la ligne E

L'impact de l'urbanisation le long de la ligne E a été évalué par comparaison des 3 scénarii suivants :

- « 2012 tram E urbanisation PDU » ;
- « 2012 tram E urbanisation PLU » ;
- « 2012 tram E urbanisation dense ».

Sur la base du scénario « 2012 Tram E urbanisation PDU », l'intensification de l'urbanisation le long de la future ligne de tram se traduit, dans la bande de 50m, par une augmentation du trafic de +3,8% (scénario « 2012 Tram E urbanisation PLU ») à +9,5% (scénario « 2012 Tram E urbanisation dense »). Au niveau de l'agglomération, cette hausse est comprise entre +0,8% et +2,6%. Les émissions de polluants sont associées à une hausse du même ordre de grandeur.



Impact de l'urbanisation de long de la ligne E sur les niveaux d'émissions et les distances parcourues

2.2 Evaluation des zones risquant de dépasser les seuils réglementaires

La modélisation de la qualité de l'air réalisée sur Grenoble avec SIRANE a pour objectif de quantifier le pourcentage de population exposée à des niveaux dépassant le seuil réglementaire annuel de $40 \mu\text{g.m}^{-3}$ en NO_2 . Cette modélisation ne couvre que l'extrême sud de la future ligne E. Cependant, afin d'apporter une information sur les risques encourus par les populations situées le long du tracé de cette ligne, des simulations théoriques ont été réalisées avec le modèle de rue SIRANE. Il s'agit de bandes théoriques obtenues sur une simulation horaire qui ne tient pas compte des conditions météorologiques réelles observées sur une année entière. Elles donnent néanmoins une idée de la décroissance des niveaux de pollution selon la configuration de la rue, de la météo et des émissions induites par la circulation automobile.

2.2.1 Données d'entrée

Ces simulations théoriques ont pour objectif de déterminer un profil de décroissance des niveaux de NO_2 selon des conditions extrêmes définies de la façon suivante :

- Impact minimal de part et d'autre de la rue :
 - o Direction des vents dominants décalée de 5° par rapport à l'axe étudié ;
 - o Vitesse du vent de 4 m/s ;
 - o Cas instable (journée d'été).
- Impact maximal de part et d'autre de la rue :
 - o Direction des vents dominants décalée de 30° par rapport à l'axe étudié ;
 - o Vitesse du vent de 1 m/s ;
 - o Cas stable (fin de nuit en hiver).

Les paramètres communs sont les suivants :

- Fond de NO_2 fixé à $26 \mu\text{g.m}^{-3}$, soit une stabilité du fond par rapport aux mesures 2007 ;
- Emissions déterminées selon 3 classes de circulation à l'horizon 2012 (cf tableau).

	Trafic Moyen Journalier Annuel (MJA)	Part des Poids Lourds (Part PL)	Typologie	Vitesse Maximale Réglementaire
Cas n°1	30000	6%	Urbaine	50
Cas n°2	15000	6%	Urbaine	50
Cas n°3	5000	3%	Urbaine	50

Conditions de circulation selon trois cas de figure

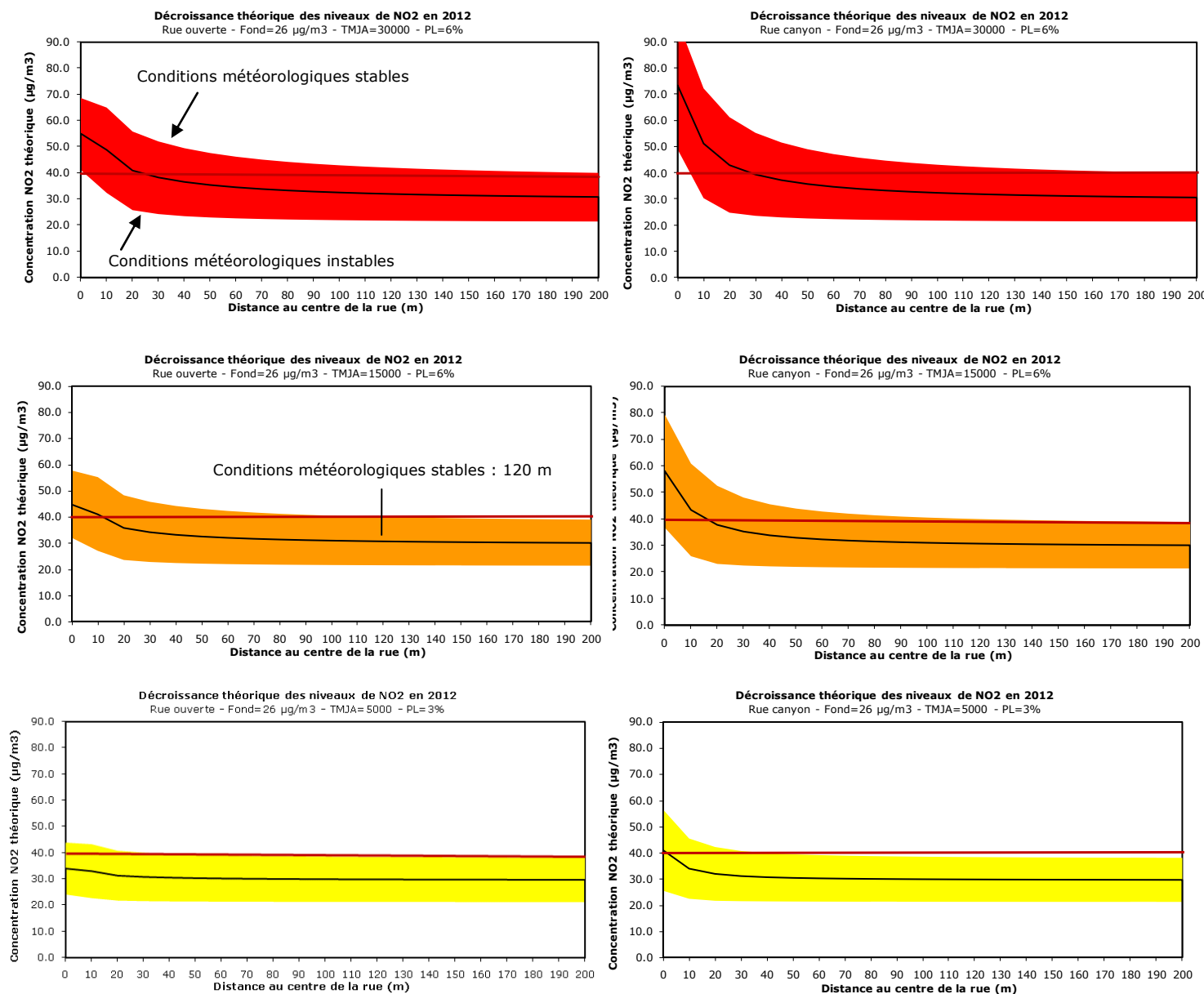
Deux typologies de rue ont été testées :

- Rue canyon (bâtiments contigus avec un rapport $H/L > 3$, H étant la hauteur des bâtiments et L la largeur de la rue)
- Rue ouverte (autres cas de figure)

2.2.2 Résultats de modélisation

Un profil de décroissance des valeurs de NO_2 est ainsi évalué pour chacune des trois configurations de trafic et selon deux typologies de rue (ouverte et canyon). Ces graphiques permettent de mesurer les écarts qu'il peut y avoir entre une situation météorologique stable et instable : ainsi sur une voie ouverte à 15 000 véhicules/jour, une concentration de NO_2 inférieure à $40 \mu\text{g.m}^{-3}$ pourra être atteinte en bordure de rue

ou à 120 mètres selon les conditions de dispersion observées. Le caractère ouvert ou non de la rue, ainsi que le volume de trafic jouent également sur la décroissance des niveaux de pollution.

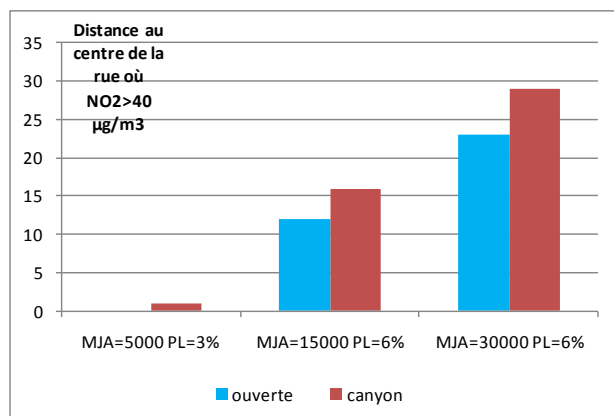


Evolution du niveau d'émissions selon la configuration de la rue, le volume de circulation et les conditions de dispersion

En partant de l'hypothèse que la moyenne des profils extrêmes de décroissance est représentative d'une exposition annuelle aux niveaux de pollution, il est possible de dégager des ordres de grandeur de largeurs de bandes où les niveaux annuels de NO₂ dépassent 40 µg.m⁻³ :

- En rue canyon, il existe théoriquement un risque dès que la circulation excède 5000 véhicules par jour (avec 3% de PL) ;
- En rue ouverte, il existe théoriquement un risque dès que la circulation excède 12 500 véhicules par jour (avec 3% de PL) ou 10 000 véhicules par jour (avec 6% de PL).

A noter que **ce chiffre devra être minoré si la rue est régulièrement soumise à des bouchons**. De plus, **ces conclusions ne sont pas valables si les vents dominants sont perpendiculaires à l'axe étudié**.



*Largeur des bandes théoriques où les niveaux annuels dépassent 40 µg.m⁻³
Cas où les vents dominants suivent l'axe de la rue (écart maximal de 30°)*

2.2.3 Validation par rapport à une modélisation annuelle

Une estimation des bandes théoriques a été évaluée pour l'année 2007 à partir des émissions moyennées pour les scénarii « **2002** » et « **2012 sans tram E** ». A chaque brin routier est associée une largeur de bande dépendant de l'émission calculée. Les résultats obtenus sur le tracé de la ligne E sont plutôt satisfaisants, au regard de la modélisation annuelle réalisée par SIRANE sur une année complète (où une couleur jaune/orange/rouge indique un dépassement de la valeur annuelle de 40 µg.m⁻³).



Superposition de la bande théorique 2007 (en bleu) avec les concentrations annuelles 2007 de NO₂ obtenues avec le modèle SIRANE

2.2.4 Bandes impactées selon les scénarii 2012

Une estimation des bandes théoriques a été évaluée :

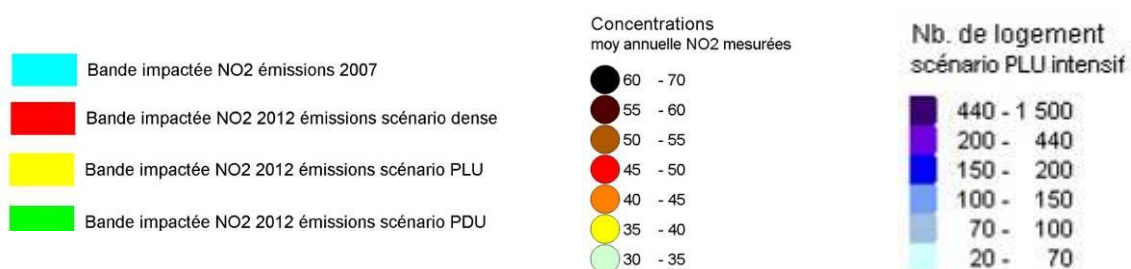
- Pour l'année 2007 (moyenne des scénarii 2002 et 2012 sans tram) ;
- Pour l'année 2012 selon les 3 scénarii retenus (2012 tram E urbanisation PDU, 2012 tram E urbanisation PLU, 2012 tram E urbanisation dense)

Les résultats sont présentés sur les quartiers où les mesures de qualité de l'air ont mis en évidence des niveaux élevés de pollution. Les cartes suivantes présentent l'évolution des bandes impactées en fonction des émissions des différents scénarios sur 3 secteurs du tracé de la ligne 3 (carrefour Karben, pont de Vence et route de Lyon).

Visualisation des surfaces impactées en fonction des émissions des 4 scénarii



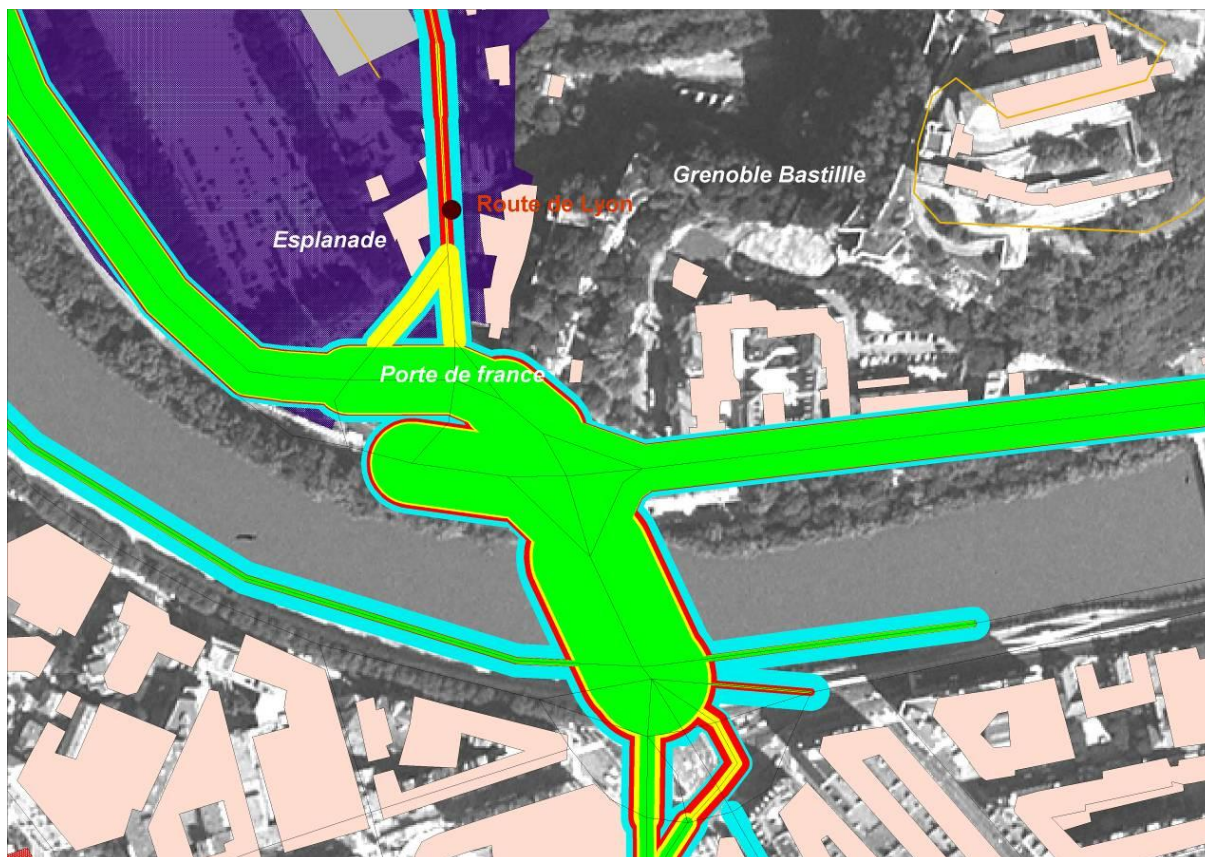
Secteur carrefour Karben



Visualisation des surfaces impactées en fonction des émissions des 4 scénarii



Secteur pont de Vence



Secteur Route de Lyon

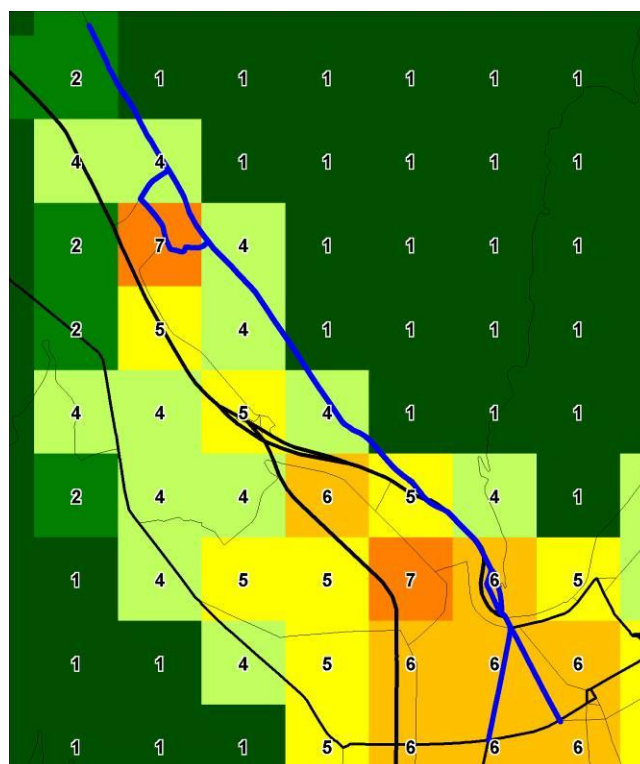
La largeur de la bande du scénario 2012 tram E urbanisation PDU est moins importante que celle du scénario 2007 sans tram E. Ceci s'explique notamment par la baisse des émissions de polluants attendue entre 2007 et 2012 liée à l'amélioration de la technologie des véhicules, mais également grâce à la mise en service du tram E.

Cela semble être le scénario le plus avantageux. En effet le scénario d'urbanisation dense présente une largeur de bande plus importante, parfois équivalente au scénario 2007 sans tram E. Ce scénario d'urbanisation dense entraîne une augmentation du trafic sur le tracé de la ligne E et par conséquent une augmentation des émissions (cf partie impact de l'urbanisation). La variation de la largeur des bandes entre les scénarios 2012 tram E urbanisation PLU et 2012 tram E urbanisation dense est cependant faible, de l'ordre de quelques mètres.

La largeur des bandes en ce qui concerne le scénario qui génère le plus d'émissions varie de 15 à 35 mètres (abords de l'A48). Les habitations construites à environ moins de 15 mètres de la rue risquent d'être soumises à des moyennes annuelles de NO₂ dépassant le seuil réglementaire de 40 µg/m³.

Le secteur de la porte de France (sud de la ligne) est par ailleurs soumis à des émissions importantes, comme le montre la carte ci-dessous.

Il s'agit d'une cartographie des émissions 2003 de polluants, toutes sources confondues, agrégées sous la forme d'un indice synthétique intégrant les émissions de NO_x, PM₁₀, COVNM et SO₂ (dioxyde de soufre). Cet indicateur, de résolution spatiale kilométrique, varie de 1 (émissions faibles) à 10 (émissions très élevées).



Indicateur synthétique d'émissions

2.3 Synthèse - préconisations

Les résultats de modélisation, tant du point de vue des émissions que de la qualité de l'air, permettent de dégager deux axes pour réduire les populations exposées à des niveaux élevés de pollution.

2.3.1 Diminution des émissions

Il est évident qu'en diminuant les émissions dans la rue, les bandes théoriques seront réduites et toucheront ainsi moins de logements. Il s'agit donc d'évaluer la politique des déplacements en faveur du Tram E, en la comparant à d'autres modes de transport :

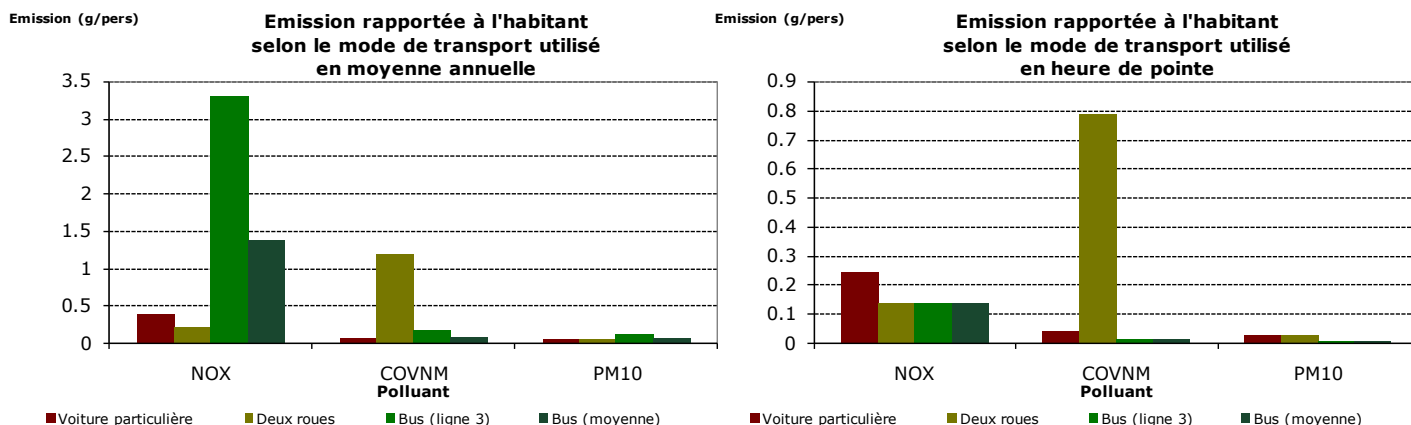
- La voiture particulière
- Les deux roues motorisées
- Le bus urbain
- Le Tram E

Deux cas de figure ont été considérés pour le taux d'occupation du véhicule considéré : Moyenne sur l'année et en heure de pointe

Le tableau ci-dessous synthétise les hypothèses relatives au remplissage des différents modes de transport :

Taux d'occupation	Moyenne	Heure de pointe ¹⁴
Voiture	1.3¹⁵	2
Deux-roues	1	1.5
Bus ligne 3	2.5	60
Bus urbain	6¹⁶	
Tram E PDU	20	200
Tram E PLU	22	
Tram E dense	28¹⁷	

Les émissions de polluants NO_x, COVNM et PM₁₀ ont été calculées pour chacun des modes de transport, selon les deux hypothèses de remplissage



Emission par habitant et par kilomètre selon le mode de transport utilisé

¹⁴ On considère les transports en commun pleins aux heures de pointe

¹⁵ Dernière enquête cordon

¹⁶ SEMITAG - Etudes générales - rapport trafic 2006

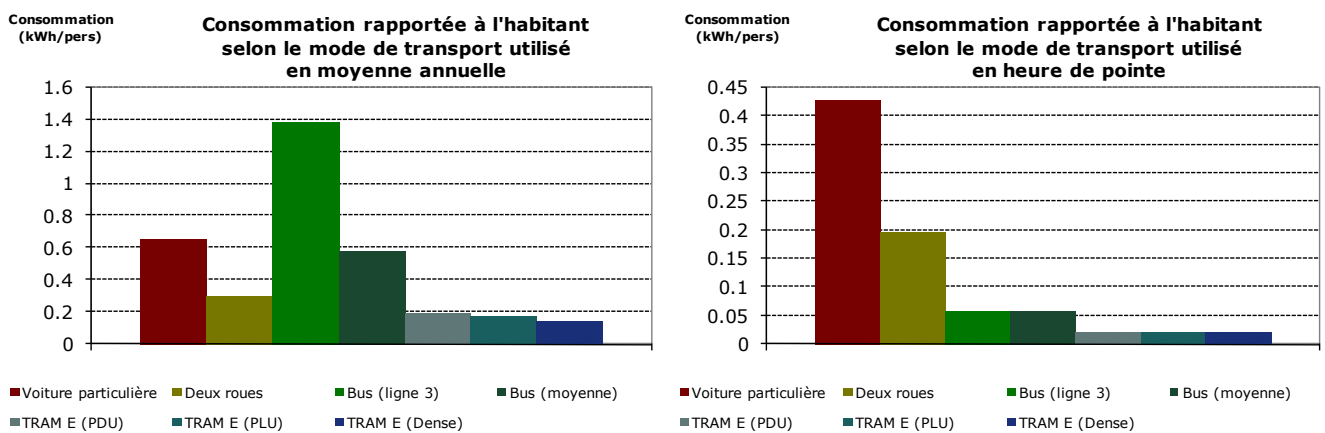
¹⁷ Données déduites des travaux d'EGIS mobilité

En moyenne annuelle, le faible taux de remplissage de la ligne 3 par rapport à la moyenne des bus grenoblois explique que cette ligne est la moins écologique au regard de ses émissions.

La contribution aux émissions de la voiture particulière est peu élevée dans ce cas.

Aux heures de pointe, le constat est bien différent : les bus urbains sont les moins polluants, quels que soient le polluant et le véhicule particulier considérés : par comparaison à la voiture, les émissions des bus urbains sont inférieures d'un facteur 1,8 (NOx) à 5,2 (COVNM et PM₁₀). Les écarts sont moindres avec les deux-roues, excepté pour les COVNM (facteur 100) !

Les consommations énergétiques ont également été prises en compte afin d'intégrer le tram dans les calculs.



Dépense énergétique par habitant et par kilomètre selon le mode de transport utilisé

En moyenne annuelle, le bilan énergétique d'un bus de la ligne 3 reste le plus défavorable des modes de transport. En revanche, tous les autres modes de transport sont moins énergivores que la voiture individuelle, y compris le bus urbain moyen. Le tramway, ramené au voyageur par kilomètre, est quant à lui le moins énergivore de tous les modes de transport¹⁸. Une urbanisation dense le long de la ligne de Tram permet de réduire sa contribution individuelle de 25% par rapport à une urbanisation de type PDU, soit une efficacité énergétique 4,5 fois plus élevée que la voiture particulière.

Aux heures de pointe, les véhicules particuliers (voiture et deux roues) sont les moins performants : le tram est le mode de transport associé à la meilleure efficacité énergétique : 9 fois moins énergivore que le deux-roues et 21 fois moins énergivore que la voiture...

Ces calculs montrent ainsi qu'une ligne de Tram permet d'une part de gagner des émissions sur la voirie, d'autre part de diminuer la contribution individuelle en termes d'émissions et d'énergie du fait d'un meilleur taux de remplissage attendu sur la future ligne E.

¹⁸ Sur la base des données SEMITAG, un tramway consomme en moyenne 4,15 kWh par kilomètre parcouru.

2.3.2 Règles d'urbanisme

L'étude sur les bandes théoriques permet de dégager les préconisations suivantes en matière d'urbanisme :

- Privilégier une urbanisation morcelée plutôt que compacte pour favoriser la dispersion des polluants ;
- Privilégier une urbanisation en retrait de la rue afin de limiter les populations exposées à des niveaux élevés de pollution.

3 Conclusions

Ce rapport a permis d'étudier l'évolution de la qualité de l'air entre l'année 2000 et 2007, dans le périmètre d'influence de la ligne 3 suite aux travaux effectués sur ce tracé.

Les concentrations mesurées en un point du tracé à Saint-Egrève en 2007 (ainsi qu'en 2000) par le laboratoire mobile sont équivalentes aux niveaux de fond de l'agglomération grenobloise malgré la proximité du site d'étude par rapport à la voirie. La qualité de l'air mesurée à cet endroit a peu évolué à l'exception des niveaux de particules qui semblent légèrement plus importants en 2007.

Les niveaux modérés observés semblent liés à l'intensité moyenne du trafic de la N75 (6 fois moins élevé que sur le site du Rondeau) mais également à la configuration de la rue qui est favorable à la dispersion des polluants (rue ouverte).

Depuis 2001, sur l'ensemble du tracé de la ligne, les mesures de dioxyde d'azote et de benzène sont assez homogènes et légèrement supérieures au niveau de fond de l'agglomération grenobloise. Trois sites se distinguent par rapport au reste des résultats de par leur exposition à un trafic plus intense et congestionné (Carrefour Karben, route de Lyon et pont de Vence).

En comparaison de l'étude 2000/2001, les concentrations de NO₂ mesurées pendant la campagne de mesures de l'hiver 2007 apparaissent plutôt stables sur une grande partie du tracé, mais plus élevées sur les « points noirs », en lien probable avec un trafic plus intense et moins fluide.

Ces mesures ont également permis d'élaborer un état initial de la qualité de l'air avant la mise en place de la ligne de tram E et par conséquent d'identifier certaines zones sensibles c'est à dire plus exposées à une pollution d'origine automobile.

La suppression de la ligne 3 au profit du tram E permet un gain significatif en termes d'efficacité énergétique rapportée à l'habitant : en moyenne annuelle, celle-ci passe ainsi de 1,4 kWh/hab/km (bus de la ligne 3) à 0,19 kWh/hab/km (tram avec urbanisation PDU). La densification de l'urbanisation le long de la ligne, associée à un accroissement de la fréquentation, permet de descendre à 0,14 kWh/hab/km, soit une efficacité énergétique multipliée par 10 par comparaison au bus actuel (ligne 3) et par 4,5 par rapport à la voiture individuelle... Aux heures de pointe (à capacité maximale des transports en commun), le tram est trois fois moins énergivore que le bus urbain et vingt fois plus performant que la voiture individuelle.

Les calculs de bandes théoriques réalisés à partir du modèle de rue SIRANE permettent de dégager les préconisations suivantes en matière d'urbanisation :

- Privilégier une urbanisation morcelée plutôt que compacte pour favoriser la dispersion des polluants ;
- Privilégier une urbanisation en retrait de la rue afin de limiter les populations exposées à des niveaux élevés de pollution ;

Les bandes théoriques permettent également de mettre en évidence des conditions de circulation au-delà desquelles il existe un risque de dépasser le seuil de 40 µg.m⁻³ pour l'année 2012 :

- 5000 véhicules par jour (avec 3% de PL) en rue canyon
- 12 500 véhicules par jour (avec 3% de PL) ou 10 000 véhicules par jour (avec 6% de PL) en rue ouverte.

Ce chiffre devra être minoré si la rue est régulièrement soumise à des bouchons.



Ainsi, pour limiter les émissions de polluants à l'échelle de la rue, il faut :

- limiter le volume de véhicules, en particulier les poids lourds qui constituent une source d'émission non négligeable en milieu urbain
- favoriser la fluidité du trafic routier. Une campagne de comptages routiers (volume de trafic, part de poids lourds et vitesse) associée à une campagne de mesure de la qualité de l'air permettrait de mieux quantifier l'impact de la vitesse sur la qualité de l'air (et donc les émissions).
- éviter le recours aux zones 30 et aux ralentisseurs qui occasionnent des décélérations/accélérations favorables à une hausse des émissions de polluants.

ANNEXE 1 : Sites fixes de mesures de l'ASCOPARG pris en référence pour l'étude

Sites fixes de mesures d'ASCOPARG en 2007		
<p>Rondeau Echirrolles Typologie du site de mesures : <i>Proximité automobile</i> (Référence Rocade Sud)</p>		<ul style="list-style-type: none"> ■ NOx ■ CO ■ PM₁₀, PM_{2.5} ■ C₆H₆
<p>Grenoble Boulevards Typologie du site de mesures : <i>Proximité automobile</i></p>		<ul style="list-style-type: none"> ■ NOx ■ CO ■ PM₁₀
<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 Typologie du site de mesures : <i>Fond urbain</i></p>		<ul style="list-style-type: none"> ■ NOx ■ PM₁₀, PM_{2.5} ■ C₆H₆ (+ HAP¹⁹) ■ SO₂ ■ O₃ ■ Métaux lourds
<p>Fontaine les Balmes Typologie du site de mesures : <i>Fond urbain</i></p>		<ul style="list-style-type: none"> ■ NOx ■ PM₁₀ ■ SO₂ ■ O₃
<p>Saint-Martin d'Hères Typologie du site de mesures : <i>Fond urbain</i></p>		<ul style="list-style-type: none"> ■ NOx ■ PM₁₀ ■ SO₂ ■ O₃
<p>Une station " urbaine " permet de suivre l'exposition moyenne de la population aux phénomènes de pollution atmosphérique dans les centres urbains.</p>		

¹⁹ HAP : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (exemple de HAP : le benzo[a]pyrène)

<p>Versoud Typologie du site de mesures : <i>Péri-urbain</i></p>		<ul style="list-style-type: none"> ■ NOx ■ O₃
<p>Voreppe Typologie du site de mesures : <i>Péri-urbain</i></p>		<ul style="list-style-type: none"> ■ NOx ■ O₃
<p>Une station " péri-urbaine " permet de suivre l'exposition moyenne de la population aux phénomènes de pollution atmosphérique à la périphérie du centre urbain.</p>		
<p>Charavines Typologie du site de mesures : <i>Rural</i></p>		<ul style="list-style-type: none"> ■ NOx ■ O₃
<p>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.</p>		

ANNEXE 2 : 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 ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)**, 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.

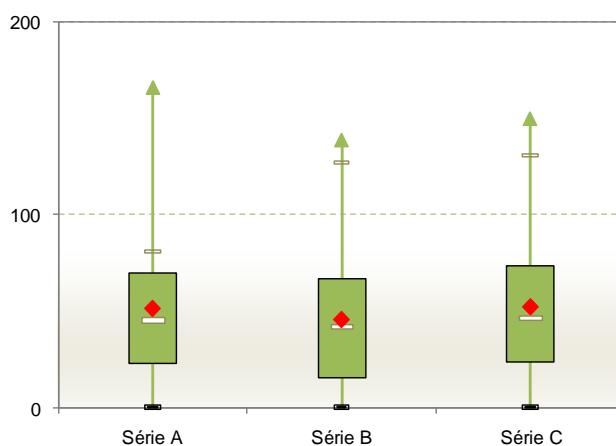
- **Moyenne horaire** = moyenne arithmétique des valeurs quart-horaires mesurées par l'analyseur (Une moyenne horaire est valide si au moins 3 valeurs quart-horaires qui la composent le sont).
- **Moyenne journalière** = moyenne arithmétique des valeurs horaires de 0 à 23 heures (Une moyenne journalière 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 3 : 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 (PDU²⁰, 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.

²⁰ PDU : Plan de Déplacements Urbains ; PPA : Plan de Protection de l'Atmosphère

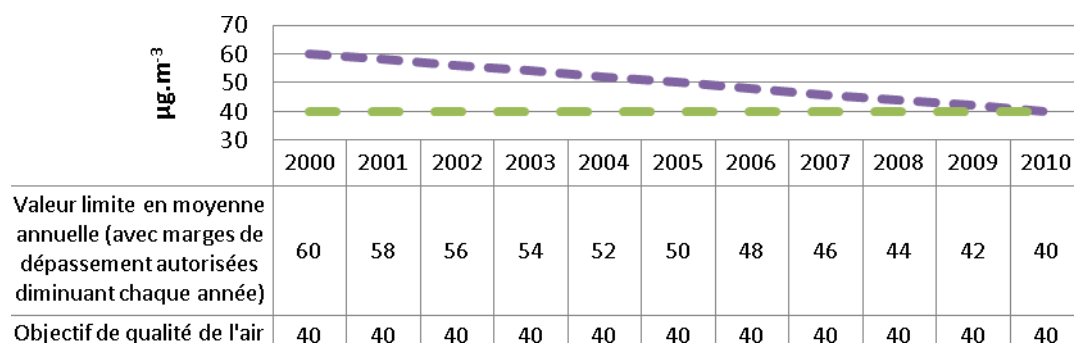
Valeurs réglementaires concernant le dioxyde d'azote (NO₂)

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)



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	Moyenne sur 24h
Seuil d'alerte	125	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).

ANNEXE 4 : Méthode de calcul des émissions de polluants

La quantification des émissions issues du trafic routier s'appuie sur deux sources de données : il est d'abord nécessaire de caractériser le trafic routier sur chaque tronçon de la zone d'étude (nombre et parc de véhicules, profil de vitesse...). Il faut ensuite convertir ces données en émissions, par le biais de facteurs d'émissions.

Quantification du trafic routier

La connaissance des volumes de trafic sur chaque tronçon routier de la zone d'étude s'appuie sur le modèle de trafic DAVISUM mis en œuvre par l'AURG de Grenoble. Un modèle de trafic s'appuie sur une enquête ménage déplacements qui permet de déterminer des matrices origine/destination au sein de l'agglomération, ainsi que des enquêtes cordon pour le trafic d'échange et de transit. Ces déplacements sont ensuite retranscrits dans le réseau routier existant.

Des modifications de voiries, d'hypothèses socio-économiques, d'offres de transports en commun permettent de se projeter à moyen terme et de disposer de matrices de trafic à ces échéances.

Cinq modélisations ont été exploitées dans ce rapport :

- Les volumes de trafic relatifs à l'année 2002 proviennent d'une modélisation réalisée par l'AURG suite à l'enquête ménage de 2002.
- Les volumes de trafic 2012 sont issus de quatre scénarii intégrant des hypothèses socio économiques à cet horizon :
 - o scénario « **2012 sans Tram E** » intégrant le maintien de la ligne 3 de bus ;
 - o scénario « **2012 Tram E urbanisation PDU** » intégrant le tram E (tracé de référence), avec les hypothèses d'urbanisation partagée (PDU) ;
 - o scénario « **2012 Tram E urbanisation PLU** » intégrant le tram E (tracé de référence) associé à une urbanisation PLU (droit des sols actuel). Ce scénario s'accompagne d'un accroissement de la population d'environ 7500 personnes le long de la ligne E ;
 - o scénario « **2012 Tram E urbanisation dense** » intégrant le tram E (tracé de référence) associé à une urbanisation dense (intensification urbaine). Ce scénario s'accompagne d'un accroissement de la population d'environ 20000 personnes le long de la ligne E ;

Caractérisation en 6 classes de véhicules

Six types de véhicules sont utilisés pour caractériser le trafic routier, selon deux catégories :

- Les véhicules légers (voitures particulières, véhicules utilitaires légers et deux roues) ;
- Les véhicules lourds (poids lourds, bus urbains et autocars).

Il faut donc déterminer précisément la part de chacune de ces six classes. Les sources de données pour y parvenir sont multiples :

- Comptages routiers (part des poids lourds)
- Statistiques sur les ventes de carburant (part des VUL)
- Statistiques des barrières de péage (part des deux roues sur autoroutes)
- le modèle de trafic grenoblois est multimodal, cela signifie qu'à chaque tronçon routier est associé un nombre de bus, d'autocars et autres véhicules (véhicules légers et poids lourds).

Caractérisation de chaque classe de véhicules

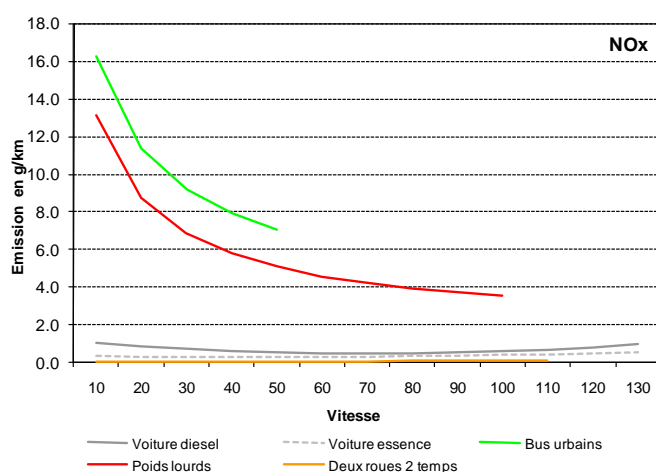
L'une des difficultés réside dans la connaissance du parc roulant de véhicules. Or, il n'existe pas de fichier central permettant de connaître la constitution du parc de véhicule sur une zone géographique donnée.

Pour répondre à ce manque de connaissance du parc, l'ADEME²¹ a subventionné des travaux dans le cadre d'une thèse afin de mettre en œuvre un modèle de constitution de parc, représentatif de la répartition nationale, qui permette de qualifier le parc de véhicules roulant pour chacune des six classes de véhicules, en fonction du carburant du véhicule, la cylindrée ou le PTAC, ainsi que la norme Euro. L'exploitation de l'enquête ménage de 2002 sur l'agglomération grenobloise n'a pas montré d'écart significatif entre le parc de véhicules local et national.

Profil de vitesse

Les émissions de polluants sont fortement dépendantes de la vitesse du véhicule. C'est pourquoi à chaque brin routier est associé un profil de vitesse dépendant du type de brin (urbain, autoroutier, périurbain). A noter que les profils de vitesse associés à un brin routier sont identiques pour tous les scénarii.

Dans le cas des brins de Grenoble, un profil spécifique a été pris en compte, afin de mieux modéliser la moins grande fluidité des axes routiers qui lui sont associés.



Exemple de profil d'émission pour les NO_x par classe de véhicule selon leur vitesse

Calcul des émissions

La traduction de volumes de trafic en émissions se fait par des facteurs d'émissions issus de **COPERT III** (Computer Programme to Calculate Emissions from Road Transport). Ce travail 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 (urbain, rural, autoroutier).

²¹ Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie : thèse de Béatrice BOURDEAU