



Qualité de l'air dans le nord de l'agglomération grenobloise

Campagnes météorologiques réalisées
en 2008-2009

Mai 2009

ASCOPARG



**Association pour le Contrôle et la
Prévention de l'Air dans la Région
Grenobloise**

44 avenue Marcellin Berthelot
38100 GRENOBLE
Tél. : 04 38 49 92 20
Fax : 04 38 49 08 80



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

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

Conditions de diffusion :

- Les données recueillies tombent dès leur élaboration dans le domaine public. Le rapport d'étude est mis à disposition sur www.atmo-rhonealpes.org, un mois après validation interne.
- Les données contenues dans ce document restent la propriété de l'association. Données non rediffusées en cas de modification ultérieure des données.
- Toute utilisation partielle ou totale de ce document doit faire référence à l'association en termes de «ASCOPARG, *Etude de la qualité de l'air dans le Nord de l'agglomération grenobloise - Années 2008-2009* » et mentionner l'origine du financement.
- ASCOPARG n'est en aucune façon responsable des interprétations et travaux intellectuels, publications diverses résultant de ses travaux et pour lesquels aucun accord préalable n'aurait été donné.

**Cette étude a été réalisée grâce au concours financier
du Conseil Général de l'Isère**

ASCOPARG tient à remercier :

- Christine Piot, Jean-Luc Jaffrezo, et Jean-Luc Besombes, des *Laboratoires de Glaciologie et de Géophysique de l'Environnement* (LGGE Grenoble) et du *Laboratoire de Chimie Moléculaire et Environnement* (LCME Chambéry) pour leur travail d'analyse chimique sur les particules, et le nombre d'espèces chimiques analysées plus important que prévu initialement. Les interprétations associées ont été intégrées au présent rapport.
- les personnes et les organismes qui ont autorisé la réalisation de ces mesures (La société du téléphérique Grenoble - la Bastille, le cimetière de la Tronche, le CHU de la Tronche, la Mairie de Grenoble et l'Ecole Jean Macé de Grenoble).

Pour tout renseignement, contacter le service communication : information@atmo-rhonealpes.org

Table des matières

Résumé de l'étude	5
INTRODUCTION	7
1. Méthodologie de l'étude	9
1.1. CALENDRIER DE L'ETUDE	9
1.2. SITES DE MESURES	10
1.2.1. Stations de référence	10
1.2.2. Dispositif spécifique à l'étude	13
1.3. TECHNIQUES DE MESURES.....	15
1.3.1. Mesures en continu par analyseurs.....	15
1.3.2. Mesures par échantillonnage passif pour le dioxyde d'azote (NO ₂) et le benzène (C ₆ H ₆).....	15
1.3.3. Mesures par prélèvements actifs	16
1.3.4. Analyse des composés particulaires atmosphériques.....	18
1.4. REPRESENTATIVITE DES MESURES	20
1.4.1. Représentativité vis-à-vis des conditions météorologiques	20
1.4.2. Représentativité annuelle	24
2. Présentation des résultats	25
2.1. OXYDES D'AZOTE (NOX).....	25
2.1.1. Les émissions de NOx dans l'agglomération de Grenoble.....	25
2.1.2. Niveaux mesurés et comparaison à la réglementation	25
2.1.3. Répartition spatiale du dioxyde d'azote (NO ₂).....	30
2.2. POUSSIERES EN SUSPENSION (PM ₁₀ ET PM _{2,5})	40
2.2.1. Les émissions de PM ₁₀ dans l'agglomération de Grenoble.....	40
2.2.2. Niveaux mesurés et comparaison à la réglementation	41
2.2.3. Bilan massique et chimie des PM ₁₀	44
2.2.4. Niveaux mesurés en PM _{2,5} et comparaison à la réglementation.....	50
2.3. BTX : BENZENE, TOLUENE, XYLENES	52
2.3.1. Les émissions de COV dans l'agglomération de Grenoble	52
2.3.2. Niveaux mesurés et comparaison à la réglementation	52
2.3.3. Répartition spatiale du benzène et du toluène.....	52
2.4. MONOXYDE DE CARBONE (CO)	55
2.4.1. Emissions en monoxyde de carbone dans l'agglomération de Grenoble.....	55
2.4.2. Niveaux mesurés et comparaison à la réglementation	55
2.5. PRELEVEMENTS : COV, ALDEHYDES, HAP ET METAUX LOURDS	58
2.5.1. Origine des polluants	58
2.5.2. Valeurs réglementaires existantes.....	59
2.5.3. Principaux résultats des niveaux mesurés.....	60
2.5.4. Etude des variations saisonnières et des profils par famille de polluants.....	67
CONCLUSION	78
Annexe 1 : Définitions et valeurs réglementaires	79
UNITES, STATISTIQUES EMPLOYEES	79
2.5.5. Définitions.....	79
2.5.6. Représentation statistique	79
VALEURS REGLEMENTAIRES	80
2.5.7. Définition des valeurs réglementaires.....	80
2.5.8. Valeurs réglementaires concernant le dioxyde d'azote (NO ₂)	80
2.5.9. Valeurs réglementaires concernant les particules en suspension	81
Annexe 2 : Localisation des sites de mesures	82
Annexe 3 : Résultats des mesures	85
RESULTATS DES MESURES D'OXYDES D'AZOTE (NOX)	85
2.5.10. Monoxyde d'azote (NO)	85
2.5.11. Dioxyde d'azote (NO ₂)	86
RESULTATS DES MESURES DE POUSSIERES EN SUSPENSION (PM ₁₀ ET PM _{2,5}).....	89
2.5.12. Particules de taille inférieure à 10 microns (PM ₁₀).....	89
2.5.13. Composition moyenne des PM ₁₀	91
2.5.14. Particules de taille inférieure à 2,5 microns (PM _{2,5}).....	92
RESULTATS DES MESURES DE BENZENE ET TOLUENE	93
RESULTATS DES MESURES DE MONOXYDE DE CARBONE (CO)	94
RESULTATS DES PRELEVEMENTS POUR LES COMPOSES ORGANIQUES VOLATILS (COV)	95
RESULTATS DES PRELEVEMENTS POUR LES ALDEHYDES (ALD)	96

RESULTATS DES PRELEVEMENTS POUR LES HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES (HAP)	97
RESULTATS DES PRELEVEMENTS POUR LES METAUX LOURDS (ELEMENTS TRACES METALLIQUES ETM)	98
Annexe 4 : Références bibliographiques	99
Table des figures	100

Résumé de l'étude

Le « nord grenoblois » est une zone à fort enjeu, abritant une densité de population importante située autour du centre historique de Grenoble et des quais de l'Isère, ainsi que dans les communes accueillant les axes entrants au Nord-Est (La Tronche, Corenc, Meylan) et au Nord-Ouest (Saint-Martin le Vinoux, Saint-Egrève, Sassenage, Fontaine). Ce territoire est actuellement concerné par de grands projets d'infrastructures, de transports et d'urbanisme (Rocade Nord, lignes de Tramways ou de Bus, projet GIANT sur la presqu'île scientifique, élargissement de l'A480 ...).

Les études déjà réalisées sur le secteur dans le cadre de l'observatoire des déplacements du PDU Grenoblois ont montré que la qualité de l'air y est sensible, et complexe à étudier. En effet, il y est difficile de modéliser la météorologie et la qualité de l'air sur ce secteur en raison du relief très présent et de la confluence des masses d'air provenant des vallées du Grésivaudan et de Voreppe.

Dans ce contexte, ASCOPARG, organisme agréé de surveillance de la qualité de l'air la région de Grenoble, a proposé en 2008 une évaluation complète de la qualité de l'air dans le nord de l'agglomération grenobloise avec de multiples objectifs :

- Disposer de mesures récentes
- Améliorer les connaissances et optimiser les outils de modélisations
- Caractériser les sources de particules fines en suspension dans l'air, en distinguant la combustion de biomasse (bois, végétaux) par des traceurs.

Cette étude avait pour objectif de réaliser un **bilan complet de la qualité de l'air** sur cette zone. Plusieurs dizaines de polluants ont été mesurés afin de prendre en compte l'ensemble des sources potentielles dans ce secteur qu'elles soient automobiles, résidentielles ou industrielles : oxydes d'azote, masse et composition chimique des particules, monoxyde de carbone, Composés Organiques Volatiles, Hydrocarbures Aromatique Polycycliques, Métaux Lourds, Aldéhydes, Lévo-glucosan. Des mesures météorologiques complémentaires ont également été mises en œuvre pour appréhender les conditions météorologiques particulières dues à la proximité du relief de la Chartreuse.

Sur l'ensemble des polluants étudiés, les mesures ont montré une influence du trafic automobile marquée sur les deux sites CHU-Michallon (Nord-Est) et l'Ecole Jean Macé (Nord-Ouest) ; respectivement en moyenne annuelle pour le **dioxyde d'azote** 37 et 33 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Les concentrations sont moindres qu'en forte proximité automobile (Le Rondeau 57 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, Grands Boulevards 55 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) mais au-dessus de celles observées en fond urbain sur les stations fixes (Grenoble Les Frênes 24 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, Saint-Martin d'Hères 24 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, Fontaine 28 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$).

Les niveaux de **particules PM₁₀** (33 et 32 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) ne respectent pas l'objectif de qualité (30 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) ; ce qui est également le cas sur les stations fixes de proximité automobile (Le Rondeau-37 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$; Grands Boulevard-32 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). La valeur limite pour la protection de la santé n'est pas respectée, comme sur l'ensemble de l'agglomération grenobloise (50 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ sur 24h à ne pas dépasser plus de 35 fois dans l'année). Les concentrations de **PM_{2,5}** sont également élevées sur les deux sites (25 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), égalant la valeur cible 2010.

Le dioxyde d'azote (NO₂) étudié sur l'ensemble du domaine d'étude par capteurs passifs, présente sur certaines zones aux abords des grands axes de circulation automobile (A480, A48, A41, Rocade Sud) des résultats non conformes à la réglementation. En s'éloignant des sources, et notamment des sources automobiles, les sites de fond présentent des résultats conformes en NO₂ aux principales valeurs réglementaires et similaires aux niveaux de fond observé dans le reste de l'agglomération.

Les concentrations de particules n'ont pu être observées dans les mêmes conditions. Cependant compte tenu de l'homogénéité des niveaux de particules sur l'agglomération, la non-conformité réglementaire des résultats obtenus sur les sites CHU-Michallon et l'Ecole

Jean Macé peut être extrapolée à l'ensemble du domaine d'étude ; en notant que les populations peuvent être surexposées en proximité automobile.

Concernant les sources de particules, les analyses chimiques ont par exemple permis de mettre en évidence la part de la combustion de biomasse bien présente en hiver et issue principalement du chauffage au bois résidentiel. **La part de la combustion de biomasse** dans la fraction organique des particules s'est élevée jusqu'à **60%** au plus fort de l'épisode de pollution par les particules de janvier 2009, qui a été d'ampleur régionale. La composition chimique des particules dans le nord grenoblois reste cependant comparable à celle observée sur le site de référence de Grenoble Les Frênes et caractéristique d'une atmosphère urbaine.

L'ensemble de ces résultats recueillis sur la zone du nord grenoblois permet une amélioration des connaissances précieuse sur la qualité de l'air, la chimie des particules et la météorologie. Ces données sont indispensables pour alimenter et développer les outils de modélisation et de prospective, et constituent une base de résultats disponibles pour les différents projets d'infrastructure ou d'urbanisme sur ce secteur de l'agglomération.

INTRODUCTION

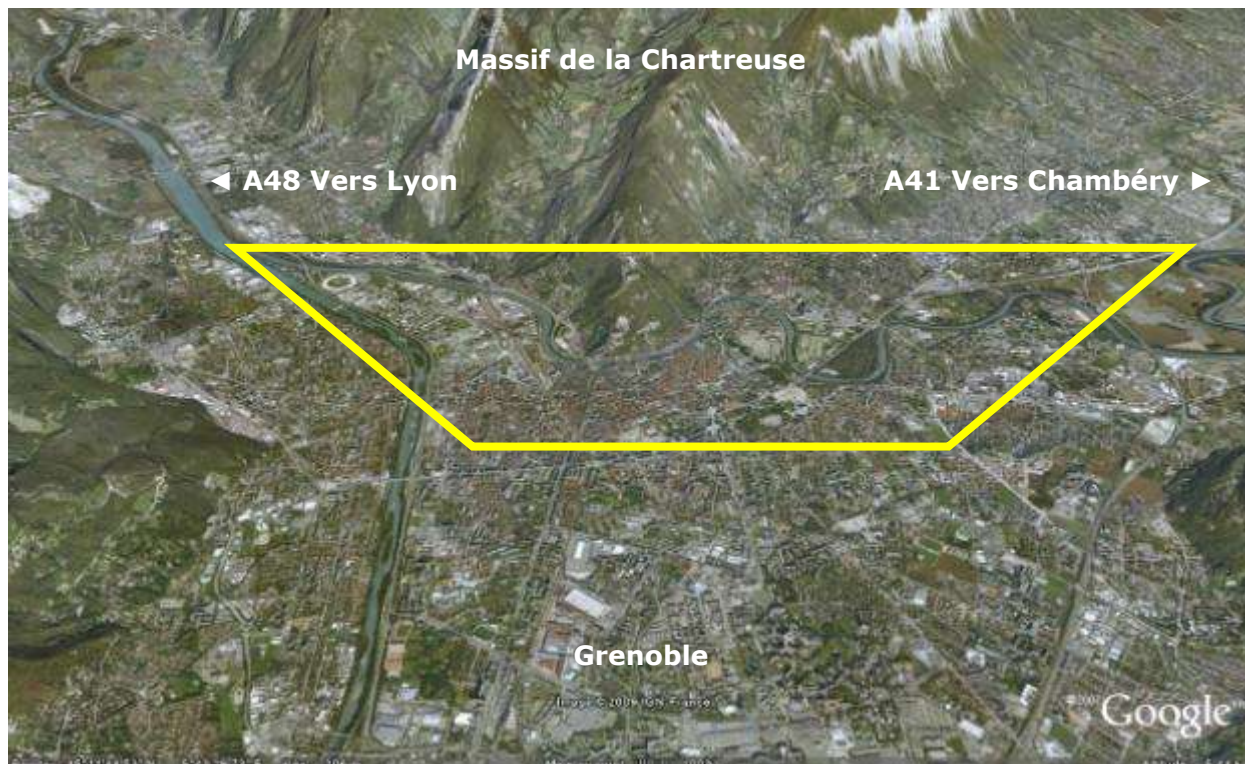


Figure 1 Le nord de l'agglomération grenobloise (source : Google Earth), le domaine d'étude est représenté en jaune

Le « nord grenoblois » est une zone à fort enjeu, abritant une densité de population importante située autour du centre historique de Grenoble et des quais de l'Isère, et sur les communes accueillant les axes entrants au Nord-Est (La Tronche, Corenc, Meylan) et au Nord-Ouest (Saint-Martin le Vinoux, Saint-Egrève, Sassenage, Fontaine). Ce territoire est actuellement concerné par de grands projets d'infrastructures, de transports et d'urbanisme (Rocade Nord, lignes de Tramways ou de Bus, projet GIANT sur la presqu'île scientifique, élargissement de l'A480 ...).

Les études déjà réalisées sur le secteur dans le cadre de l'observatoire des déplacements du PDU Grenoblois ont montré que la qualité de l'air y est sensible, et complexe à étudier. En effet, il y est difficile de modéliser la météorologie et la qualité de l'air sur ce secteur en raison du relief très présent et de la confluence des masses d'air provenant des vallées du Grésivaudan et de Voreppe.

En 2007, 25 à 30 % des populations résidant au centre ville de Grenoble et à proximité des grandes voiries urbaines étaient encore exposées à des dépassements de valeurs réglementaires pour le dioxyde d'azote, polluant principalement émis par la circulation automobile.

Dans ce contexte, ASCOPARG, organisme agréé de surveillance de la qualité de l'air la région de Grenoble, a proposé en 2008 une évaluation complète de la qualité de l'air dans le nord de l'agglomération grenobloise avec de multiples objectifs :

- **Disposer de mesures récentes** sur la zone qui puisse servir d'état initial aux différents projets d'infrastructures, notamment la Rocade Nord
- **Améliorer les connaissances et optimiser les outils** de modélisations de la qualité de l'air à proximité du relief (modèle Sirane), en réalisant des mesures sur le terrain de paramètres de qualité de l'air et météorologiques. Ces outils, déjà opérationnels sur la partie plane de l'agglomération, permettront d'évaluer de manière plus précise l'impact d'actions d'amélioration de la qualité de l'air (PPA, PDU, ...) ou de modifications du trafic automobile sur l'agglomération.
- **Caractériser les sources de particules fines** en suspension dans l'air, en mesurant des traceurs de la combustion de biomasse (bois, végétaux). Les niveaux de particules dans l'air sont en effet élevés sur l'agglomération et en Rhône-Alpes, avec un nombre de jours de dépassements autorisés dans l'année trop important au regard de la réglementation. En hiver, la part du chauffage au bois peut devenir prépondérante en période froide et aggraver les épisodes de pollution par les particules.

Un dispositif important de mesures a ainsi été mis en place entre juin 2008 et mars 2009 comprenant **deux laboratoires mobiles** équipés d'analyseurs pour la mesure en continu des polluants réglementés (dont le dioxyde d'azote et les particules) et de matériels de prélèvements pour l'analyse de **83 autres polluants** (parmi les COV, les Aldéhydes, HAP, Métaux Lourds, traceurs de la combustion de biomasse).

Par ailleurs, **58 sites** ont été équipés avec de capteurs plus légers (tubes passifs) afin d'estimer les concentrations moyennes en dioxyde d'azote et en benzène et d'étudier les variations spatiales sur l'ensemble de la zone du « nord grenoblois ».

1. Méthodologie de l'étude

1.1. Calendrier de l'étude

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

L'hiver, la réactivité photochimique des polluants est faible. Les polluants primaires, comme les oxydes d'azote (NO_x) et poussières en suspension (PM₁₀) peuvent être présents à des concentrations importantes, car les phénomènes météorologiques sont favorables à leur accumulation dans l'atmosphère (absence de dispersion verticale des polluants liée à une inversion de température qui confine les polluants dans les basses couches de l'atmosphère).

L'été, la réactivité photochimique des polluants est plus importante. La température et le rayonnement solaire plus élevés jouent un rôle déterminant en influençant la vitesse de nombreuses réactions chimiques et favorisent l'apparition de polluants dits « secondaires » dont l'ozone (O₃).

Le comportement des polluants atmosphériques locaux est lié aux conditions climatiques et donc aux saisons. En raison de la forte variabilité de la qualité de l'air sur un territoire, mais aussi dans le temps, 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 concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe) pour être considérées comme représentatives de la qualité de l'air d'un site donné et permettre une comparaison avec les normes en vigueur.

Huit semaines de mesures (4 campagnes de 2 semaines) ont donc été programmées entre juin 2008 et avril 2009, chaque campagne étant caractéristique d'une saison (les campagnes sont indiquées en rouge dans le tableau ci-dessous).

Avr	Mai	Juin	Juill	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar
			1			2			3		4

Tableau 1 Date des campagnes de mesures

Chaque campagne de mesures est divisée en deux parties qui correspondent au temps d'exposition des tubes à diffusion (environ 1 semaine).

Campagne	Saison	Début	Fin
1.1	Eté	25/06/2008	03/07/2008
1.2		03/07/2008	11/07/2008
2.1	Automne	08/10/2008	15/10/2008
2.2		15/10/2008	22/10/2008
3.1	Hiver	07/01/2009	14/01/2009
3.2		14/01/2009	21/01/2009
4.1	Printemps	18/03/2009	25/03/2009
4.2		25/03/2009	01/04/2009

Tableau 2 Détail des dates des campagnes de mesures

1.2. Sites de mesures

La qualité de l'air de l'agglomération de Grenoble est suivie en permanence par plusieurs stations fixes (3 stations périurbaines, 3 stations urbaines de fond et deux stations de proximité automobile).

1.2.1. Stations de référence

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

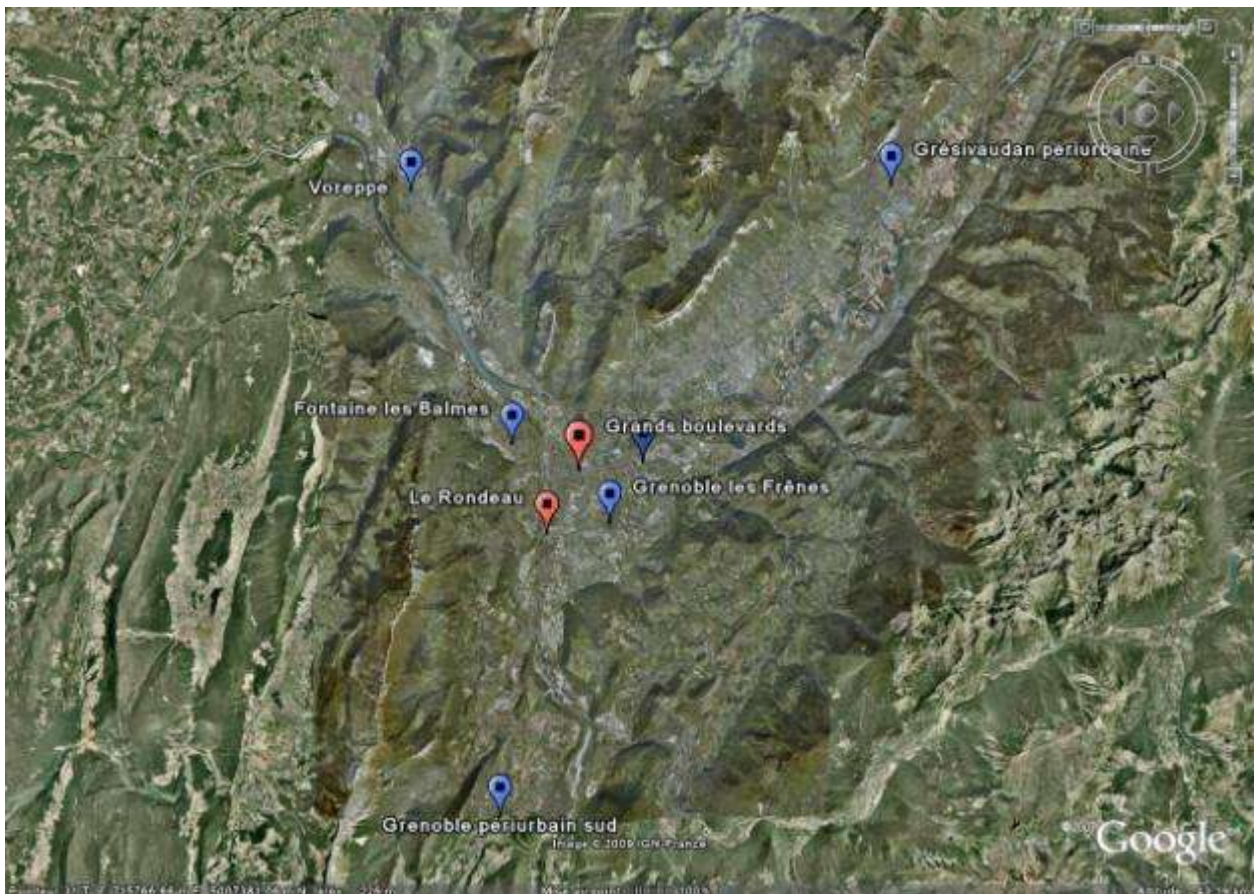


Figure 2 Implantation des stations fixes d'ASCOPARG pris en compte dans le cadre de cette étude (en bleu les stations urbaines et périurbaines, en rouge les stations de proximité automobile).

Les stations « **urbaines de fond** » (U) permettent de suivre l'exposition **moyenne** de la population aux phénomènes de pollution atmosphérique dits de fond dans les centres urbains.

Les stations **périurbaines** (P) permettent le suivi **moyen** d'exposition de la population aux phénomènes de pollution dits « de fond » à la **périphérie** des centres urbains.

Les stations **rurales** (R) permettent le suivi de la qualité de l'air en **zone rurale**. Elles permettent le suivi de l'exposition des écosystèmes et de la population à la pollution atmosphérique de fond, notamment photochimique, à l'échelle de la région (exemple : Drôme Rural Sud).

Les stations « **trafic** » (T) sont situées à proximité immédiate du trafic automobile et représentent donc le niveau **maximum** d'exposition à la pollution liée au trafic automobile (exemples : Le Rondeau, Grenoble Boulevards).

Stations		Polluants mesurés
<p>Le Rondeau Chemin du Tremblay ECHIROLLES (38130)</p> <p>Typologie du site de mesures : Proximité automobile (Rocade Sud)</p>		<p>Oxydes d'azote (NO et NO₂) Monoxyde de carbone (CO) Benzène (C₆H₆) Poussières (PM₁₀ et PM_{2,5})</p>
<p>Grenoble Boulevards 48-50 Boulevard Foch GRENOBLE (3800)</p> <p>Typologie du site de mesures : Proximité automobile (Boulevard Foch)</p>		<p>Oxydes d'azote (NO et NO₂) Monoxyde de carbone (CO) Poussières (PM₁₀)</p>

Tableau 3 Sites fixes de proximité automobile d'ASCOPARG pris en référence pour cette étude

Les résultats des mesures sont aussi comparés au niveau de fond urbain et périurbain de l'agglomération de Grenoble ainsi qu'aux niveaux de fond ruraux.

Stations		
<p>Grenoble les Frênes Ecole les Frênes – Allée Pelouse – La villeneuve GRENOBLE (38100)</p> <p>Typologie du site de mesures : Urbain de fond</p>		<p>Oxydes d'azote (NO et NO₂) Ozone (O₃) Dioxyde de soufre (SO₂) Benzène (C₆H₆) Toluène Poussières (PM₁₀ et PM_{2.5})</p>
<p>Fontaine les Balmes 31bis Avenue Lénine FONTAINE (38600)</p> <p>Typologie du site de mesures : Urbain de fond</p>		<p>Oxydes d'azote (NO et NO₂) Ozone (O₃) Poussières (PM₁₀)</p>
<p>Saint Martin d'Hères Avenue Benoit Frachon SAINT MARTIN D'HERES (38400)</p> <p>Typologie du site de mesures : Urbain de fond</p>		<p>Oxydes d'azote (NO et NO₂) Ozone (O₃) Dioxyde de soufre (SO₂) Poussières (PM₁₀)</p>

Tableau 4 Sites fixes urbains d'ASCOPARG pris en référence pour cette étude

1.2.2. Dispositif spécifique à l'étude

Dans le cadre de cette étude, le dispositif de surveillance de qualité de l'air de l'agglomération de Grenoble a été renforcé :

- Avec 2 laboratoires mobiles équipés d'analyseurs équivalents à ceux du réseau fixe, pour la mesure en continu des polluants réglementés, et de matériels de prélèvements pour la mesure des COV, Aldéhydes, HAP et Métaux Lourds. Ces laboratoires ont été implantés pour réaliser des mesures en simultané sur deux sites : l'un à l'ouest de la zone (Ecole Jean Macé – Presqu'îles scientifique) et l'autre à l'est (CHU-Michallon à La Tronche – cf. photos pages suivantes).

Ces 2 sites de mesures ont été choisis pour mesurer des niveaux de fond représentatifs d'une grande partie de la zone d'étude (sur une zone suffisamment dégagée et éloignée des sources) tout en voulant se situer dans le périmètre des axes principaux de transit à l'ouest et à l'est de la zone pour pouvoir en mesurer l'influence. La connaissance du tracé prévisionnel du tunnel pour le projet Rocade Nord, actuellement à l'étude, a également permis d'implanter ces deux sites dans les deux zones prévues d'entrée-sortie du tunnel, afin de pouvoir y établir un bilan de la qualité de l'air initial. Enfin, les deux sites retenus ont été implantés dans une école et un centre hospitalier, afin d'estimer les expositions à la pollution sur ces zones pour des populations sensibles.

- Par ailleurs, 58 sites ont été équipés de mesures par tubes à diffusion passive, permettant d'estimer la moyenne annuelle en dioxyde d'azote (NO₂) et en benzène (C₆H₆) et d'étudier les variations spatiales de ces polluants sur l'ensemble de la zone (cf. cartes pages suivantes).

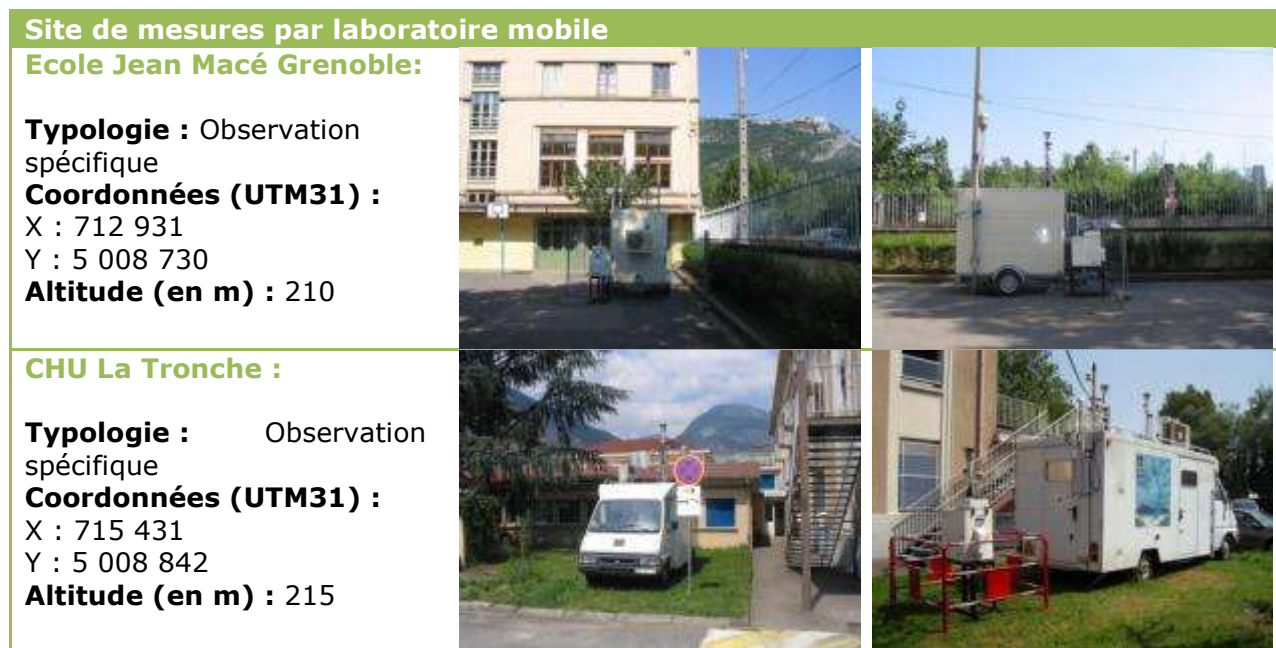


Figure 3 Photos des deux sites de mesures équipés de laboratoire mobile

Le site de l'école Jean Macé est repéré par le cercle rouge (●) sur la carte suivante.



Figure 4 Localisation du site de l'école Jean Macé - Source : Google Earth

Le site du CHU Michallon est repéré par le cercle rouge (●) sur la carte suivante.



Figure 5 Localisation du site du CHU Michallon - Source : Google Earth

L'ensemble des sites de mesures est représenté sur la figure suivante :

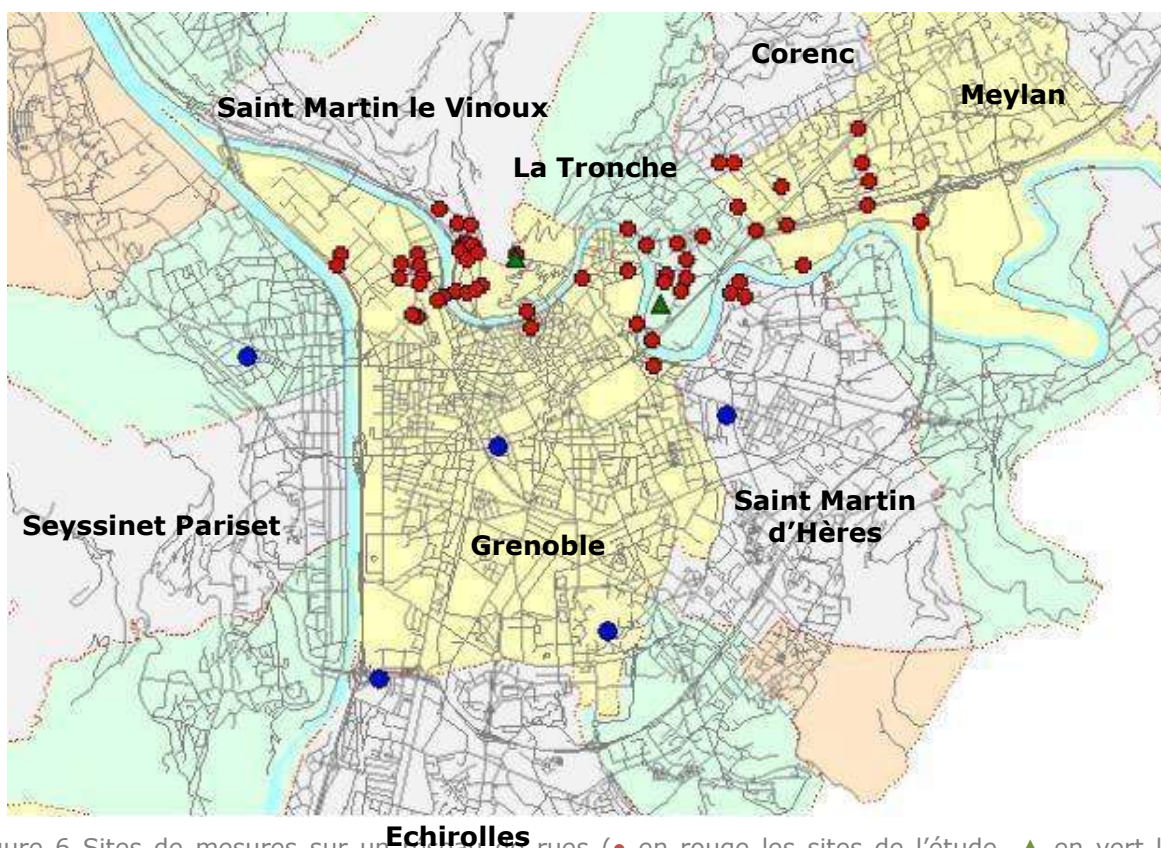


Figure 6 Sites de mesures sur un réseau de rues (● en rouge les sites de l'étude, ▲ en vert les 2 stations météorologiques et ● en bleu les stations fixes d'ASCOPARG) – Source : Agglo Magellan

1.3. Techniques de mesures

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

1.3.1. Mesures en continu par analyseurs

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

- Les oxydes d'azote (NO_x : NO et NO₂)
- Les poussières en suspension de taille inférieure à 10 microns (PM₁₀) et de taille inférieure à 2,5 microns (PM_{2,5})
- Le monoxyde de carbone (CO)

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

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

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

Cette méthode indicative qui donne une moyenne sur une semaine (correspondant à la durée d'exposition du tube dans cette étude) est moins détaillée que les analyseurs (qui mesurent des concentrations horaires) mais présente l'avantage d'être moins onéreuse et donc de pouvoir multiplier les points de mesures.

Les échantillonneurs passifs (aussi appelés tubes à diffusion passive ou tubes passifs) utilisés dans le cadre de cette étude pour la mesure du benzène et du toluène sont fournis par la Fondation Salvatore Maugeri (Laboratoire italien – PADOVA) et sont analysés par le Laboratoire Interrégional de Chimie de l'ASPA (Association pour la Surveillance de la Pollution Atmosphérique en Alsace – SCHILTIGHEIM, 67).

Les échantillonneurs passifs pour la mesure du dioxyde d'azote (NO₂) sont fournis et analysés par PASSAM (laboratoire d'analyses – MANNEDORF, Suisse).

Les échantillonneurs passifs sont exposés dans l'air ambiant pendant une semaine (soit deux semaines de mesures par campagne) puis envoyés pour analyse afin de déterminer la concentration des polluants piégés.

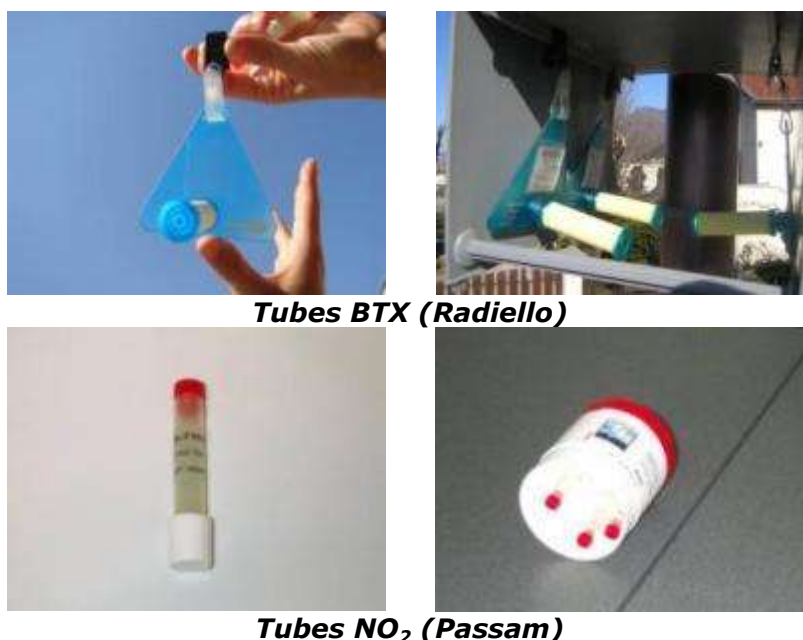


Figure 7 Photos des tubes à diffusion BTX et NO₂

1.3.3. Mesures par prélèvements actifs

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

Au total, **83 composés** ont été ciblés dans le cadre de cette étude :

- 15 Métaux Lourds (ou Eléments Traces Métalliques), dont 4 composés possédant des valeurs réglementaires (Arsenic, Cadmium, Nickel et Plomb) et le Chrome VI.
- 19 HAP, dont le Benzo(a)pyrène
- 41 COV : 31 composés précurseurs de l'ozone (dont le Benzène, le Toluène, le 1,3-Butadiène) et 10 composés chlorés.
- 8 Aldéhydes, dont le Formaldéhyde, l'Acétaldéhyde et l'Acroléine.

Polluants mesurés	Durée du prélèvement	Type de prélèvement	Nombre de prélèvements
15 Eléments Traces Métalliques (ETM)	7 jours	Filtres (Préleveur bas débit)	2 par campagne (Total : 8 par site)
19 Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)	24h	Filtres + Mousses (Préleveur haut débit)	6 par campagne (Total : 24 par site)
41 Composés Organiques Volatils (COV)	24h	Prélèvement actif par canister	6 par campagne (Total : 24 par site)
8 Aldéhydes (ALD)	8h (10h-18h heure locale)	Prélèvement actif sur cartouches (DNPH)	6 par campagne (Total : 24par site)

Tableau 5 : Description des prélèvements

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



Prélèvement de COV par Canister



Prélèvement d'aldéhydes par cartouches DNPH



Préleveur de HAP



Préleveur de métaux lourds

Figure 8 Les différents préleveurs utilisés par l'ASCOPARG dans le cadre de cette étude

1.3.4. Analyse des composés particulaires atmosphériques

Des prélèvements complémentaires ont été réalisés sur des filtres, afin d'analyser certains traceurs de combustion de la Biomasse, comme le Levoglucosan ou la part de Carbone élémentaire et de Carbone Organique contenu dans la Matière Organique prélevée.

a) Analyses

Les analyses et l'exploitation des résultats ont été confiées à des laboratoires de recherche experts en la matière : le LGGE (Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement) de l'Université Joseph Fourier de Grenoble et le LCME (Laboratoire de Chimie Moléculaire et Environnement) de l'Université de Savoie.

Afin de caractériser la composition chimique des aérosols, diverses analyses ont été réalisées. Ces analyses concernaient la quantification de la matière carbonée, des principales espèces ioniques ions et d'un monosaccharide : le lévoglucosan.

Les analyses d'ions ont été réalisées par chromatographie ionique.

L'analyse des anions permet la quantification du chlorure, du nitrate, du sulfate et de l'oxalate.

L'analyse des cations permet la quantification du sodium, de l'ammonium, du potassium, du magnésium et du calcium. Ces ions sont les ions majeurs présents dans les particules atmosphériques et sont de bons indicateurs du type de sources de pollution. C'est pour ces raisons qu'ils ont fait l'objet d'une détermination systématique dans le cadre de cette étude. Par exemple, le potassium est régulièrement utilisé comme indicateur de sources de combustion de biomasse ou encore le chlore dans des régions faiblement ou non influencées par des embruns marins est un indicateur d'émissions d'incinérateurs.

La matière organique constitue une fraction importante de l'aérosol atmosphérique. Sa détermination globale se fait par la mesure simultanée de l'OC (carbone organique) et l'EC (carbone élémentaire) à l'aide d'une méthode thermo-optique. A côté de la mesure globale de l'OC, la spéciation à l'échelle moléculaire de la matière organique particulaire (MOP) permet d'identifier un très large champ de composés organiques où toutes les familles chimiques sont représentées. Certains composés constitutifs de cette MOP sont des indicateurs ou traceurs de sources d'émission.

Ainsi, le lévoglucosan, traceur largement reconnu de la combustion de biomasse, a été analysé sur la totalité des échantillons par chromatographie liquide couplée à un spectromètre de masse.

b) Traitement des données

Les contributions de différentes sources d'émission à la concentration soit de la matière organique, soit des PM₁₀ peuvent être estimées par une approche mono-traceurs à partir d'espèces traceurs de sources et de données de la littérature caractérisant les sources d'émission.

Ainsi à partir des concentrations en carbone organique et en lévoglucosan et en utilisant les données à l'émission de la littérature (Puxbaum et al., 2007), la contribution de la combustion de biomasse sur la fraction organique de l'aérosol est estimée à partir de cette formule :

$$\text{Contribution} = \frac{[\text{lévoglucosan}] \times 7,35}{[\text{OM}]}$$

avec [lévoglucosan] : concentration en lévoglucosan (en ng/m³)
[OM] : concentration en matière organique (en ng/m³)
[OM] = 1,4 x concentration en carbone organique (en ng/m³)

Cette contribution est exprimée généralement en pourcentage.

La concentration en matière organique (OM) est déterminée en appliquant un facteur correctif prenant en compte les atomes autres que le carbone formant la matière organique. Ce facteur correctif est classiquement de 2,2 pour la combustion de bois et de 1,2 pour les émissions véhiculaires (Turpin and Lim, 2001). Pour la matière carbonée ne provenant pas d'une de ces sources spécifiques tel est le cas pour une atmosphère de fond urbain, un facteur médian de 1,4 est utilisé.

D'autre part, la contribution des apports crustaux sur la masse de PM_{10} est estimée en calculant le rapport entre la concentration en calcium à laquelle on applique un facteur correctif de la littérature : 5,6 (Putaud et al., 2004) et la masse totale de PM_{10} .

c) Artéfacts de prélèvements

D'une façon générale, les concentrations atmosphériques sur la phase aérosol sont influencées par les sources d'émissions ayant contribué à la charge des masses d'air considérées mais également par les conditions météorologiques durant l'échantillonnage. Il est donc nécessaire de garder à l'esprit le fort impact potentiel des artéfacts de prélèvements qui peuvent exister pour certaines espèces chimiques.

Le chlore, le nitrate, le sulfate, le carbone organique, les hydrocarbures aromatiques polycycliques (pour en citer quelques unes parmi les principales composantes de la matière particulaire) sont des espèces pouvant se retrouver sous des formes semi-volatiles dans l'atmosphère et dont des changements de phase peuvent se produire lors des prélèvements. Les artéfacts de collecte sont dits positifs lorsque des espèces gazeuses telles qu' HNO_3 ou HCl se fixent sur le filtre à des cations tels que Ca_2^+ ou NH_4^+ , deviennent solides et sont donc comptabilisées sous cette forme lors des analyses.

Les artéfacts sont négatifs lorsqu'une espèce initialement sous forme particulaire dans l'atmosphère devient gazeuse, par exemple par différence de pressions entre l'air et le filtre (c'est le cas notamment de NH_4NO_3).

1.4. Représentativité des mesures

1.4.1. Représentativité vis-à-vis des conditions météorologiques

De manière générale, les concentrations maximales des polluants primaires sont mesurées durant l'automne et l'hiver, périodes présentant les plus forts taux d'émissions (chauffage notamment) et qui peuvent réunir les conditions climatiques les moins favorables à la dispersion des polluants : inversion de température, faibles précipitations, vitesse de vent faible,...

d) Température et pluviométrie

Ces deux paramètres sont étudiés car ils peuvent avoir une influence non négligeable sur les mesures de qualité de l'air.

Ainsi, une forte baisse de température en hiver (par rapport à la normale) s'accompagne généralement d'une hausse des émissions polluantes liées au chauffage.

Par ailleurs, les précipitations contribuent généralement à la diminution des concentrations de polluants dans l'air (lessivage de l'atmosphère).

Les graphiques ci-dessous représentent les températures et les précipitations recueillies en entre avril 2008 et avril 2009 sur la station du Rondeau (pour la température) et la station de Champagnier (pour les précipitations).

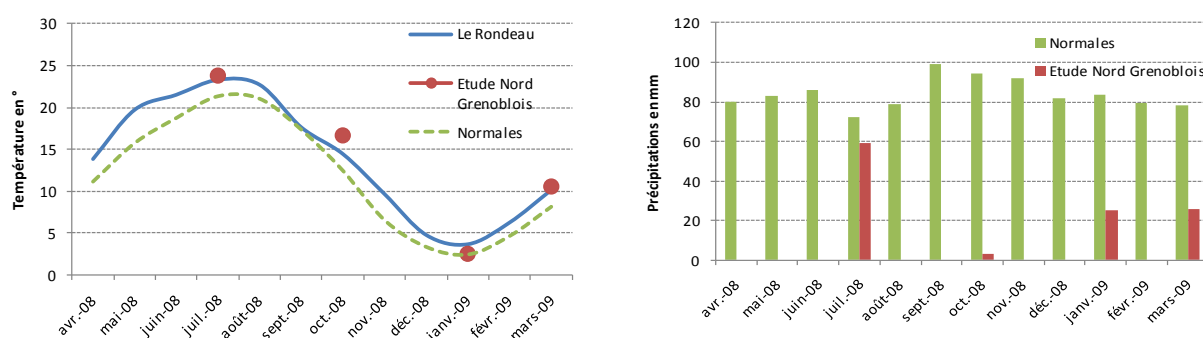


Figure 9 Température moyenne mensuelle et pluviométrie mensuelle entre avril 2008 et avril 2009 (en rouge les campagnes de mesures de l'étude, en vert les normales saisonnières, en bleu la température moyenne mensuelle du Rondeau)

Lors des campagnes n°1, 2 et 4, les températures ont été légèrement supérieures aux moyennes saisonnières, sans pour autant s'en écarter trop. Lors de la campagne n°3 (hiver), les mesures ont été proches des normales saisonnières.

Lors de la campagne d'hiver et de printemps (n°3 et 4), les précipitations ont été plus faibles que les normales de saison. Pour la campagne d'automne (n°2), les précipitations ont été extrêmement faibles. Ceci peut avoir porté des conséquences sur la représentativité des mesures (voir plus loin).

e) Vitesse et direction du vent

L'agglomération est au centre d'un Y délimité au nord par le massif de la Chartreuse, à l'est par le massif de Belledonne et à l'ouest par le massif du Vercors. Cette situation géographique est à l'origine d'une dynamique atmosphérique très singulière.

Dans le cadre de cette étude, en complément des stations météorologiques déjà présentes sur la zone, ASCOPARG a installé deux stations supplémentaires : au cimetière de la Tronche et au sommet de la Bastille.



Figure 10 Rose des vents sur le site du Commissariat à l'Énergie Atomique – en **vert** les vents faibles $< 2 \text{ m.s}^{-1}$ – en **orange** les vents moyens compris entre 2 et 5 m.s^{-1}

La station du CEA (Commissariat à l'Énergie Atomique) se situe au Nord Ouest de l'agglomération de Grenoble. Dans ce secteur le vent est canalisé par la vallée allant de Voreppe à Grenoble.



Figure 11 Rose des vents sur le site du Rondeau – en **vert** les vents faibles $< 2 \text{ m.s}^{-1}$ – en **orange** les vents moyens compris entre 2 et 5 m.s^{-1}

La station du Rondeau est située au sud de l'agglomération, à la limite entre Grenoble et Echirolles ; elle est en position plus centrale par rapport au Y grenoblois.

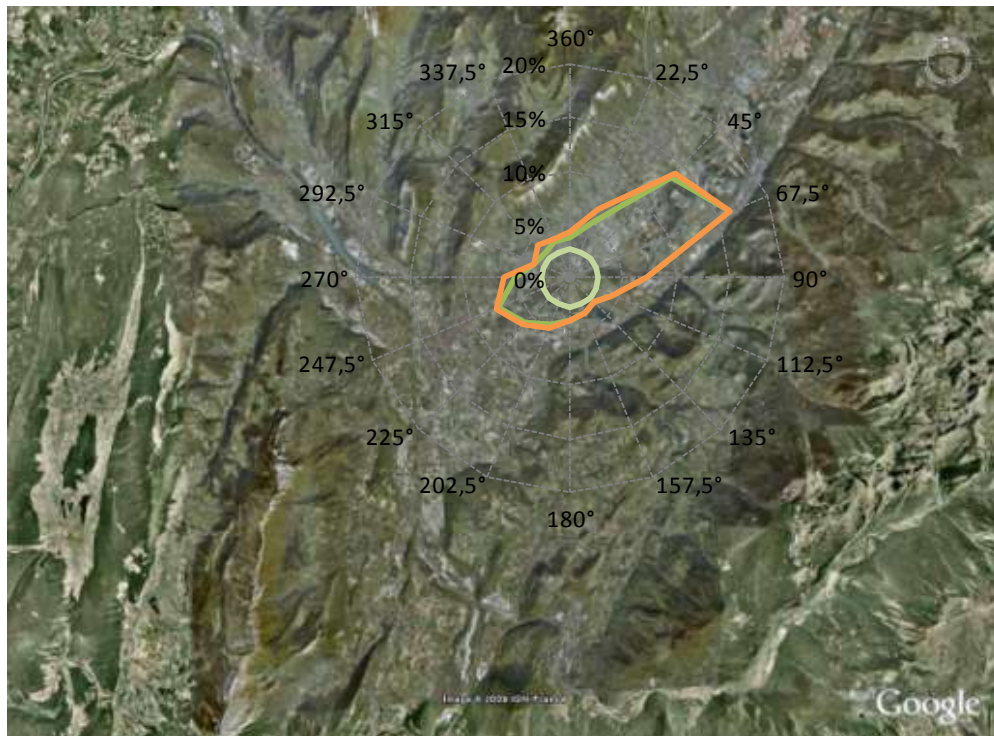


Figure 12 Rose des vents sur le site du cimetière de la Tronche – en **vert** les vents faibles $< 2\text{m.s}^{-1}$ – en **orange** les vents moyens compris entre 2 et 5m.s^{-1}

La station météorologique du cimetière de la Tronche a été installée dans la partie Nord Est de l'agglomération. Dans ce secteur, le vent est canalisé par la vallée du Grésivaudan.

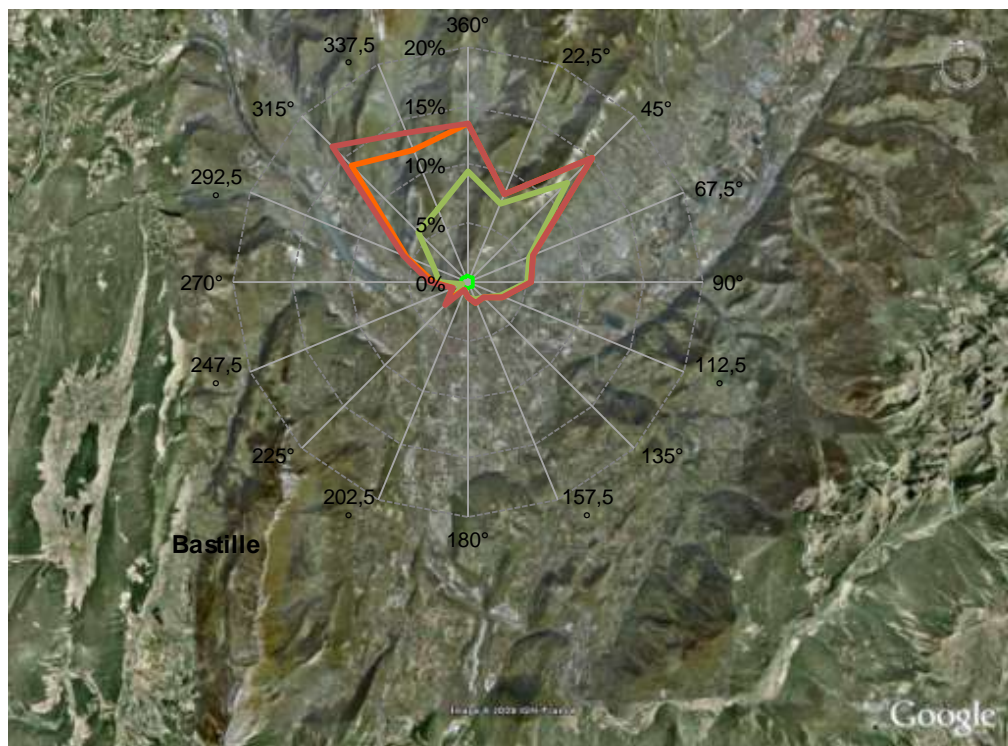


Figure 13 Rose des vents lors de la campagne de printemps sur le site de la Bastille – en **vert** les vents faibles $< 2\text{m.s}^{-1}$ – en **orange** les vents moyens compris entre 2 et 5m.s^{-1}

Une station météorologique a été installée au Nord de l'agglomération, en altitude, sur le site de la Bastille. L'intégralité des mesures n'a pu être recueillie (problèmes d'acquisition des données lors de la campagne n°1 et girouette bloquée par le froid pendant la campagne n°3). Sur ce site, le vent est orienté selon 3 principaux axes : les deux composantes nord-ouest et nord-est, suivant les deux vallées du Y grenoblois, et une composante nord venant de l'intérieur du massif de la Chartreuse. L'absence de la composante Sud de la rose des vents, peut s'expliquer par l'altitude et la proximité du relief : les vents en provenance du sud doivent s'engouffrer directement dans les deux vallées au nord-ouest ou nord-est et leur résultante mesurée sur le site de la Bastille est quasi-nulle).

Le graphique ci-après représente la vitesse moyenne mensuelle du vent au Rondeau (en bleu) entre avril 2008 et avril 2009. Les points (en rouge pour la même station du Rondeau et en vert pour la station du Cimetière de La Tronche) correspondent aux moyennes enregistrées pour chacune des 4 campagnes de mesures.

Les campagnes automnales et hivernales (n°2 et 3) ont été très peu ventées avec une vitesse moyenne proche de 1 m.s⁻¹. Ces périodes ont donc été peu favorables à la dispersion des polluants par le vent.

La première et quatrième campagne de mesures ont connu de meilleures conditions de dispersion de la pollution, avec une vitesse de vent moyenne supérieure ou égale à 2 m.s⁻¹.

Les conditions de vent ne sont pas homogènes sur l'ensemble de l'agglomération. Sur le site du cimetière de la Tronche, le vent est plus faible que sur le site du Rondeau (notamment lors de la campagne n°4).

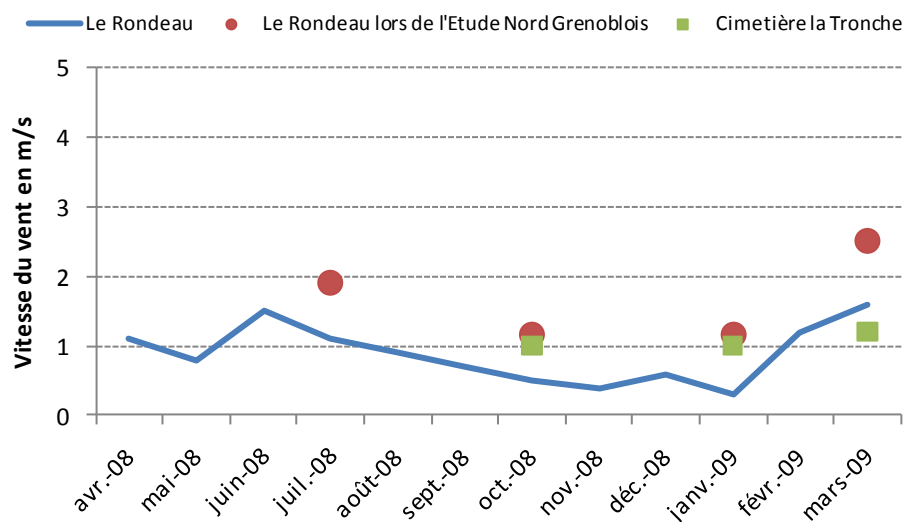


Figure 14 Vitesse moyenne mensuelle du vent au Rondeau (en bleu) (les cercles rouges correspondent aux 4 campagnes de mesures sur le site du Rondeau et les carrés verts correspondent aux campagnes de mesures sur le site du cimetière de la Tronche)

Les conditions météorologiques lors des périodes d'automne (n°2) et d'hiver (n°3) ont été favorables à l'observation de fortes concentrations de polluants primaires, avec même quelques épisodes de pollution observés pendant la campagne hivernale. Les précipitations ont été relativement faibles pour 3 des 4 campagnes de mesures. Il est à noter enfin que la campagne de Printemps (n°4) a eu lieu au mois de mars, relativement proche de la campagne précédente, pour respecter le calendrier de l'étude.

L'influence de ces paramètres sur la représentativité annuelle des mesures de qualité de l'air n'est pas négligeable (voir paragraphe suivant).

1.4.2. Représentativité annuelle

La directive européenne 2008/50/CE du 14 mai 2008 requière, dans le cadre de mesures ponctuelles, un **minimum de 8 semaines de mesures** (14% de l'année) également réparties sur toute l'année.

Les mesures dans le cadre de cette étude ont été réalisées sur **quatre campagnes de deux semaines**, réparties sur les quatre saisons. Cet échantillonnage représente **15% de l'année** (8 semaines de mesures).

Même si cet échantillonnage respecte les exigences de la directive, il est nécessaire de vérifier que les mesures effectuées sont représentatives de **l'année de référence de l'étude (avril 2008 à avril 2009)** afin de pouvoir les comparer aux valeurs réglementaires.

Cette vérification peut se faire en utilisant les stations fixes de référence d'ASCOPARG (cf. figure suivante). En effet, celles-ci ont fonctionné sur une année complète (entre avril 2008 et avril 2009), y compris pendant les campagnes de mesures.

La représentativité de l'échantillonnage est donc d'autant meilleure que, pour l'ensemble des stations fixes de référence, la moyenne calculée pendant les 8 semaines de mesures de l'étude est proche de la moyenne annuelle (moyenne des 12 mois de mesures).

Pour cette étude, sur tous les sites fixes de référence, l'écart entre la moyenne calculée pendant les 8 semaines de mesures et la moyenne annuelle est important notamment pour les particules en suspension (PM₁₀) et le dioxyde d'azote (NO₂).

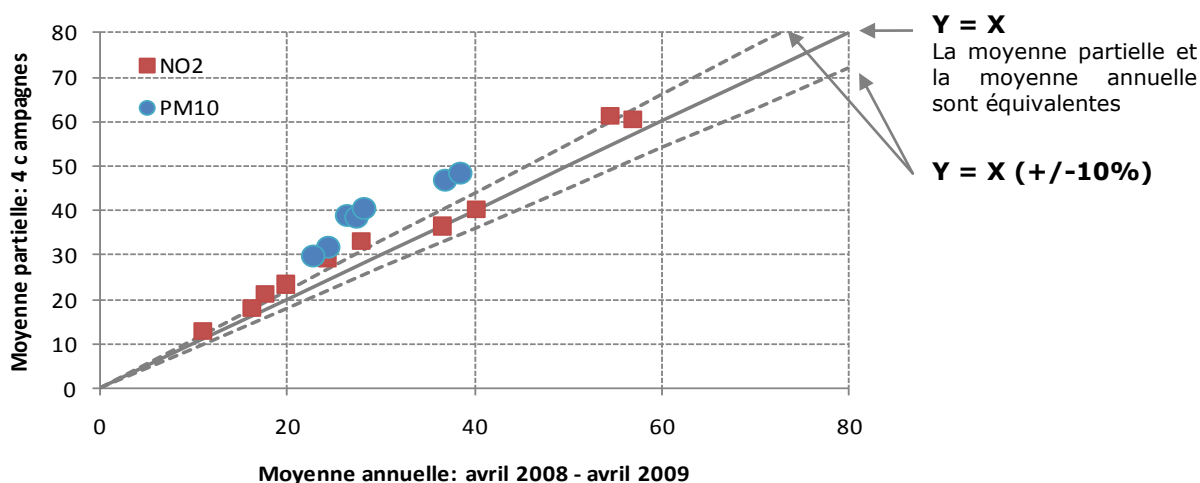


Figure 15 Ecart entre la moyenne mesurée du NO₂ (8 semaines) et des PM₁₀ (10 semaines) et la moyenne annuelle pour les stations fixes d'ASCOPARG

Afin d'être plus représentative des moyennes annuelles mesurées sur les sites fixes de référence et de permettre une meilleure comparaison aux valeurs réglementaires qui sont exprimées en moyenne annuelle, la moyenne des 4 campagnes de mesures sur les deux sites laboratoires mobiles a donc été réajustée :

Ce réajustement correspond à une diminution de -25% pour les particules (PM₁₀) et de -10% pour le dioxyde d'azote (NO₂).

2. Présentation des résultats

2.1. Oxydes d'azote (NOx)

2.1.1. Les émissions de NOx dans l'agglomération de Grenoble

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

Dans l'air, une partie du NO se recombine très rapidement (quelques secondes à quelques minutes) pour former du NO₂ ($2 NO + O_2 \rightarrow 2 NO_2$ ou $NO + O_3 \rightarrow 2 NO_2$).

Cette transformation rapide du NO en NO₂ explique le fait que le NO₂ est aussi considéré comme un polluant primaire.

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

Le **transport routier** (en rouge sur les figures suivantes) est le premier émetteur de NOx en Rhône-Alpes avec 61% des émissions totales et en Isère avec 54% des émissions. Dans l'unité urbaine de Grenoble, le transport routier reste le 1^{er} émetteur de NOx avec 52% des émissions de NOx. **La mesure des NOx peut donc être considérée comme un traceur de la pollution automobile.**

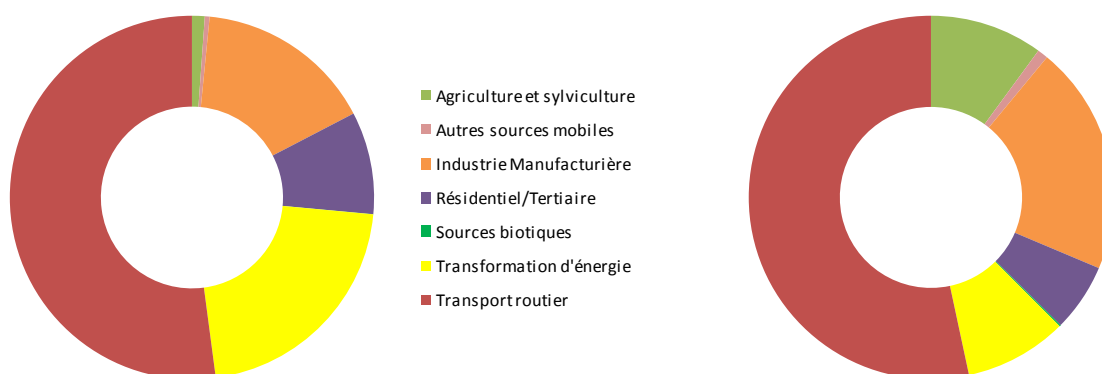


Figure 16 Répartition des émissions d'oxydes d'azote (NOx) dans l'unité urbaine de Grenoble à gauche et dans le département de l'Isère à droite (Source : Cadastre 2006 ASCOPARG – Version 2008-3)

Dans le cas d'un site à proximité du trafic automobile, les concentrations mesurées sont liées à l'intensité des émissions, et donc au trafic automobile, mais aussi à la configuration de la rue (une rue de type « canyon » peut favoriser l'accumulation des polluants) et aux conditions météorologiques. En effet, la stabilité de l'atmosphère, la dispersion par le vent ou le lessivage par les précipitations ont une influence directe sur la qualité de l'air.

2.1.2. Niveaux mesurés et comparaison à la réglementation

❖ Monoxyde d'azote

Il n'existe pas de valeur réglementaire concernant le monoxyde d'azote (NO).

Sur les deux sites de cette étude, CHU-Michallon et Ecole Jean Macé, **les niveaux moyens de monoxyde d'azote (NO) sont supérieurs aux niveaux de fond mesurés sur l'agglomération de Grenoble** (que ce soit sur les sites périurbains ou urbains). Toutefois ces niveaux restent bien inférieurs à ceux mesurés en forte proximité automobile (Rocade Sud, Grands boulevards).

Ces niveaux de NO indiquent que **les deux sites subissent l'influence de sources de pollution** (trafic automobile ou autre source de combustion).

Les principales statistiques des mesures de NO sont reprises dans la figure suivante. L'ensemble des statistiques descriptives des mesures de NO sont disponibles en annexe 2.

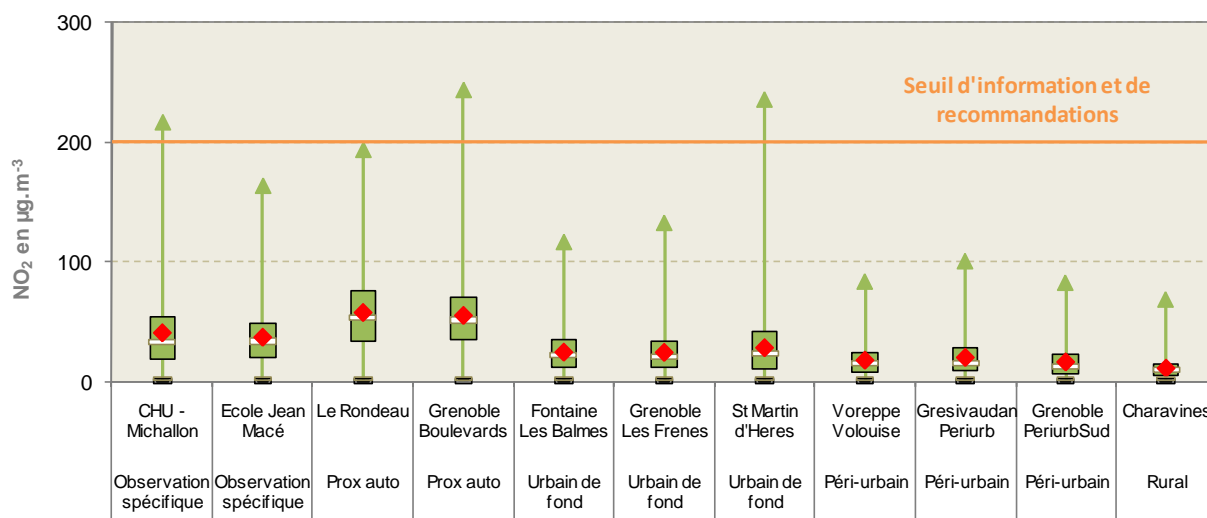


Figure 17 Statistiques horaires des mesures de NO pendant les 8 semaines de mesures

Cf. annexe 1 pour une aide à la lecture de ce graphique.

❖ **Le dioxyde d'azote (NO₂)**

Vis-à-vis de la réglementation, les valeurs en dioxyde d'azote (NO₂) mesurées et corrigées sur les deux sites du CHU Michallon et de l'école Jean Macé sont conformes à **l'objectif de qualité de l'air** (40 µg.m⁻³ en moyenne annuelle) et à la **valeur limite pour la protection de la santé** (fixée pour 2008 à 44 µg.m⁻³ en moyenne annuelle).

Seules les stations de référence localisées en proximité automobile (Le Rondeau au niveau de l'échangeur avec la Rocade Sud et Grands boulevards) ne respectent pas ces deux valeurs réglementaires. Les résultats des modèles numériques (Sirane), mis en œuvre dans le cadre du PDU, indiquent cependant que ces dépassements de valeur limite en NO₂ sont également fréquents à proximité de nombreux axes de circulation de l'agglomération et touchent encore 10% de la population grenobloise.

Le tableau suivant et le graphique suivant illustrent les **concentrations moyennes corrigées¹** de dioxyde d'azote sur les deux sites de l'étude et les moyennes sur la période avril 2008 – avril 2009 pour les stations fixes.

Site	CHU - Michallon	Ecole Jean Macé	Le Rondeau	Grenoble Boulevards	Fontaine Les Balmes	Grenoble Les Frènes	St Martin d'Hères
Typologie	Observation spécifique	Observation spécifique	Prox auto	Prox auto	Urbain de fond	Urbain de fond	Urbain de fond
NO₂	37	33	57	55	24	24	28
	Moyenne corrigée		Moyenne 2008-2009				

¹ Réajustement de -10% par rapport à la moyenne des 4 campagnes de mesures (cf. 1.4.2)

Site	CHU - Michallon	Ecole Jean Macé	Voreppe Volouise	Gresivaudan Periurb	Grenoble PeriurbSud	Charavines
Typologie	Observation spécifique	Observation spécifique	Péri-urbain	Péri-urbain	Péri-urbain	Rural
NO₂	37	33	18	20	16	11
	Moyenne corrigée		Moyenne 2008-2009			

Tableau 6 Concentrations en dioxyde d'azote - Les moyennes des deux sites de l'étude sont corrigées afin de pouvoir être comparées aux moyennes annuelles (avril 2008 à avril 2009)

La partie inférieure (en rose clair) correspond au niveau moyen de fond l'agglomération de Grenoble (25 µg.m⁻³ en moyenne sur les 3 stations urbaines de fond entre avril 2008 et avril 2009).

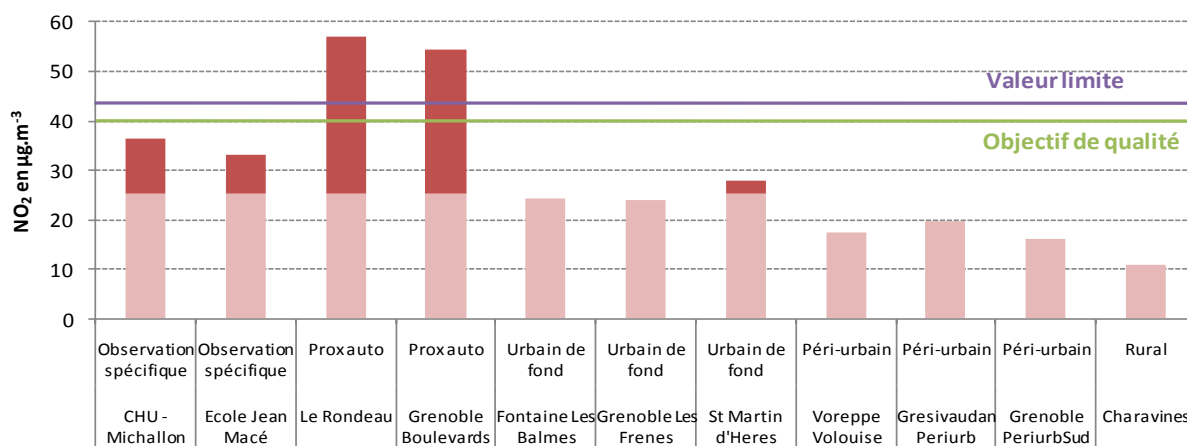


Figure 18 Comparaison par rapport à la réglementation concernant le dioxyde d'azote (NO₂) - Les moyennes des deux sites de l'étude sont corrigées afin de pouvoir être comparées aux moyennes annuelles (avril 2008 à avril 2009).

Concernant les autres valeurs réglementaires, la campagne n°3 (7 janvier au 21 janvier 2009) a connu de fortes concentrations de polluants primaires. Les conditions météorologiques ont été favorables à l'émission des polluants et à leur accumulation dans les basses couches de l'atmosphère.

L'agglomération grenobloise a été concernée pendant cette période par des dépassements du **seuil d'information et de recommandations** pour le dioxyde d'azote (200 µg.m⁻³ sur une heure) et les particules en suspension (80 µg.m⁻³ sur 24 heures). Ces dépassements ont à la fois été constatés sur les stations fixes (stations urbaine de Saint-Martin d'Hères et station trafic des Grands Boulevard) et sur un des 2 sites d'étude (CHU-Michallon).

La figure suivante illustre les concentrations horaires de dioxyde d'azote entre le 12 et le 14 janvier 2009. Pendant plusieurs jours, les conditions météorologiques ont été particulièrement favorables à l'accumulation des polluants : l'absence de vent et l'inversion de température confinaient la pollution dans les basses couches de l'atmosphère. De plus, les conditions hivernales étaient favorables à l'émission de polluants par le chauffage.

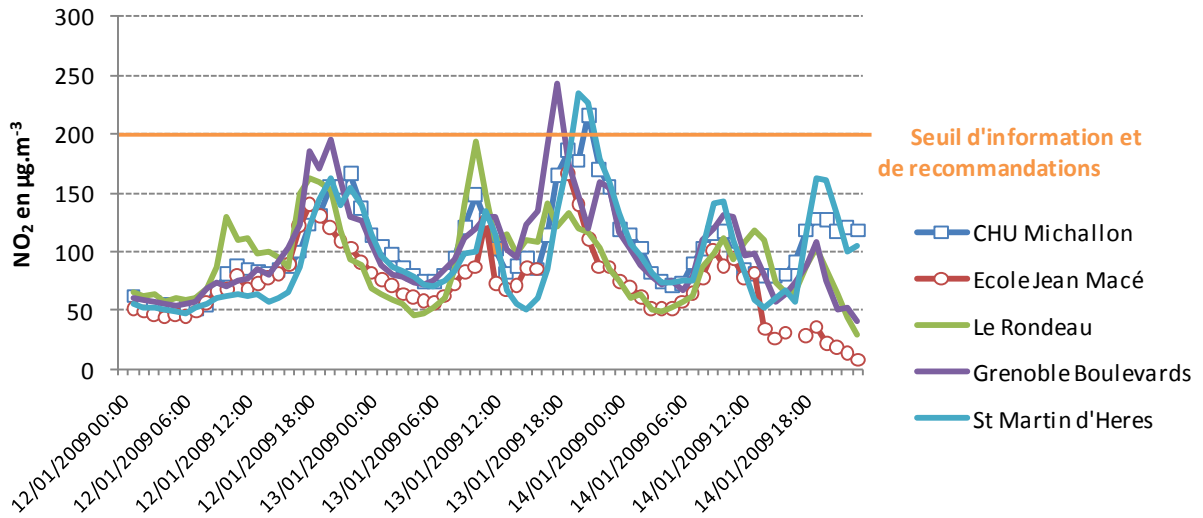


Figure 19 Concentrations horaires en dioxyde d'azote (NO₂) entre le 28 janvier 2009 et le 30 janvier 2009

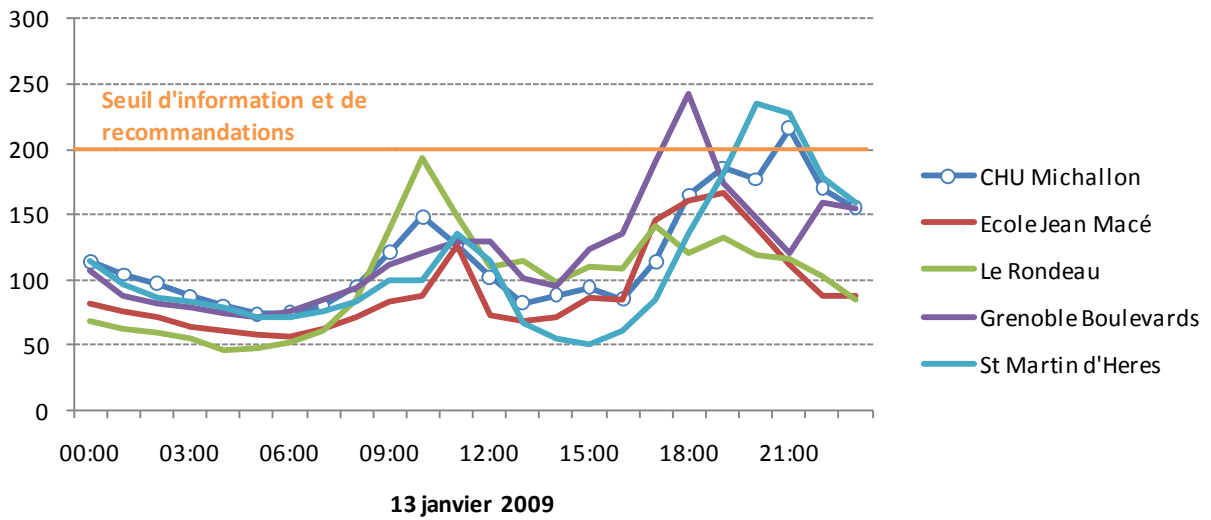


Figure 20 Concentrations en dioxyde d'azote (NO₂) le 13 janvier 2009

Le 13 janvier, les conditions atmosphériques ont été particulièrement favorables à l'accumulation des polluants :

- Le **vent est très faible** pendant toute la journée et ne favorise pas la dispersion horizontale des polluants.
- Une **inversion de température** (il fait plus chaud au Peuil de Claix à 935m d'altitude qu'au Rondeau à 225m) bloque les polluants dans les basses couches de l'atmosphère. L'inversion est rompue en fin de matinée vers 10 heures. Elle se reforme en fin de journée en s'accompagnant d'une augmentation des concentrations de polluants (ceux qui ont été émis toute la journée se sont accumulés en altitude et reviennent dans les basses couches à l'occasion de ce « retournement de masse d'air »).

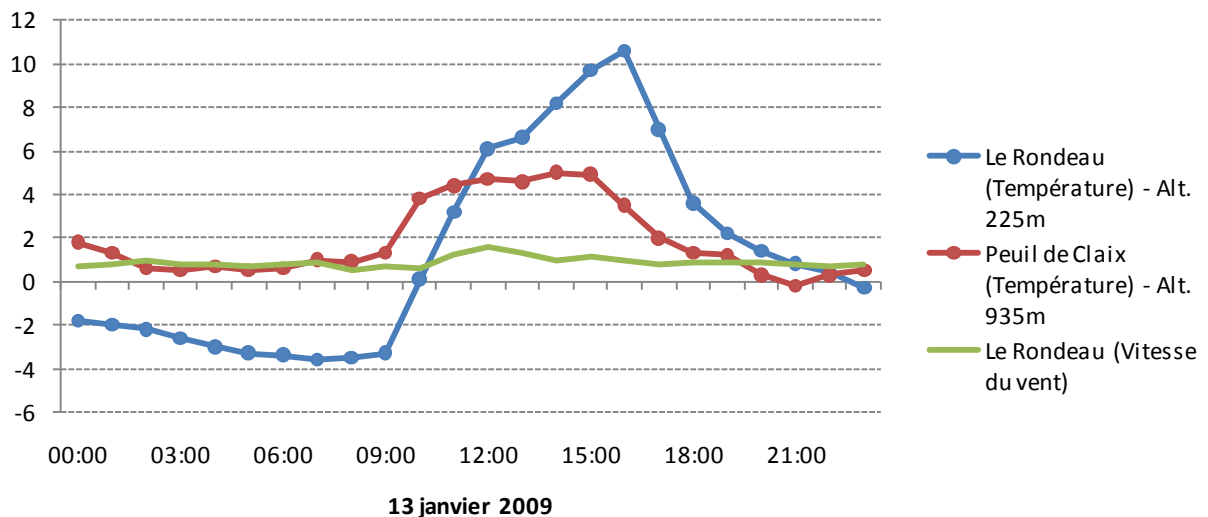


Figure 21 Paramètres météorologiques le 13 janvier 2009

2.1.3. Répartition spatiale du dioxyde d'azote (NO₂)

Comment varient les concentrations en NO₂ sur l'ensemble du Nord Grenoblois ?

Les mesures indicatives de NO₂ réalisées par tubes à diffusion permettent une évaluation de la répartition spatiale du dioxyde d'azote dans le nord de l'agglomération.

Les deux sites du CHU Michallon et de l'école Jean Macé étaient équipés pour la mesure du dioxyde d'azote d'un analyseur et de tubes à diffusion passive, à des fins de comparaison des 2 techniques de mesures.

Le graphique suivant compare pour ces deux sites les moyennes obtenues sur les 8 campagnes de mesures.

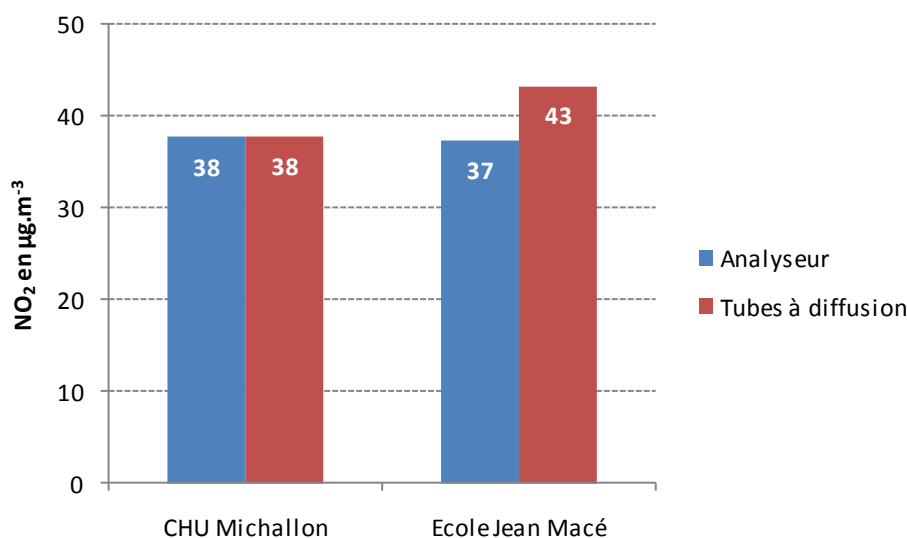


Figure 22 Comparaison entre l'analyseur et les tubes à diffusion pour les moyennes des 8 semaines de mesures

Sur le site du CHU-Michallon, il n'y a pas d'écart entre les moyennes obtenues par tubes à diffusion et par l'analyseur.

Sur le site de l'école Jean Macé, l'écart entre la moyenne obtenue par les tubes à diffusion (43 µg.m⁻³) et l'analyseur de NO_x (37 µg.m⁻³) est d'environ 16%. En revanche, cette différence peut s'expliquer par les valeurs mesurées lors de la campagne n°3 marquée par des épisodes de pollution (période du 8 au 14 janvier 2009) : l'écart significatif entre les deux techniques de mesures lors de cette semaine (campagne 3.1) explique à lui seul les 16%.

Outre cet écart sur ce site, les résultats des tubes à diffusion peuvent être considérés comme comparables aux résultats des analyseurs. Ainsi, pour estimer les moyennes annuelles, les moyennes mesurées par tubes passifs sur 8 semaines ont été corrigées de la même manière que les moyennes mesurées sur les sites laboratoires mobiles (-10%).

Comment varient les concentrations en NO₂ sur l'ensemble du Nord Grenoblois ?

La carte suivante illustre les résultats des concentrations moyennes annuelles corrigées pour le dioxyde d'azote sur les 58 sites de mesures.



Dioxyde d'azote (NO₂)
Concentration en µg.m⁻³

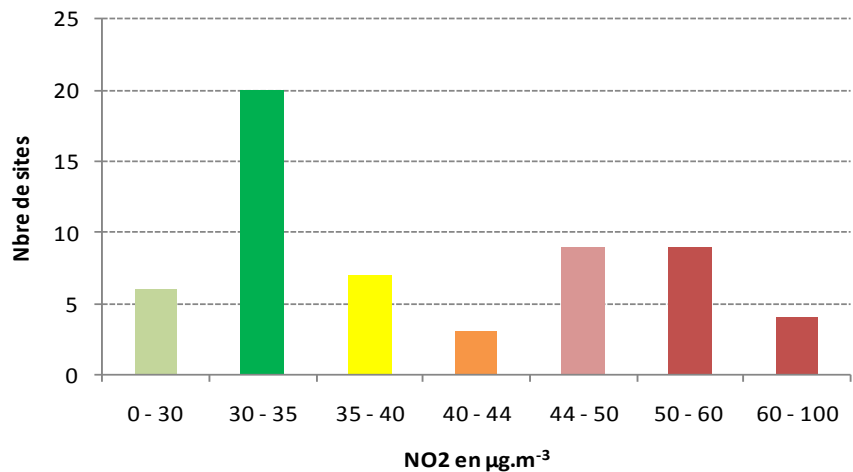
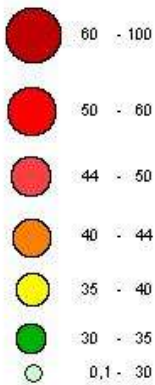


Figure 23 Estimation des concentrations moyennes annuelles de dioxyde d'azote (NO₂) par tubes à diffusion dans le nord de l'agglomération de Grenoble

La mesure du dioxyde d'azote (NO₂) par tubes à diffusion montre l'influence connue du trafic automobile sur une agglomération avec des niveaux de NO₂ plus importants le long des grands axes de circulation. Certaines zones sont plus impactées que d'autres avec des résultats ne respectant pas l'objectif de qualité : c'est le cas pour les sites placés à proximité de l'autoroute A480 ou de la Rocade Sud.

Le graphique suivant illustre les concentrations de dioxyde d'azote en fonction de l'**environnement du site**, et du **trafic automobile** à proximité pour les sites en proximité automobile.

Les concentrations les plus faibles ont été mesurées sur les sites urbains de fond (24 à 44 $\mu\text{g.m}^{-3}$ en moyenne). Les concentrations les plus importantes ont été mesurées sur les sites à proximité d'axe de circulation importants (trafic moyen journalier annuel supérieur à 20000 véhicules par jour, en **rouge** sur la figure suivante).

A proximité de ces axes de circulation, les concentrations moyennes sont comprises entre 53 et 85 $\mu\text{g.m}^{-3}$.

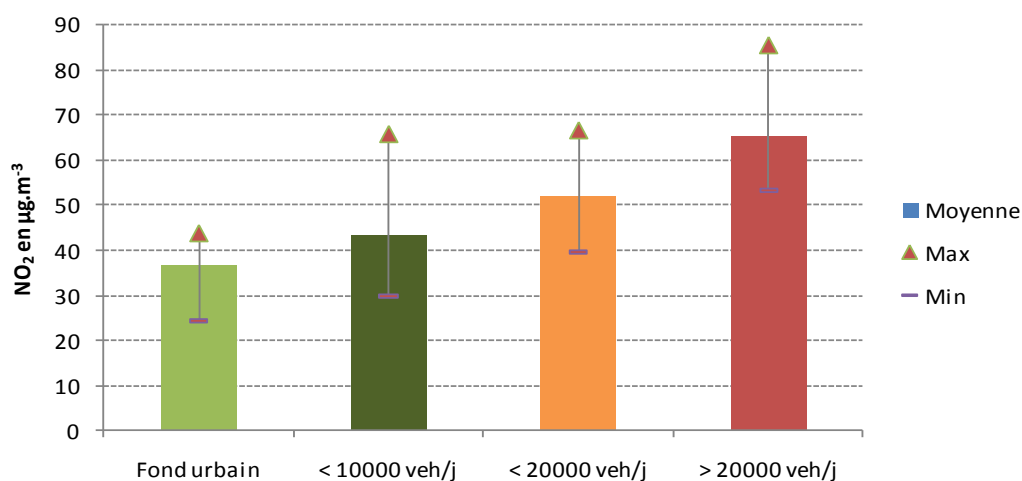
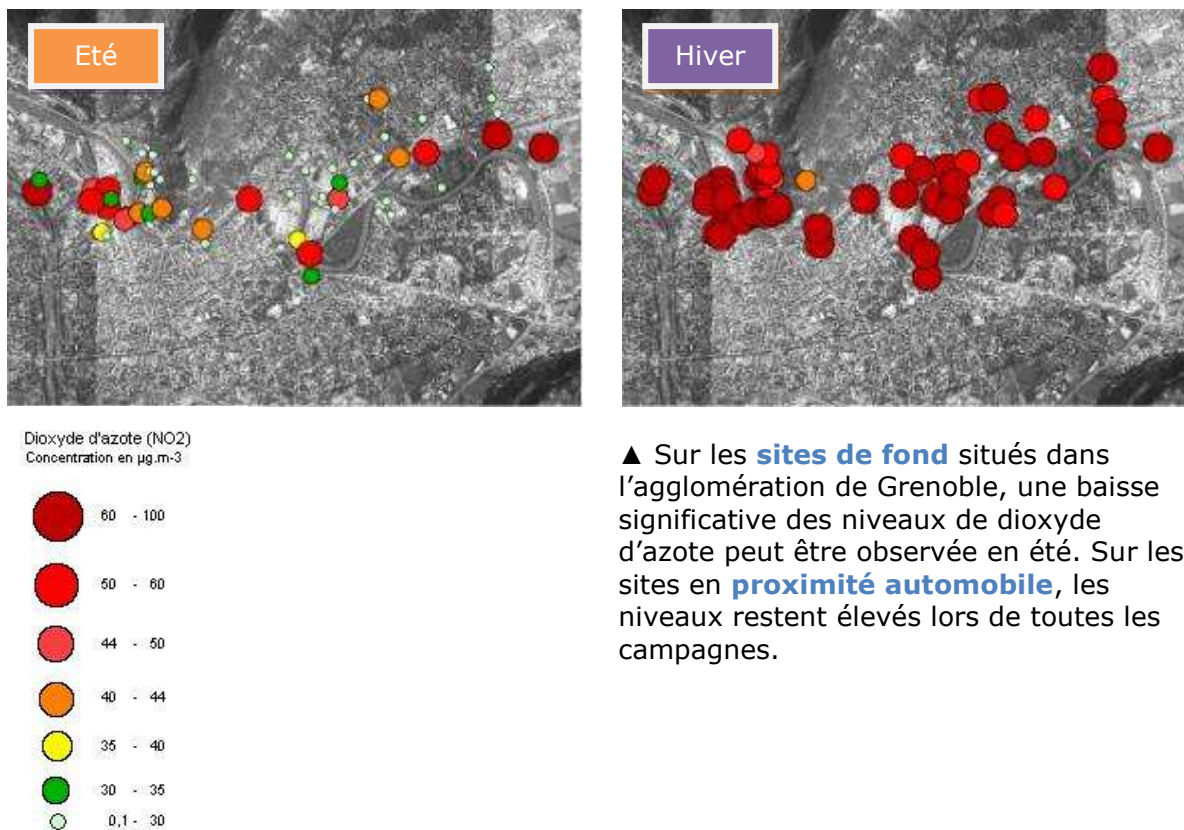


Figure 24 Concentration en NO_2 en fonction du trafic automobile à proximité du site de mesures

Les cartes suivantes présentent les mesures des tubes passifs NO_2 pour les deux saisons extrêmes (hiver – campagne n°3 et été – campagne n°1).

Les niveaux de NO_2 les plus importants ont été mesurés à proximité de la Rocade Sud (site le plus à l'ouest). Sur les 4 campagnes, ils sont toujours supérieurs à 70 $\mu\text{g.m}^{-3}$ avec une pointe supérieure à 100 $\mu\text{g.m}^{-3}$ en hiver.



▲ Sur les **sites de fond** situés dans l'agglomération de Grenoble, une baisse significative des niveaux de dioxyde d'azote peut être observée en été. Sur les sites en **proximité automobile**, les niveaux restent élevés lors de toutes les campagnes.

Figure 25 Concentrations moyennes en dioxyde d'azote (NO₂) en **hiver** (à droite) et en **été** (à gauche)

La figure suivante permet de comparer les résultats des mesures par tubes à diffusion avec les résultats issus de la modélisation (concentrations moyennes de NO₂ estimées par le modèle SIRANE pour l'année 2008).

Le modèle SIRANE est un modèle de calcul de dispersion atmosphérique en milieu urbain à l'échelle de la rue ou d'un quartier. Il permet de décrire les concentrations en polluants dans des zones constituées essentiellement de rues bordées de bâtiments (zones urbaines).

Il a été développé initialement sur l'agglomération lyonnaise par l'Ecole Centrale de Lyon puis utilisé par les AASQA de Rhône-Alpes pour évaluer de manière prospective les actions entreprises sur les agglomérations de Grenoble dans le cadre de l'observatoire du Plan de Déplacements Urbains (PDU) et de Lyon pour le Plan de Protection de l'Atmosphère (PPA) en 2006.

SIRANE est un modèle « opérationnel » depuis 2006 sur l'agglomération grenobloise. Il a servi à l'estimation de l'exposition de la population à la pollution atmosphérique lors de la révision du PDU grenoblois. Ce modèle est alimentée par des données dites « d'entrée » : les émissions (issues du trafic et éventuellement de sources ponctuelles), les données météorologiques (vitesses et directions de vent, température, nébulosité, précipitations), des données de pollution de fond (mesurées par une station fixe du réseau), la topographie. La présente étude a notamment pour objectif de recueillir des données pour améliorer cet outil afin qu'il puisse prendre en compte le relief et la météorologie complexe sur le nord grenoblois.

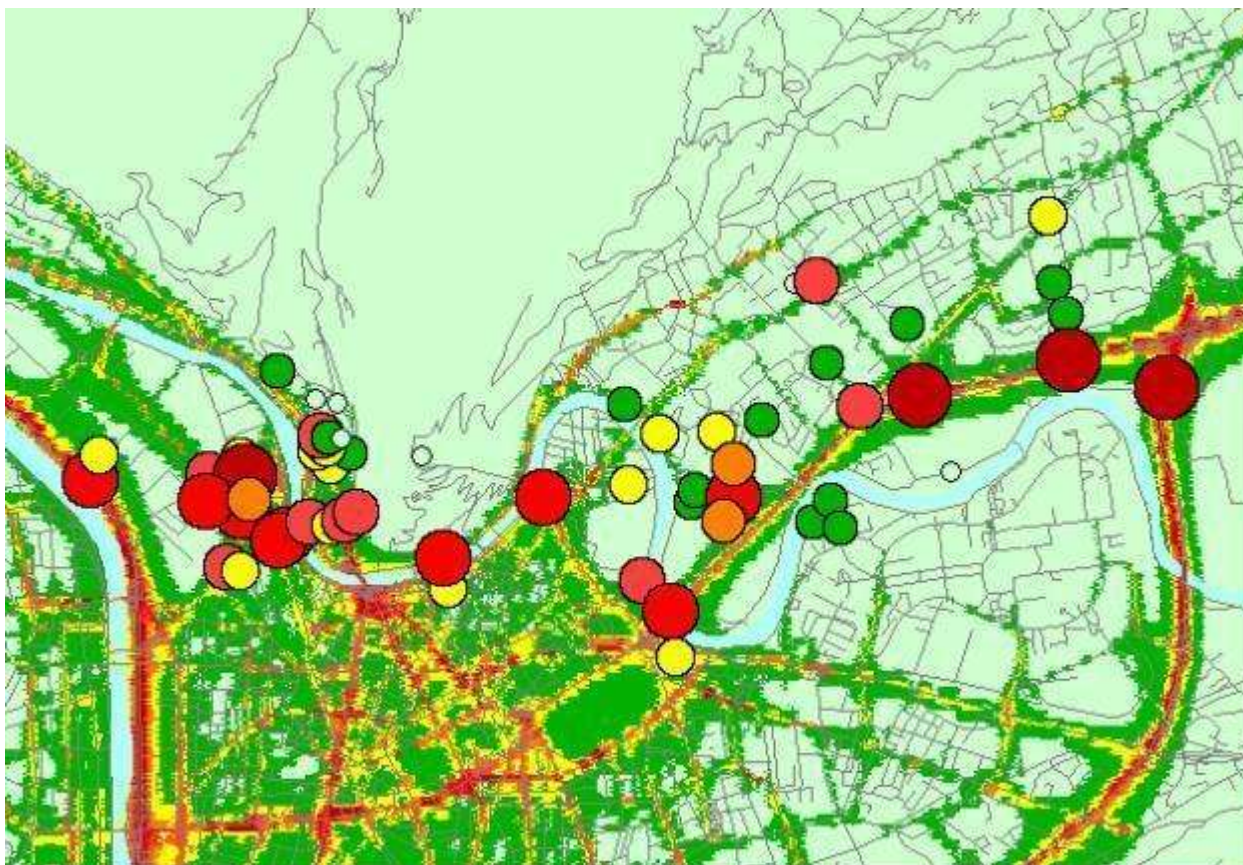


Figure 26 Comparaison entre les mesures par tubes à diffusion (estimation de la moyenne entre avril 2008 et avril 2009) et la moyenne annuelle 2008 issue de la modélisation par Sirane

Sur tous les sites de mesures, les concentrations sont proches des résultats issus de la modélisation.

La carte suivante illustre ces comparaisons sur le Nord Ouest de l'agglomération. Deux axes très importants ressortent dans ce secteur: l'A480 qui va vers le sud et l'A48 jusqu'à la Place Hubert Dubedout. La zone proche du CEA (à proximité de l'école Jean Macé, au début de l'avenue des martyrs, rue Durand Savoyat) ressort dans une moindre mesure : cet axe dessert le polygone scientifique depuis le centre ville de Grenoble par l'avenue des martyrs et permet le franchissement de la ligne de train par la rue Durand Savoyat.

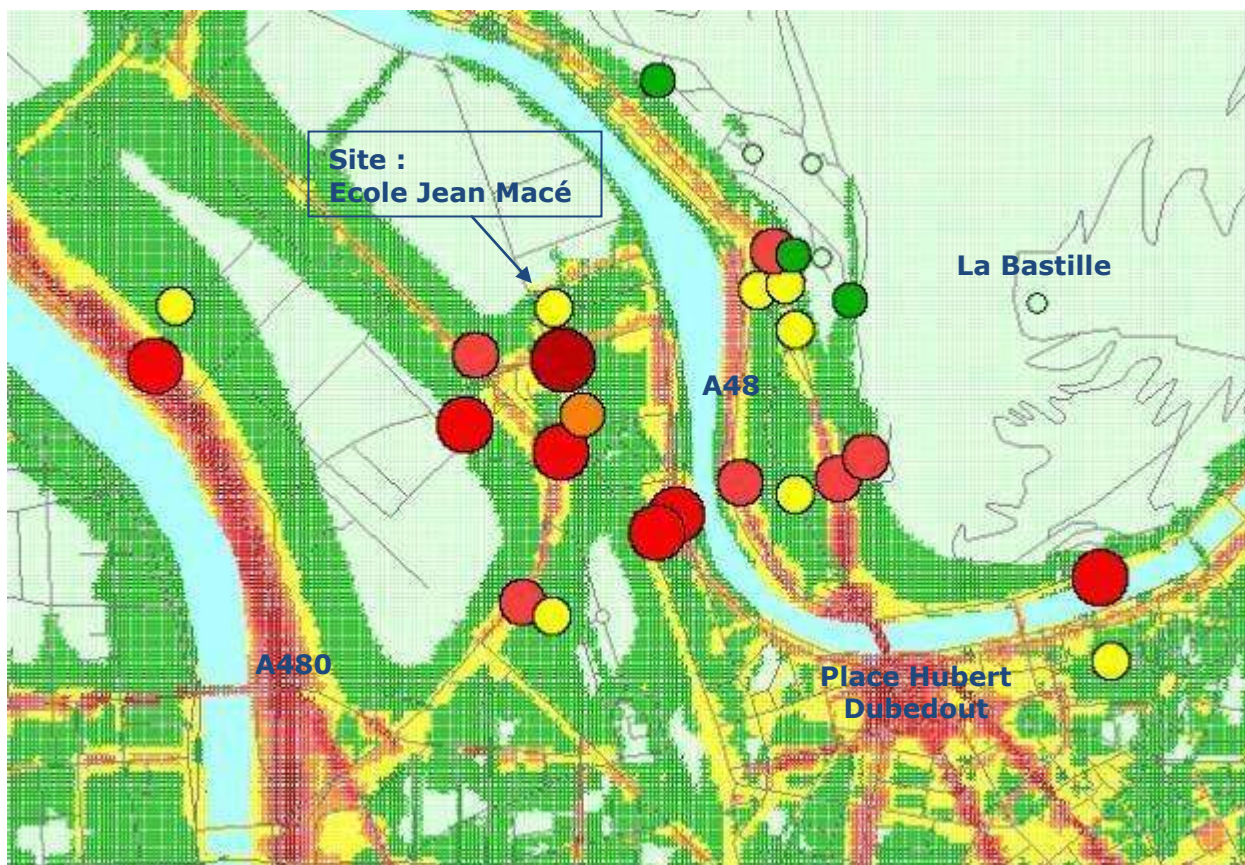


Figure 27 Comparaison entre les mesures par tubes à diffusion (estimation de la moyenne entre avril 2008 et avril 2009) et la moyenne annuelle 2008 issue de la modélisation par Sirane – Zoom sur le Nord Ouest de l’agglomération

La carte suivante illustre les résultats des mesures et de la modélisation dans le Nord Est de l’agglomération. Un axe très important ressort dans ce secteur : l’A41 et son prolongement vers Grenoble (RN90). Cet axe important constitue l’entrée Est de Grenoble. Les résultats de la modélisation montrent aussi que le site du CHU Michallon est dans la zone d’influence de la rue Fortune Ferrini.

Plusieurs zones ont déjà fait l’objet de mesures très complètes dans ce secteur, notamment la Place Emé de Marcieu et le Carrefour de la Carronnerie. Les rapports concernant ces mesures sont disponibles sur le site internet de l’ASCOPARG (mesures réalisées en 2004 dans le cadre du PDU et en 2006 dans le cadre de la mise en place de la ligne 6020 entre Grenoble et Meylan).

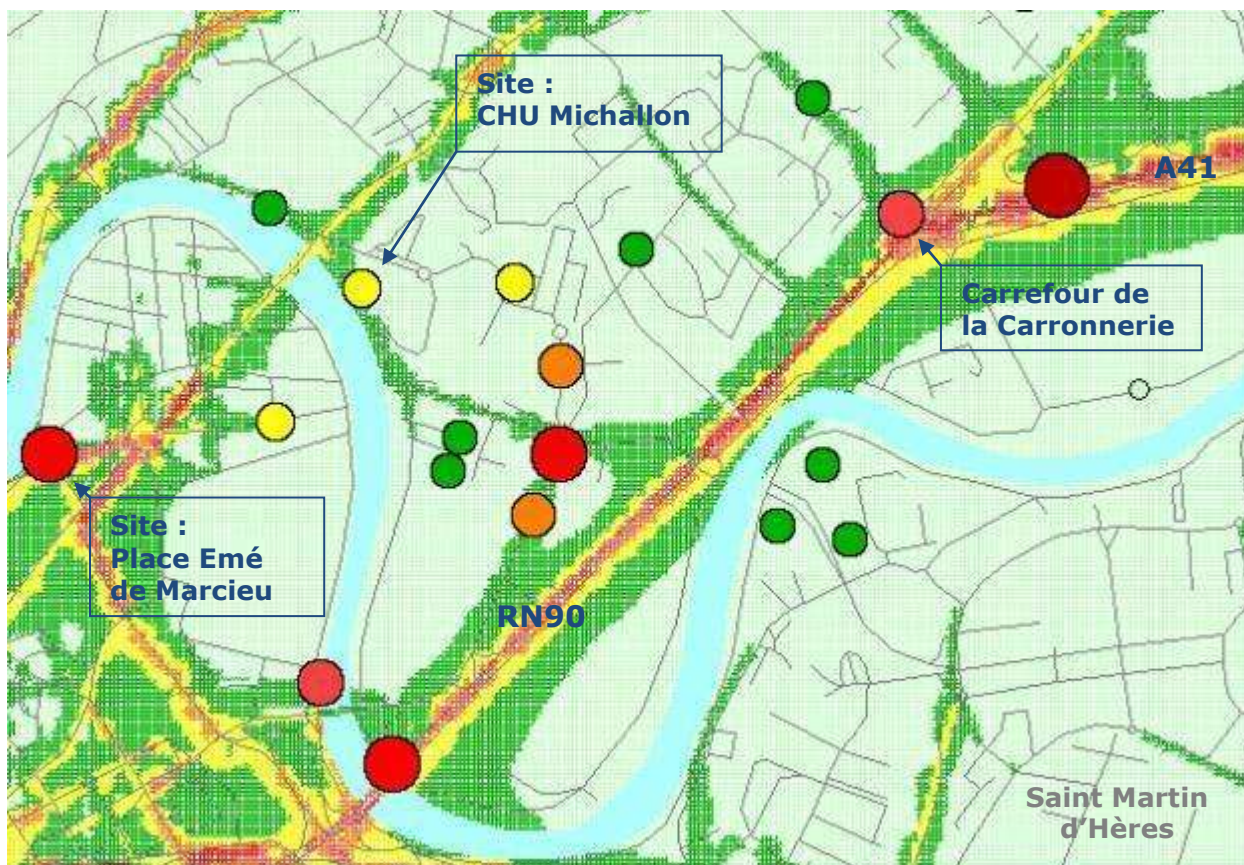


Figure 28 Comparaison entre les mesures par tubes à diffusion (estimation de la moyenne entre avril 2008 et avril 2009) et la moyenne annuelle 2008 issue de la modélisation par Sirane – Zoom sur le Nord Est de l'agglomération

Evolution des concentrations de NO₂ entre 1998 et 2009 :

L'ASCOPARG avait mené en 1998 une campagne de mesures dans le nord de l'agglomération grenobloise. Cette campagne de 1998 comprenait aussi des mesures de NO₂ par tubes à diffusion passive (les mêmes que ceux utilisés en 2008-2009).

Certains des sites de mesures de 2008-2009 étaient proches des sites de 1998. Cependant, à la vue de la variabilité spatiale du dioxyde d'azote (surtout en proximité automobile), il est difficile de comparer deux mesures de NO₂ si elles ne sont pas effectuées au même endroit. Les cercles (●) représentent les mesures effectuées entre avril 2008 et avril 2009. Les carrés (■) représentent les mesures effectuées en 1998.

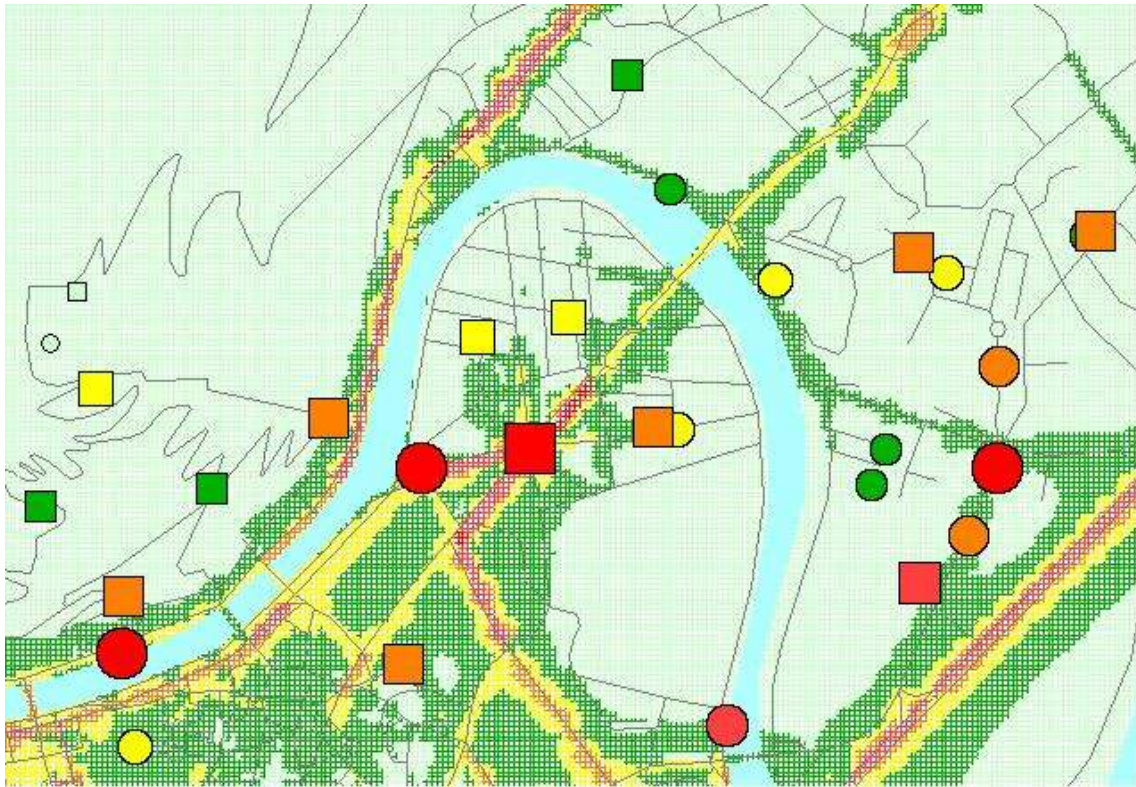


Figure 29 Comparaison entre les mesures de NO₂ effectuées en 1998 (■) et les mesures effectuées en 2008-2009 (●) (secteur Nord Est)

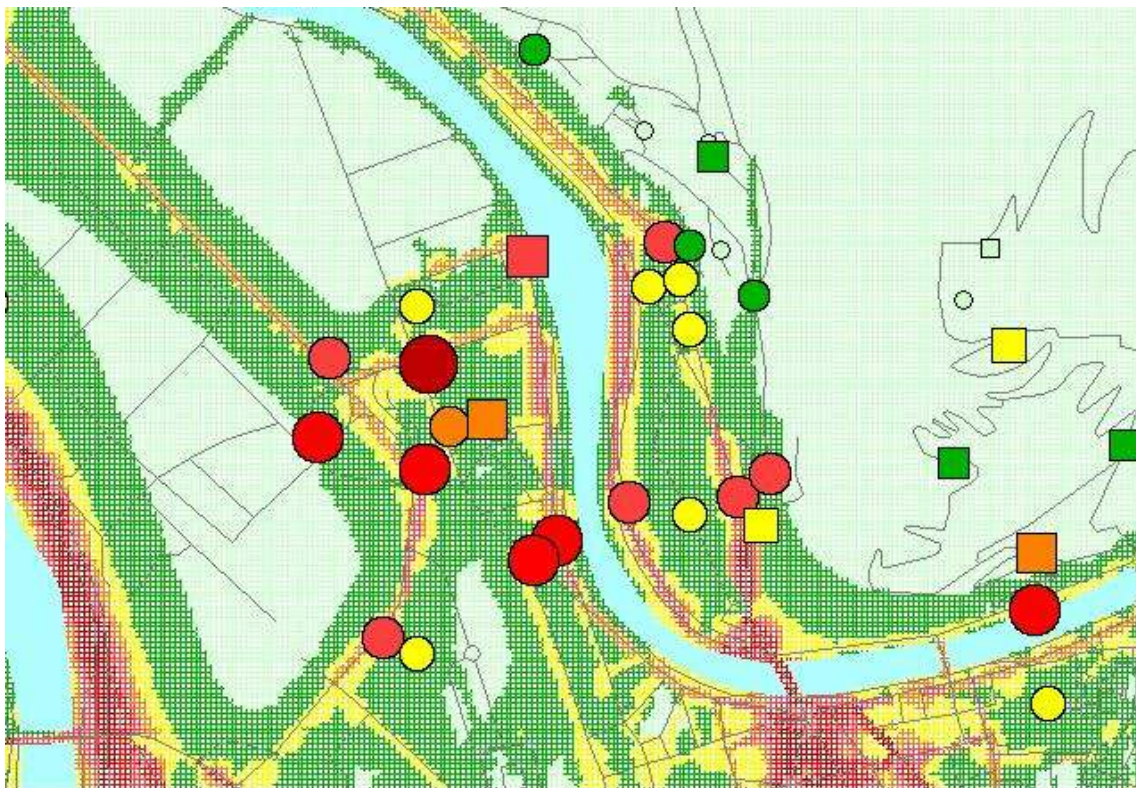


Figure 30 Comparaison entre les mesures de NO₂ effectuées en 1998 (■) et les mesures effectuées en 2008-2009 (●) (secteur Nord Ouest)

L'évolution des concentrations de dioxyde d'azote sur une période de 10 ans est fonction de facteurs dont l'évolution du parc automobile et des conditions de circulation à proximité du site de mesures.

Avec la mise en place des normes antipollution, les émissions unitaires des véhicules ont tendance à diminuer. Cependant, l'augmentation du trafic peut annuler localement les effets bénéfiques de la réduction des émissions.

Les concentrations en dioxyde d'azote ont ainsi peu évolué sur certains sites de mesures comme le Rondeau (proximité de la Rocade Sud). Entre 2003 et 2004, les concentrations ont bien diminué sur le site du Boulevard Foch. Cette diminution des concentrations est liée à la mise en place du tramway qui s'est accompagnée d'une baisse de la circulation sur cet axe.

Pour les sites urbains de fond, les concentrations moyennes étaient supérieures à $40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ en 1998, elles sont actuellement autour de $27 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ en 2008.

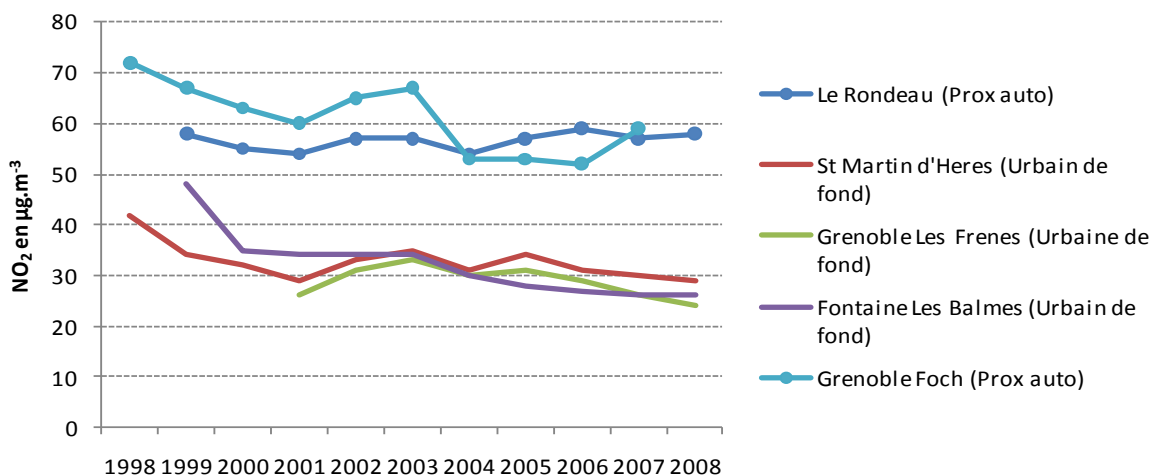


Figure 31 Evolution des concentrations moyennes en dioxyde d'azote (NO_2) dans l'agglomération de Grenoble entre 1998 et 2008

En résumé pour les oxydes d'azote (NO et NO₂)

Le trafic automobile est le premier émetteur d'oxydes d'azote de l'agglomération de Grenoble. Les concentrations d'oxyde d'azote les plus importantes sont donc logiquement mesurées en situation de proximité automobile.

Les niveaux de fond mesurés dans le nord de l'agglomération grenobloise sont homogènes par rapport à ceux mesurés dans le reste de l'agglomération.

Les mesures effectuées dans le cadre de cette étude mettent en évidence localement des niveaux de dioxyde d'azote (NO₂) importants en proximité des axes automobiles les plus importants (contournement de l'agglomération par la Rocade Sud, entrée Est de l'agglomération par l'A480 et Ouest par l'A41).

Sur ces sites de proximité automobile, les niveaux ne sont pas conformes à plusieurs valeurs réglementaires concernant le dioxyde d'azote au même titre que d'autres sites de proximité de l'agglomération (Le Rondeau à proximité de la Rocade Sud ou les Grands boulevards traversant Grenoble).

2.2. Poussières en suspension (PM₁₀ et PM_{2,5})

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

Le terme PM_{2,5} désigne les poussières en suspension de taille inférieure à 2,5 microns (2,5.10⁻⁶m).

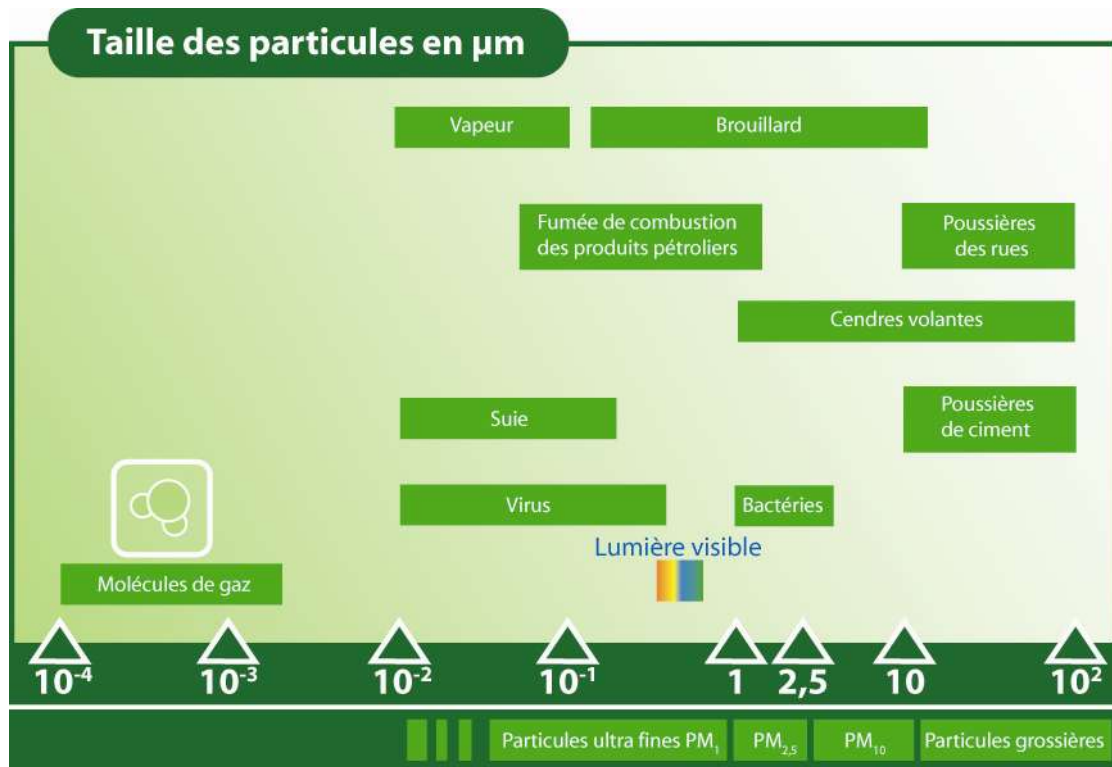


Figure 32 Diamètre des particules

2.2.1. Les émissions de PM₁₀ dans l'agglomération de Grenoble

Dans l'agglomération de Grenoble, le secteur **industriel** (en orange sur la figure suivante) est le premier émetteur de poussières avec 58% des émissions de PM₁₀. Le **transport routier** arrive juste derrière avec 21% des émissions.

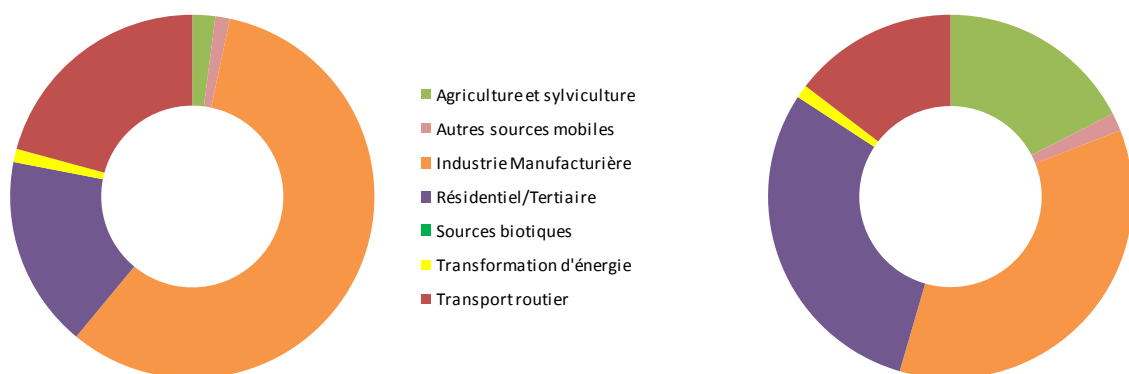


Figure 33 Répartition des émissions de poussières (PM₁₀) dans l'agglomération de Grenoble à gauche et dans le département de l'Isère à droite (Source : Cadastre 2006 ASCOPARG – Version 2008-3)

2.2.2. Niveaux mesurés et comparaison à la réglementation

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

Le tableau et graphique suivant illustrent les **concentrations moyennes corrigées** de poussières en suspension (PM₁₀) sur les deux sites de l'étude et les moyennes sur la période avril 2008 – avril 2009 pour les stations fixes.

Site	CHU- Michallon	Ecole Jean Macé	Le Rondeau	Grenoble Boulevards	Fontaine Les Balmes	Grenoble Les Frênes	St Martin d'Hères
Typologie	Observation spécifique	Observation spécifique	Prox auto	Prox auto	Urbain de fond	Urbain de fond	Urbain de fond
PM₁₀	33	32	37	38	26	27	28
	Concentration corrigée		Moyenne avril 2008 à avril 2009				

Site	CHU-Michallon	Ecole Jean Macé	Gresivaudan Periurb	Grenoble PeriurbSud
Typologie	Observation spécifique	Observation spécifique	Péri-urbain	Péri-urbain
PM₁₀	33	32	24	23
	Concentration corrigée			

Tableau 7 Concentrations en poussières en suspension (PM₁₀), Concentrations moyennes corrigées pour les sites du CHU Michallon et de l'école Jean Macé et concentrations moyennes d'avril 2008 à avril 2009 pour les stations fixes de référence

Sur le graphique suivant, la partie inférieure (en rose clair) correspond au niveau moyen de fond l'agglomération de Grenoble (27 µg.m⁻³ entre avril 2008 et avril 2009 sur les 3 stations urbaines de fond).

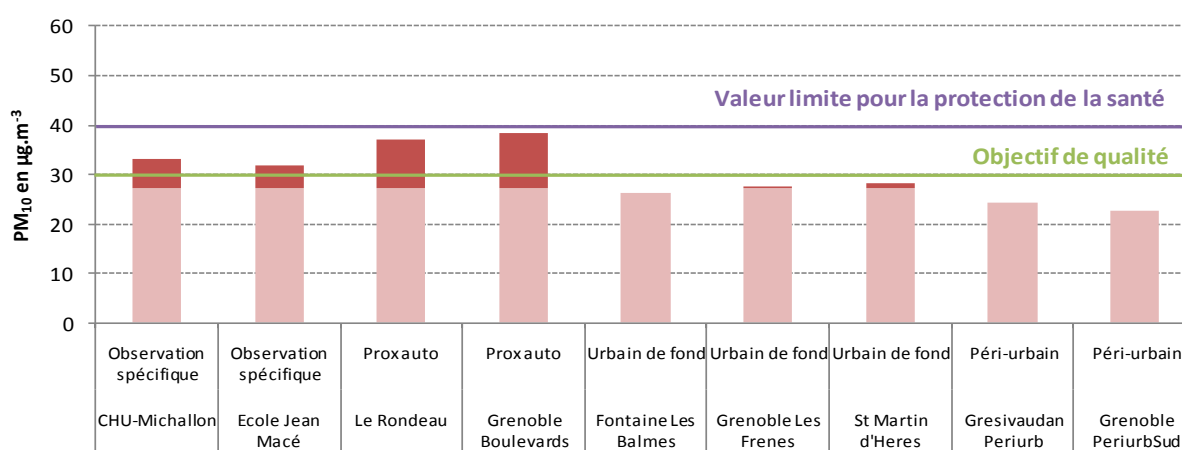


Figure 34 Comparaison par rapport à la réglementation concernant les particules de taille inférieure à 10 microns (PM₁₀)

Avec des niveaux supérieurs à 30 µg.m⁻³ en moyenne annuelle, les sites du CHU Michallon et de l'école Jean Macé (cf. graphique précédent) ne respectent pas **l'objectif de qualité de l'air** concernant les poussières en suspension (PM₁₀). Cette situation concerne également la plupart des sites de proximité automobile en Rhône-Alpes dont les sites du Rondeau et des Grands Boulevards.

En revanche, la **valeur limite pour la protection de la santé humaine** en moyenne annuelle est respectée pour l'ensemble des sites de l'agglomération grenobloise.

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

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

	CHU-Michallon	Ecole Jean Macé	Le Rondeau	Grenoble Boulevards	Fontaine Les Balmes	Grenoble Les Frênes	St Martin d'Hères
Nombre de dépassements du seuil de $50 \mu\text{g.m}^{-3}$ en moyenne journalière (doit être inférieur à 35 pour respecter la valeur limite)	46	46	44	51	34	36	37
Nombre de dépassements du seuil d'information et de recommandations ($80 \mu\text{g.m}^{-3}$ en moyenne journalière)	11	13	13	11	9	11	11
Nombre de dépassements du seuil d'alerte ($125 \mu\text{g.m}^{-3}$ en moyenne journalière)	0	0	0	1	0	0	0

	CHU-Michallon	Ecole Jean Macé	Gresivaudan Periurb	Grenoble PeriurbSud
Nombre de dépassements du seuil de $50 \mu\text{g.m}^{-3}$ en moyenne journalière (doit être inférieur à 35 pour respecter la valeur limite)	46	46	33	28
Nombre de dépassements du seuil d'information et de recommandations ($80 \mu\text{g.m}^{-3}$ en moyenne journalière)	11	13	0	1
Nombre de dépassements du seuil d'alerte ($125 \mu\text{g.m}^{-3}$ en moyenne journalière)	0	0	0	0

Tableau 8 Statistiques journalières des PM_{10} pendant les 8 semaines de mesures

Avec plus de 35 dépassements du seuil de $50 \mu\text{g.m}^{-3}$ sur 24h, pratiquement tous les sites de mesures de l'agglomération grenobloise ne respectent pas la valeur limite journalière pour la protection de la santé.

Le **seuil d'information et de recommandations** ($80 \mu\text{g.m}^{-3}$ en moyenne journalière) a été dépassé pendant plusieurs jours sur les sites de l'école Jean Macé et du CHU Michallon, comme sur beaucoup d'autres sites de la région Rhône-Alpes lors de l'épisode de pollution de janvier 2009. Certaines stations ont même dépassé le **seuil d'alerte** ($125 \mu\text{g.m}^{-3}$ sur 24h).

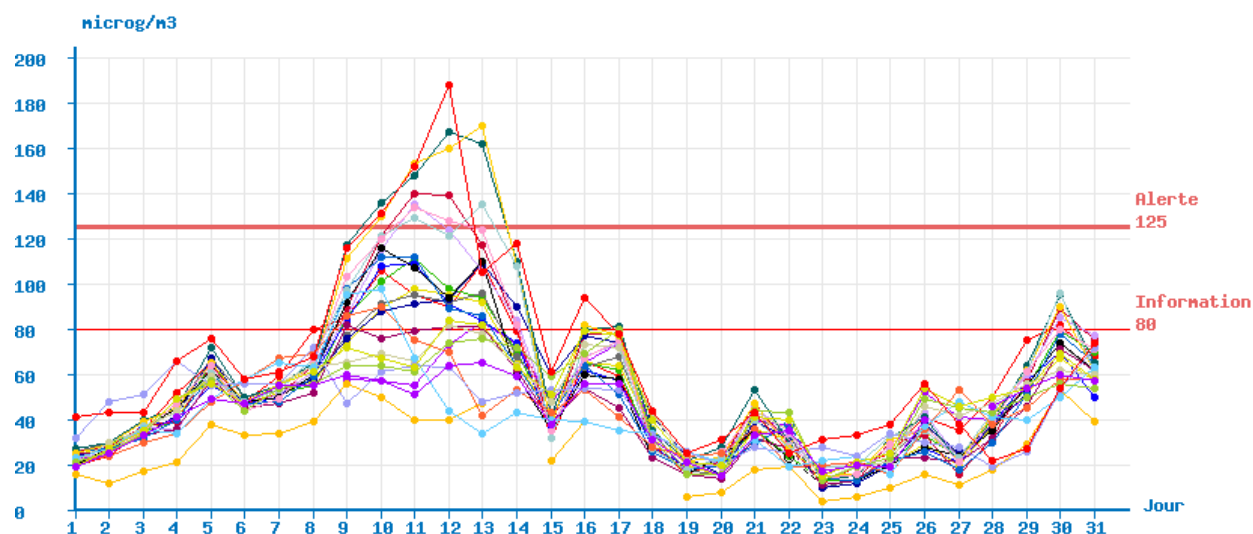


Figure 35 Concentrations moyennes journalières en PM10 sur les stations urbaines de fond en Rhône Alpes en janvier 2009

2.2.3. Bilan massique et chimie des PM₁₀

a) Evolution de la masse des PM₁₀

La concentration massique des PM₁₀ évolue entre 30 µg/m³ en été et plus de 80 µg/m³ en hiver.

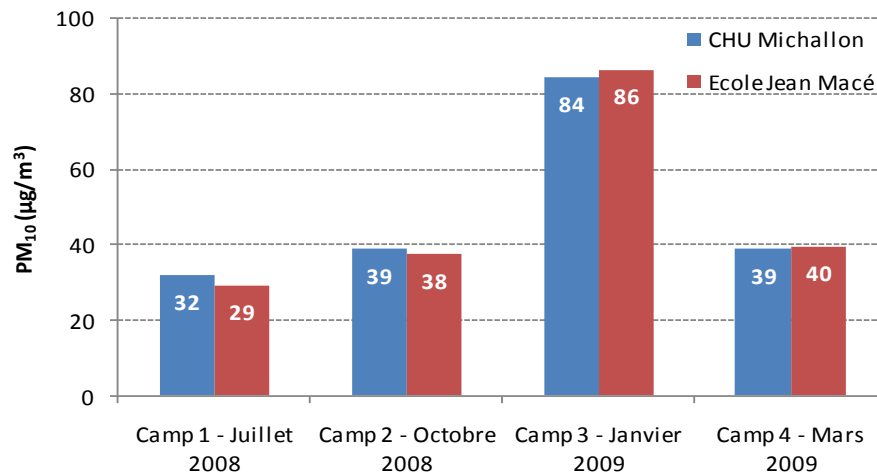


Figure 36 Evolution temporelle entre juillet 2008 et mars 2009 de la concentration massique en PM₁₀ pour les deux sites de prélèvements (CHU Michallon et école Jean Macé).

b) Composition moyenne des PM₁₀

Les parts respectives de chacune des espèces quantifiées sur la concentration massique en PM₁₀ sont présentées en annexe (Figure 85 - Page 92) et permettent une caractérisation globale de l'aérosol. La part « autres » correspond à l'ensemble des espèces chimiques non quantifiées dans cette étude. Elle est obtenue à partir de la soustraction de la somme des concentrations des espèces analysées à la masse totale de PM₁₀.

L'aérosol est caractérisé par une **fraction organique** et une **fraction inorganique**.

La **fraction organique** (aussi appelée **OM** : Organic Matter) est composée de différentes grandes familles chimiques tels que les acides, alcanes, HAPs (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques), méthoxyphénols, sucres (dont le lévoglucosan)...

Dans la **fraction inorganique** de l'aérosol, nous identifions le carbone élémentaire (EC), les ions majeurs (sulfates, ammonium et nitrates) et d'autres espèces ioniques. Cette fraction inorganique est composée également d'espèces chimiques tels que les métaux.

Les PM₁₀ sont composées en moyenne de **20 à 30 % d'OM**, de **2 à 8 % d'EC**, de **16 à 44 % d'espèces ioniques**.

La proportion d'espèces non identifiées varie entre 35 et 61 %. Les sulfates et les nitrates sont les ions majoritairement présents. La proportion de nitrates dans les PM₁₀ atteint même 22 % en mars 2009.

La proportion d'EC dans les PM₁₀ observée est caractéristique d'un milieu urbain. En effet, la proportion d'EC dans les PM varie entre 1 et 5 % en milieu urbain et peut aller jusqu'à 20 % en milieu proche d'un axe de circulation (Marchand, 2003).

c) Evolution saisonnière des espèces majoritaires

La composition moyenne des PM₁₀ présente des variations saisonnières marquées.

En hiver, la fraction organique de l'aérosol est plus importante (37 % pour CHU et 43 % pour J.Macé). De même, les ions majeurs représentent une fraction plus importante de l'aérosol en hiver et au printemps. En hiver, la contribution des sources d'émissions de

composants organiques et inorganiques sur la composition des aérosols est donc plus importante.

En été, la proportion de carbone élémentaire est plus élevée et plus de la moitié de la composition particulaire reste indéterminée : les sources d'émissions de particules sont donc moins bien identifiables en été dans le cadre de cette étude.

d) Comparaison de la composition des PM₁₀ entre les sites de prélèvements

Les compositions globales des aérosols sont semblables pour les deux sites de prélèvements (CHU Michallon et Ecole Jean Macé) et ce quelque soit la saison. Elles sont très proches de celle du site urbain de fond de Grenoble les Frênes (Figure 37).

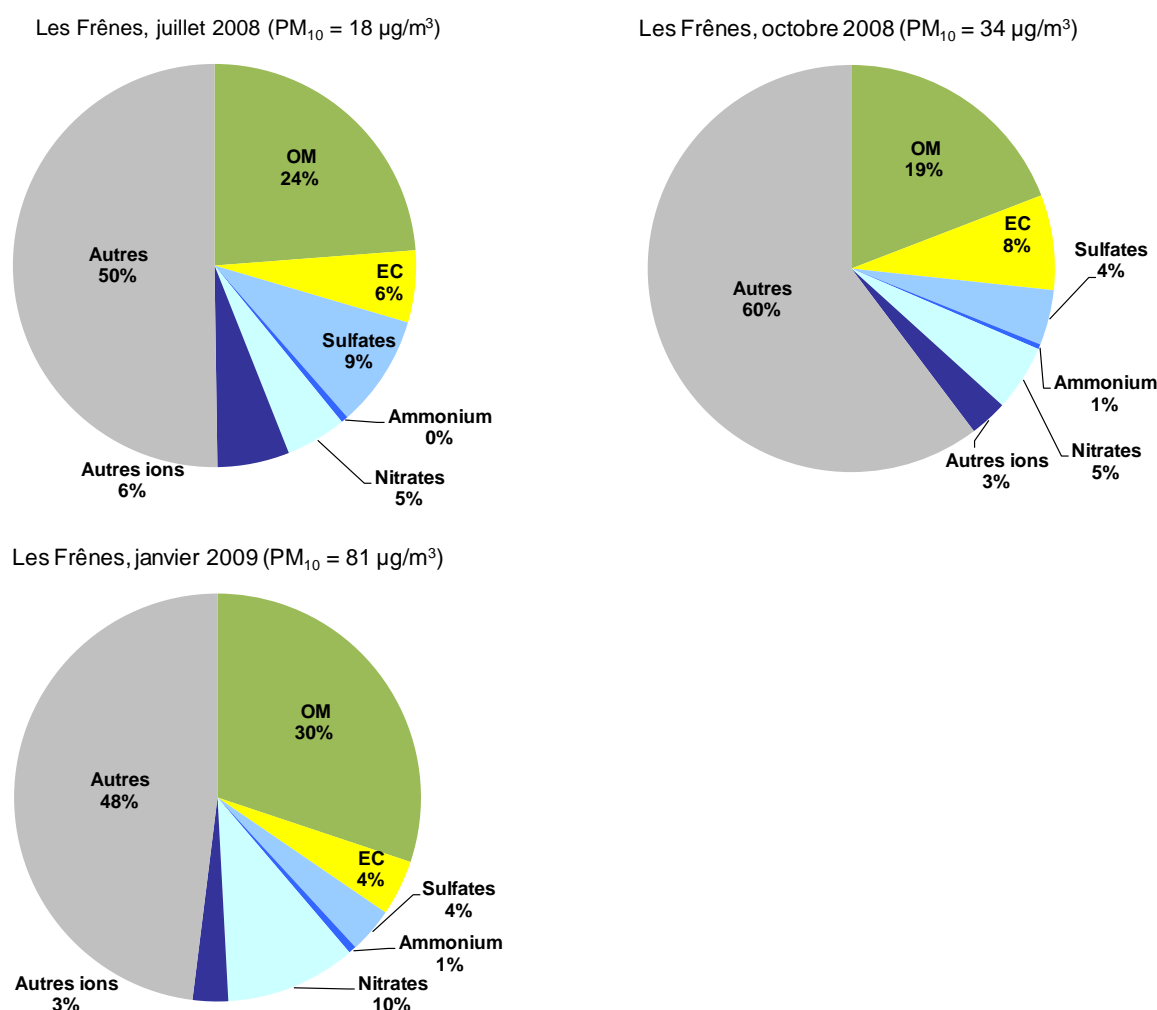


Figure 37 Composition atmosphérique particulaire pour le site urbain de fond de Grenoble les Frênes en été (juillet 2008), automne (octobre 2008) et hiver (janvier 2009).

e) Evolution de la contribution des sources d'émissions

■ Apports crustaux

Une des sources d'aérosols est l'apport crustal. En effet l'érosion, la remise en suspension de particules (notamment par le trafic routier) et le transport éolien de matières crustales peuvent contribuer parfois de manière importante à la masse de PM.

La contribution de ces apports crustaux sur la masse de PM déterminée par l'approche basée sur les **concentrations en ion calcium** varie pour cette étude entre 2 et 13 % (Figure 38). La contribution présente des variations saisonnières ; elle est la plus faible en hiver. Les prélèvements hivernaux ayant été réalisés lors d'un épisode météorologique particulier avec une forte subsidence thermique, peu de transport éolien était observé et l'environnement péri-urbain était recouvert d'un manteau neigeux. Les apports crustaux étaient donc minimisés par les conditions météorologiques.

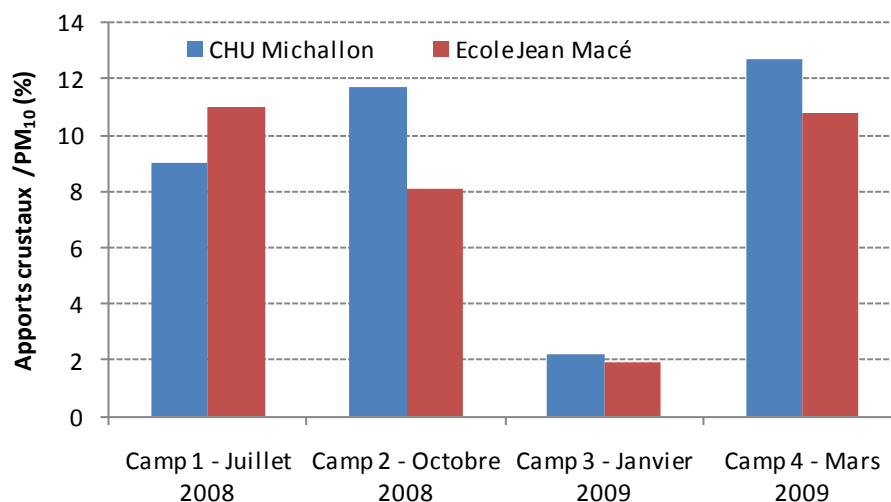


Figure 38 Evolution temporelle de la contribution des apports crustaux sur les PM₁₀ pour les deux sites nord grenoblois

■ Contribution de la biomasse

La contribution de la combustion de biomasse sur la matière organique (OMBB / OM) évolue temporellement (Figure 39). Elle est plus importante à l'automne (20 %) et encore plus en hiver (> 60 %). Les émissions dues au chauffage au bois sont donc très importantes en hiver à Grenoble et la contribution est semblable sur les deux sites du nord grenoblois ainsi que sur le site de fond urbain des Frênes. Les deux sites du Nord de Grenoble ne présentent donc pas de sources particulières d'émissions dues à la combustion de biomasse et, inversement, **l'impact de cette source semble assez homogène sur une grande partie de l'agglomération.**

Il faut noter que les prélèvements de janvier ont été effectués lors d'un épisode de dépassement de seuil en PM₁₀ très remarquable.

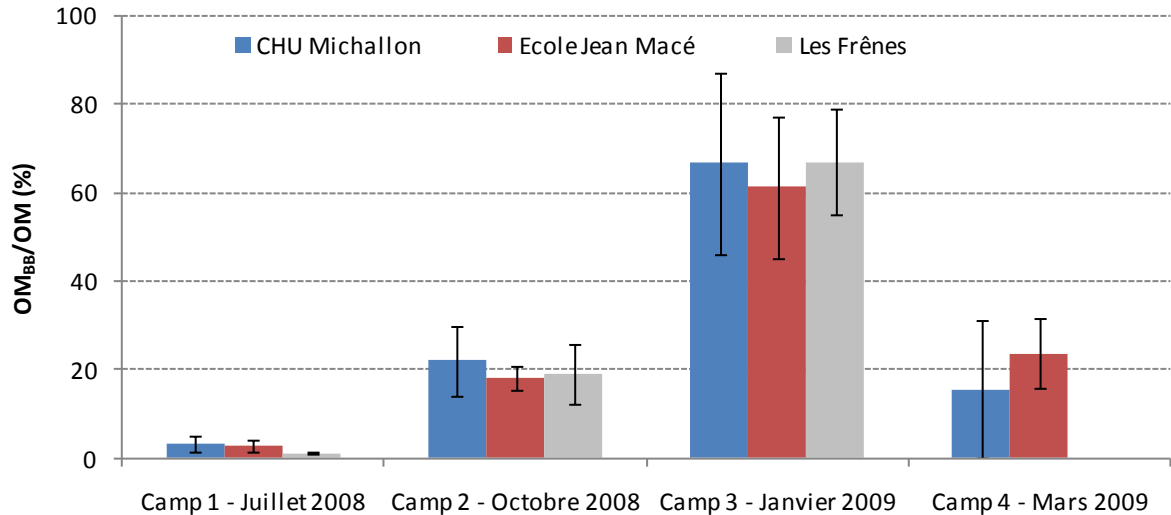


Figure 39 Evolution temporelle de la contribution de la combustion de biomasse sur la matière organique particulaire pour les deux sites nord grenoblois et le site des Frênes

Les concentrations en Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) peuvent indiquer des sources d'émissions de combustion de biomasse ou véhiculaires. Il est donc intéressant de regarder leur proportion dans la matière organique particulaire.

La proportion de la somme des 16 HAPs analysés et présents dans la matière organique est différente pour les deux sites étudiés et évolue temporellement (Figure 40). Elle est plus importante pour le site de l'école Jean Macé et diminue entre l'été et l'hiver. Pour le site du CHU Michallon, elle augmente en hiver. Ces résultats pourraient indiquer un effet de source d'HAPs particulier au site de l'école Jean Macé. Cependant, on ne peut exclure ici l'influence d'artéfacts de prélèvement sur ces résultats.

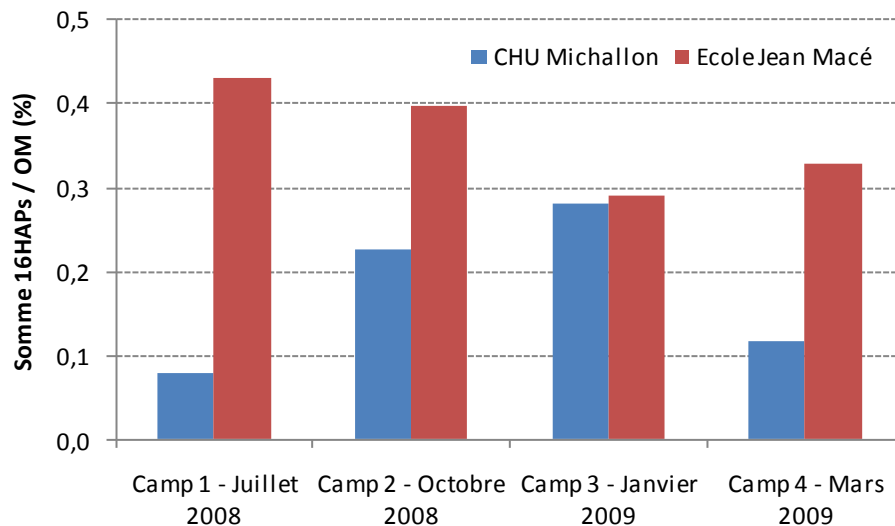


Figure 40 Evolution temporelle du rapport entre la somme des 16 HAPs et la matière organique particulaire pour les deux sites nord grenoblois

En effet, 90 % de la somme des HAPs mesurés est due aux HAPs semi volatiles (notamment le phénanthrène) qui se partagent entre la phase particulaire et la phase gazeuse. La température extérieure (et donc la saison), mais également celle existant au sein du préleveur, influencent le prélèvement de ces composés sur la phase particulaire. Les

phénomènes d'adsorption ou désorption des HAPs sur ou à partir du filtre peuvent être différents suivant les sites.

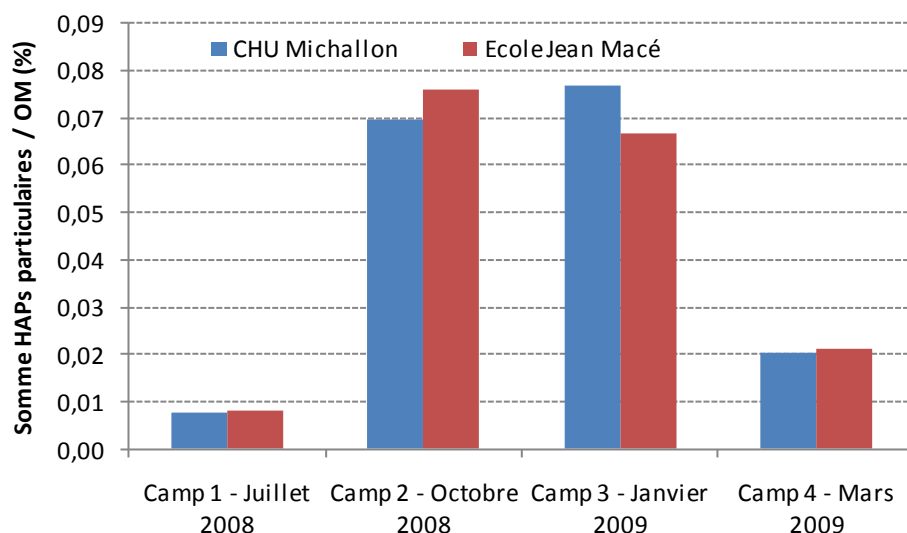


Figure 41 Evolution temporelle du rapport entre la somme des HAPs particulaires et la matière organique particulaire pour les deux sites nord grenoblois

Il apparaît plus judicieux de réaliser ce type d'approche à partir des seuls HAPs considérés comme essentiellement particulaires, c'est à dire les HAPs plus lourds que le pyrène (Figure 41).

Avec ce critère, on note que le rapport entre la somme des HAPs particulaires et la matière organique est semblable entre les deux sites (Figure 41). Ce rapport évolue temporellement avec une augmentation en automne et hiver. La plus forte proportion de HAPs dans la matière organique en automne et en hiver montre une influence plus importante à ces saisons de sources d'émissions de HAPs sur la matière organique notamment en raison des processus de combustion liés aux systèmes de chauffage.

En l'état actuel des données et dans les conditions de prélèvements utilisées (pas de quantification de la phase gazeuse), la différence observée entre les deux sites (figure 6) pour la somme de tous les HAPs analysés ne permet pas de conclure sur la présence d'une source particulière d'HAPs à proximité du site de J. Macé. Une exploitation plus approfondie des profils en HAPs serait nécessaire en comparaison avec des données à l'émission de la littérature.

■ Autres sources d'émissions

Les concentrations en chlorure augmentent en hiver pour les deux sites étudiés (Figure 42). Les deux sites présentent des taux en chlorure semblables sauf en janvier 2009. La concentration en chlorure sur le site du CHU est plus élevée en janvier 2009 que sur le site J. Macé. Cette concentration moyenne plus élevée est due essentiellement à une forte concentration en chlorure observée le 10 janvier 2009. Mais les données chimiques et météorologiques (dynamique) dont nous disposons ne sont pas suffisantes pour identifier l'origine de cet épisode particulier. Une étude plus spécifique d'influence de sources serait nécessaire pour déterminer les sources d'émissions de chlorure.

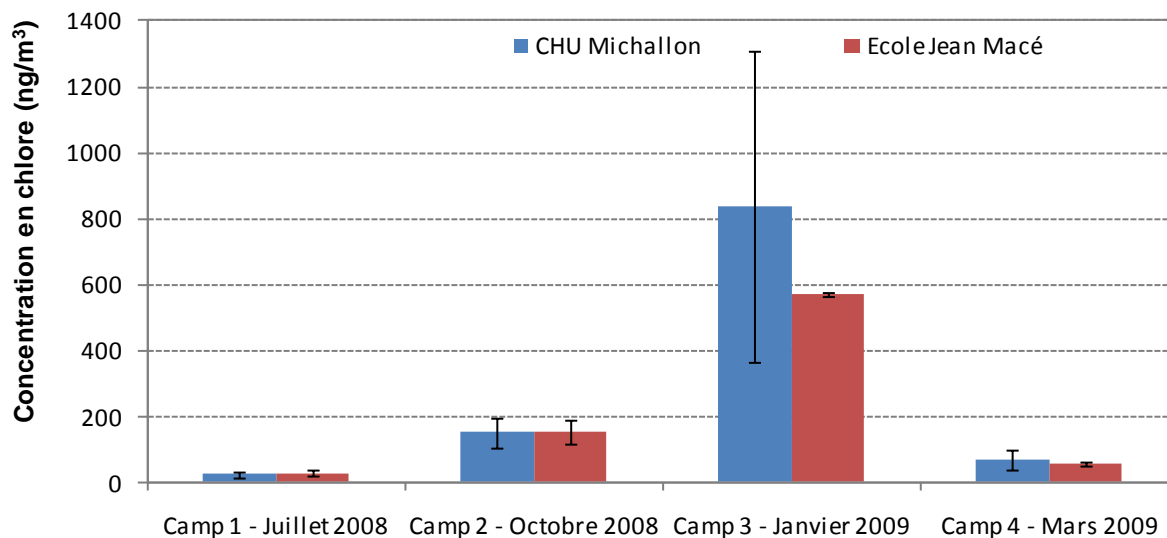


Figure 42 Evolution temporelle des concentrations en chlore pour les deux sites de prélèvements.

f) Influence des artéfacts de prélèvements

De même que pour les HAPs (Figure 40 et Figure 41), des artéfacts de prélèvements sont observés pour les ions. En hiver et au printemps, les concentrations en nitrates et en ammonium sont bien corrélées et les concentrations en nitrates sont quatre fois supérieures à celles de l'ammonium (Figure 43). Par contre, ces corrélations ne sont plus observées en été et en automne (Figure 43), probablement en raison de changements de sources d'émissions pendant ces saisons, mais aussi très certainement en raison d'artéfacts négatifs de prélèvements, avec volatilisation du nitrate d'ammonium à températures supérieures à 20°C.

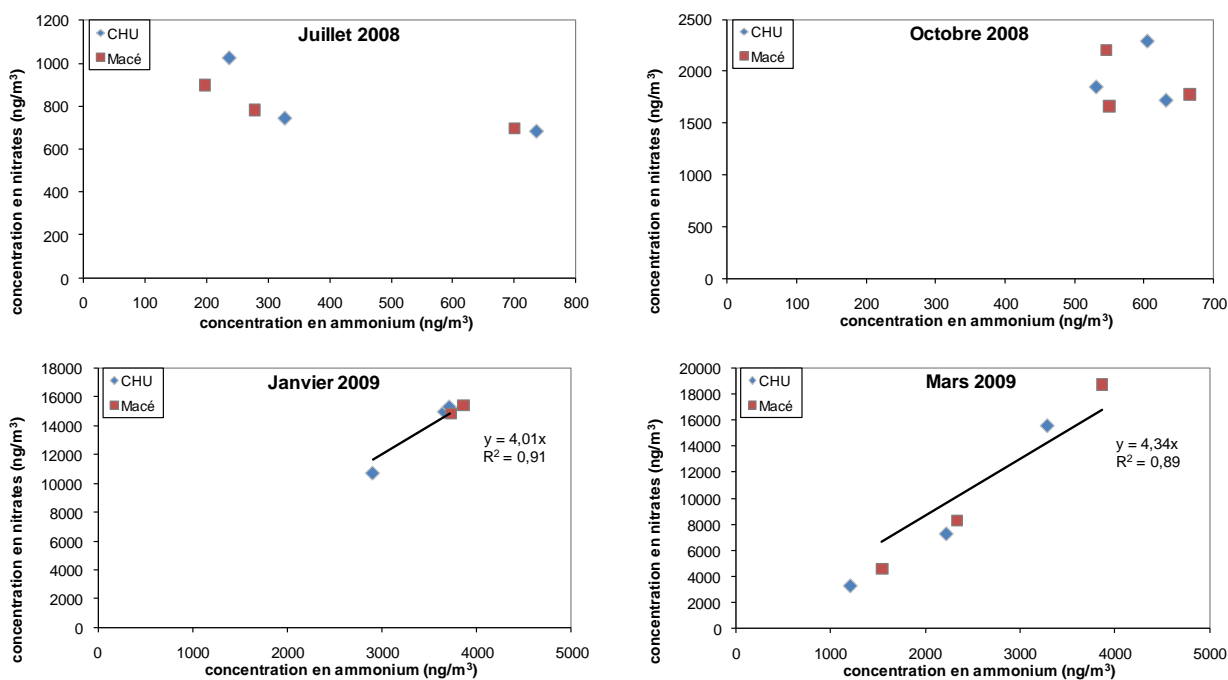


Figure 43 : Diagrammes nitrates et ammonium pour les deux sites nord grenoblois en juillet 2008, octobre 2008, janvier 2009 et mars 2009.

2.2.4. Niveaux mesurés en PM_{2,5} et comparaison à la réglementation

Le graphique suivant illustre les concentrations moyennes de PM_{2,5} pendant les 8 semaines de mesures.

La partie inférieure (en rose clair) correspond au niveau moyen de fond l'agglomération de Grenoble (26 µg.m⁻³ pendant les 8 semaines de mesures).

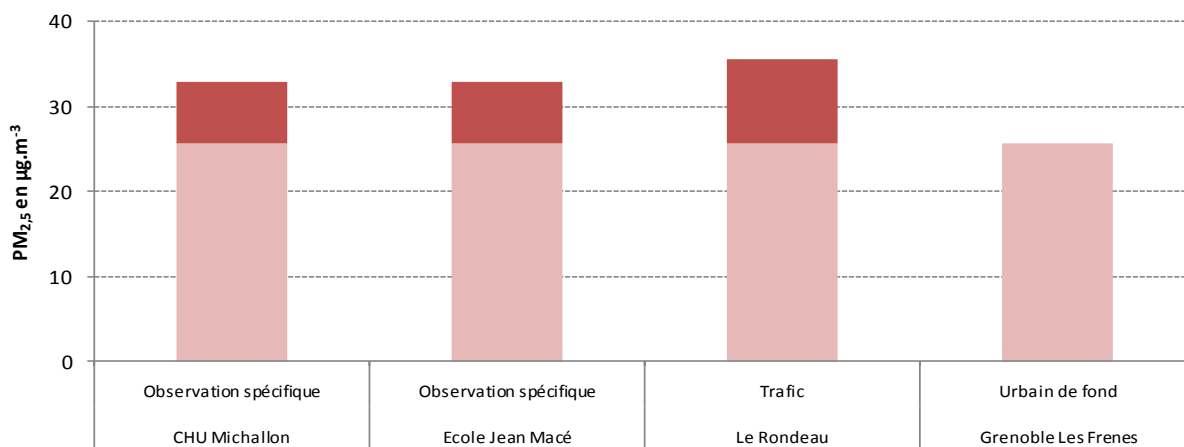


Figure 44 Concentrations moyennes en PM_{2,5} pendant les 8 semaines de mesures

Concernant la réglementation, la moyenne annuelle en PM_{2,5} est estimée à 25 µg.m⁻³ pour les sites du CHU Michallon et de l'école Jean Macé. Cette estimation à 25 µg.m⁻³ est très proche de la valeur cible fixée à 25 µg.m⁻³ en moyenne annuelle (à partir de 2010), mais ne respecte pas la valeur limite fixée à 20 µg.m⁻³ (à partir de 2020).

Le graphique suivant illustre les **concentrations moyennes corrigées** de poussières en suspension (PM_{2,5}) sur les deux sites de l'étude et les moyennes sur la période avril 2008 – avril 2009 pour les stations fixes.

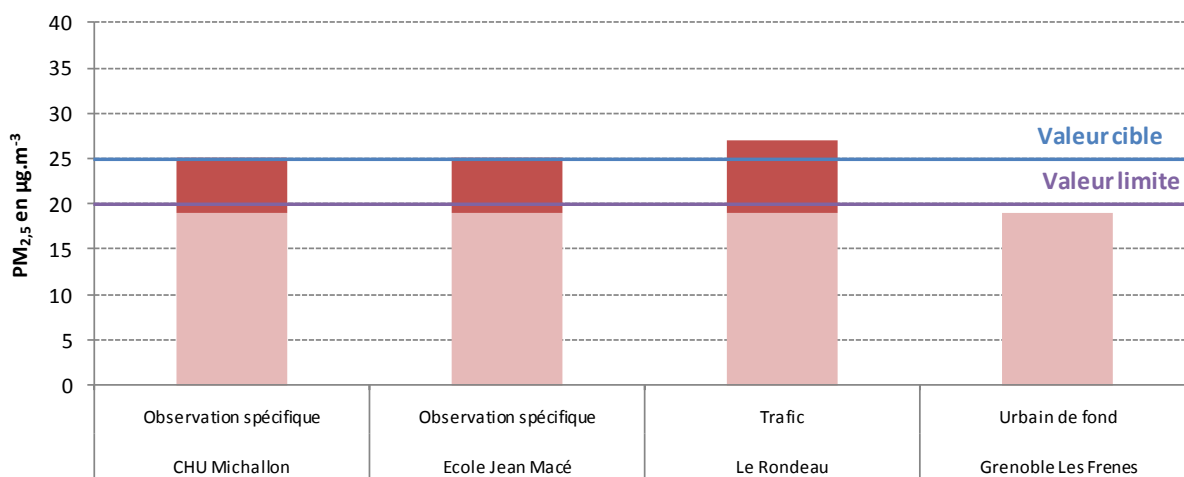


Figure 45 Comparaison par rapport à la réglementation concernant les particules de taille inférieure à 2,5 microns (PM_{2,5})

En résumé pour les poussières (PM₁₀ et PM_{2,5})

Même si le trafic automobile n'est pas le premier émetteur de poussières de l'agglomération de Grenoble, les concentrations de poussières peuvent être importantes en proximité automobile.

Les mesures de PM₁₀ montrent des dépassements du **seuil d'information et de recommandations** concernant les poussières PM₁₀ (80 µg.m⁻³ en moyenne journalière) sur les sites de fond et les sites de proximité dans l'agglomération de Grenoble.

Ces dépassements ont eu lieu lors d'épisodes de pollution atmosphérique et étaient liés à l'apparition de facteurs météorologiques favorables à l'accumulation de poussières dans les basses couches de l'atmosphère dont les émissions étaient importantes (les émissions par le chauffage des secteurs résidentiels et tertiaires sont maximales en hiver).

La composition chimique des aérosols sur la partie nord de Grenoble est caractéristique d'une atmosphère urbaine influencée par différentes sources (industries, véhiculaires, combustion de biomasse...).

Les deux sites de prélèvements choisis présentent une composition chimique des aérosols semblable qui est représentative de l'atmosphère urbaine de Grenoble. Elle est en effet similaire à celle des aérosols prélevés sur le site de fond urbain des Frênes.

La contribution des sources d'émissions (notamment les combustions, plus particulièrement la combustion de biomasse) présente des variations saisonnières importantes avec une contribution élevée en hiver (plus de 60 % de la matière organique observée en hiver à Grenoble est due à la combustion de biomasse).

Concernant les particules PM_{2,5}, les niveaux enregistrés sur les 2 sites d'études sont proches de la valeur cible 2010 et au-dessus du fond urbain grenoblois.

2.3. BTX : Benzène, Toluène, xylènes

Le benzène, toluène et les xylènes font partie de la famille des Composés Organiques Volatils (COV).

2.3.1. Les émissions de COV dans l'agglomération de Grenoble

Avec seulement 8% des émissions de Composés Organiques Volatils non méthaniques (COVNM), **le trafic automobile représente le 3^{ème} émetteur de COVNM** derrière le résidentiel/tertiaire (28%) et le secteur industriel (55%) dans l'agglomération de Grenoble.

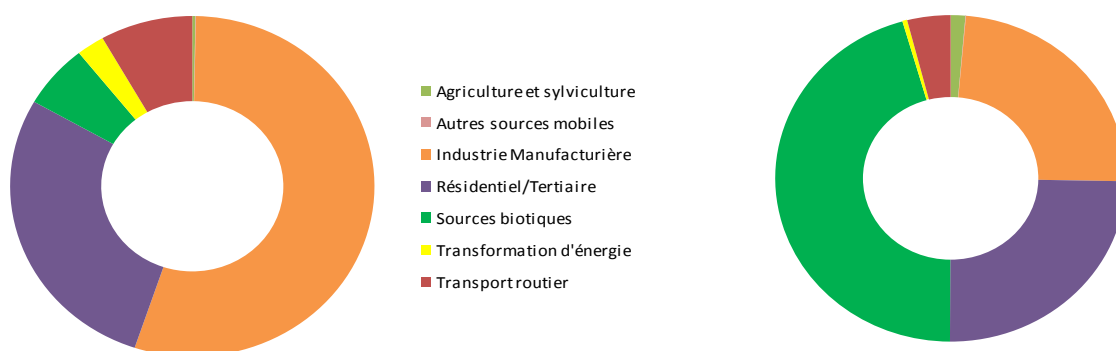


Figure 46 Répartition sectorielle des émissions de Composés Organiques Volatils non méthaniques (COVNM) dans l'agglomération de Grenoble (Source : Cadastre 2006 ASCOPARG – Version 2008-3)

2.3.2. Niveaux mesurés et comparaison à la réglementation

ASCOPARG a réalisé des mesures indicatives de benzène (C_6H_6) et de toluène (C_7H_8) par tubes à diffusion.

Pour le site de Grenoble les Frênes, la moyenne des 8 semaines de mesures surestime la concentration moyenne annuelle (avril 2008 à avril 2009) d'environ 10%. Les concentrations moyennes de benzène seront donc corrigées (-10%) afin de pouvoir être comparées aux valeurs réglementaires (qui sont exprimées en moyenne annuelle).

Pour le benzène, les niveaux moyens **corrigés** dans le nord de l'agglomération grenobloise sont compris entre 0,6 et 1,7 $\mu g.m^{-3}$.

La moyenne en benzène mesurée sur la station des Frênes entre avril 2008 et avril 2009 est de 1,1 $\mu g.m^{-3}$ (calculé sur un échantillon de 52 semaines soit un an de mesures d'avril 2008 à avril 2009).

Avec une concentration (estimée) en moyenne annuelle de benzène inférieure à 2 $\mu g.m^{-3}$, tous les sites de mesures sont conformes à **l'objectif de qualité**. De fait, tous les sites respecteraient aussi la **valeur limite pour la protection de la santé** fixée à 5 $\mu g.m^{-3}$ en 2010 et 8 $\mu g.m^{-3}$ en 2007.

2.3.3. Répartition spatiale du benzène et du toluène

Comment varient les concentrations en benzène sur l'ensemble du Nord Grenoblois ?

Les niveaux de benzène les plus importants ont été mesurés à l'entrée Est de Grenoble à proximité de l'A43 au niveau du carrefour de la Carronnerie et à l'entrée Ouest de Grenoble à proximité de l'A48 au niveau de l'esplanade.



Figure 47 Estimation des concentrations moyennes annuelles de benzène (C₆H₆) dans l'agglomération de Grenoble

Le graphique suivant illustre les concentrations de benzène en fonction de la typologie du site et du trafic automobile à proximité pour les sites en proximité automobile. Par rapport au NO₂, la variabilité des niveaux en benzène en fonction de la typologie est plus réduite.

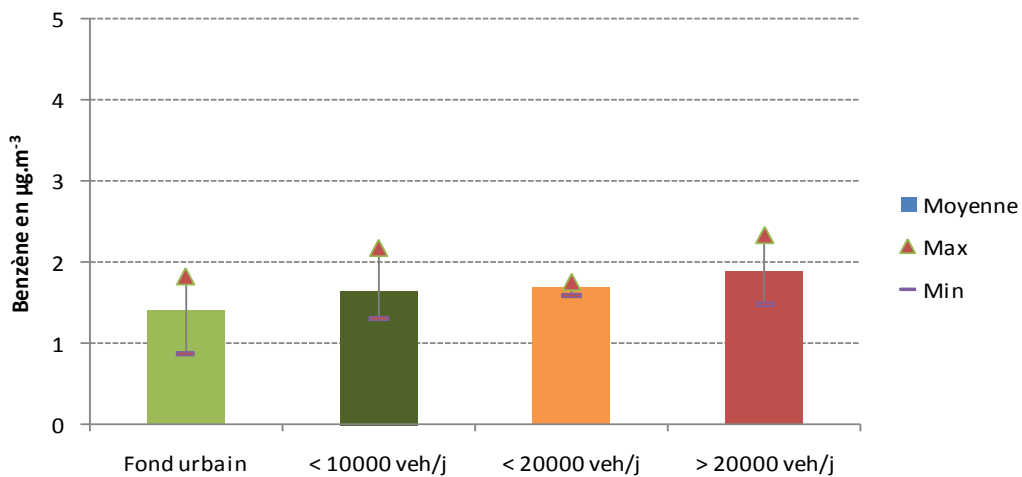


Figure 48 Concentration en Benzène en fonction du trafic automobile à proximité du site de mesures

En été et au printemps, les niveaux de benzène sont homogènes dans l'ensemble de l'agglomération de Grenoble et pratiquement tous inférieurs à 2 µg.m⁻³. En hiver, l'augmentation des niveaux de benzène concerne la plupart des sites de mesures.

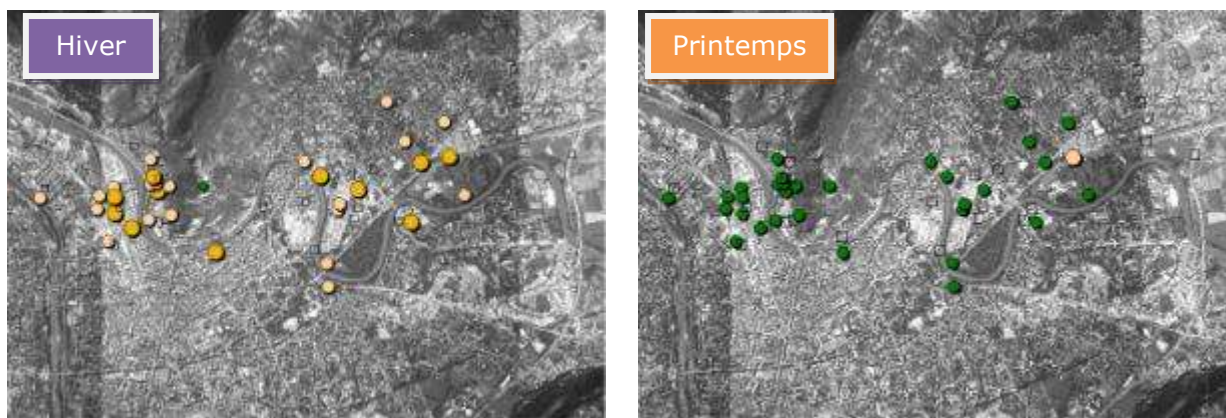


Figure 49 Concentrations en benzène en hiver (à gauche) et au printemps (à droite)

En résumé pour les BTX

Le trafic automobile représente dans l'agglomération de Grenoble le 3^{ème} émetteur de Composés Organiques Volatils (8% des émissions). Le secteur résidentiel/tertiaire est le deuxième émetteur de COV avec 28% des émissions.

Les mesures effectuées dans le nord de l'agglomération montrent des résultats conformes aux valeurs réglementaires concernant le benzène.

A l'inverse, des mesures effectuées dans le sud de l'agglomération, en proximité industrielle lors de récentes études, ont montré des niveaux de benzène qui dépassent l'objectif de qualité. En effet, dans le secteur sud de l'agglomération les sources industrielles s'ajoutent aux autres (trafic, résidentiel).

2.4. Monoxyde de carbone (CO)

2.4.1. Emissions en monoxyde de carbone dans l'agglomération de Grenoble

Dans l'agglomération de Grenoble, le transport routier est responsable de 41% des émissions de monoxyde de carbone. Le résidentiel tertiaire représente le 2^{ème} émetteur de CO avec 31% des émissions totales de CO.

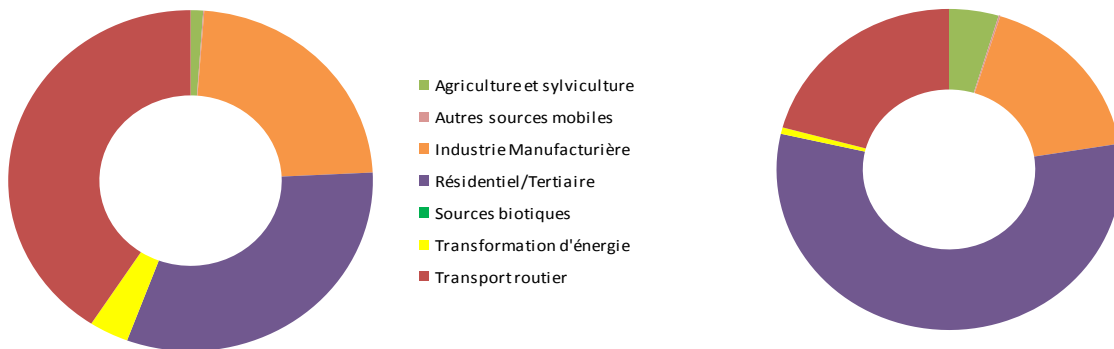


Figure 50 Répartition sectorielle des émissions de monoxyde de carbone (CO) dans l'agglomération de Grenoble à gauche et en Isère à droite (Source : Cadastre 2006 ASCOPARG – Version 2008-3)

2.4.2. Niveaux mesurés et comparaison à la réglementation

Le graphique suivant illustre l'estimation des concentrations moyennes en monoxyde de carbone pendant les 8 semaines de mesures.

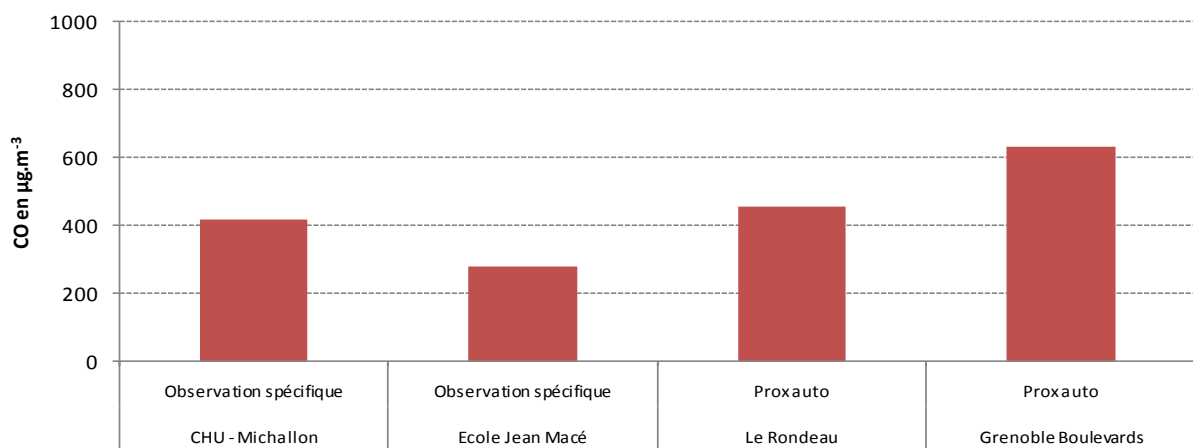


Figure 51 Concentrations moyennes en monoxyde de carbone (CO) pendant les 8 semaines de mesures

Sur le site de l'école Jean Macé, les niveaux moyens en monoxyde de carbone sont légèrement inférieurs à ceux mesurés en proximité automobile. Sur le site du CHU Michallon, le niveau moyen en monoxyde de carbone est proche de celui mesuré en proximité automobile (station fixe du Rondeau). Ces niveaux peuvent être liés aux travaux, mais aussi au trafic automobile sur la route mais aussi dans le parking à proximité immédiate du site de mesures.

Les principales statistiques des mesures de CO sont reprises dans la figure suivante.

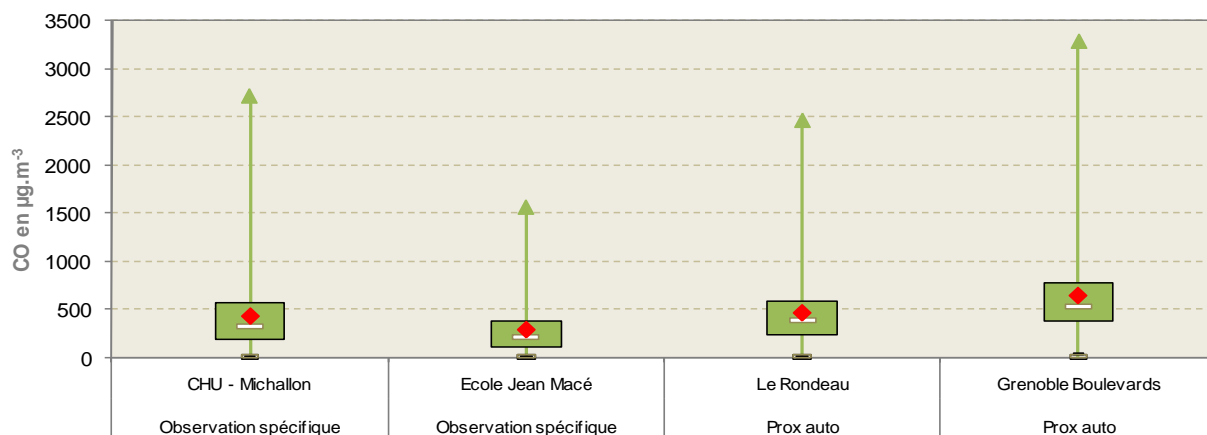


Figure 52 Statistiques horaires des mesures de monoxyde de carbone (CO)

Cf. annexe 1 pour une aide à la lecture de ce graphique.

Les niveaux de ce polluant sont en baisse régulière depuis plusieurs années. Cette baisse généralisée est due à la mise en place depuis 1993 des pots catalytiques.

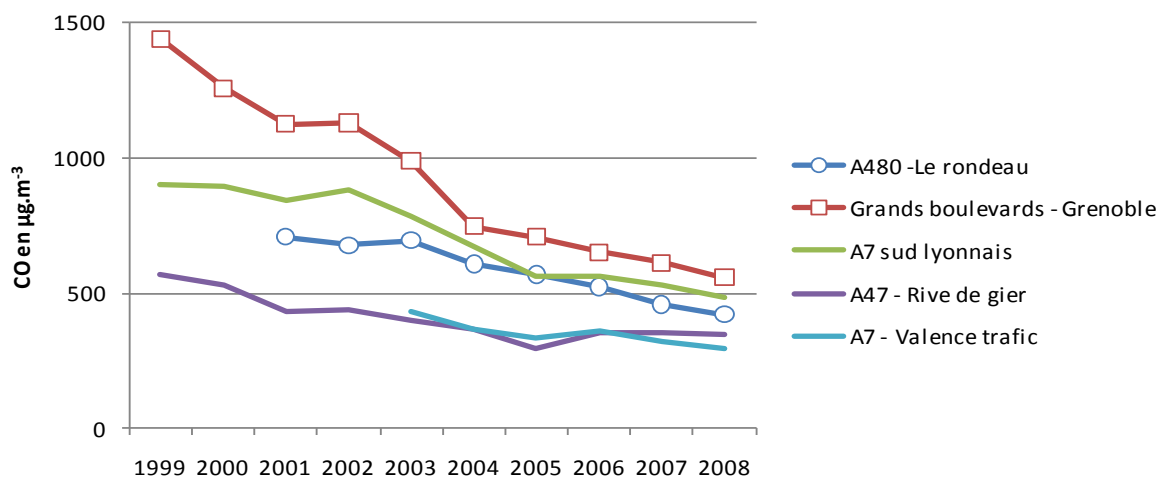


Figure 53 Evolution des concentrations moyennes annuelles de monoxyde de carbone (CO) sur plusieurs sites de proximité automobile de la région Rhône-Alpes

Sur les deux sites du nord de l'agglomération grenobloise, les niveaux de monoxyde de carbone respectent la valeur limite pour la protection de la santé : 10 mg.m^{-3} pour le maximum journalier de la moyenne glissante sur 8 heures.

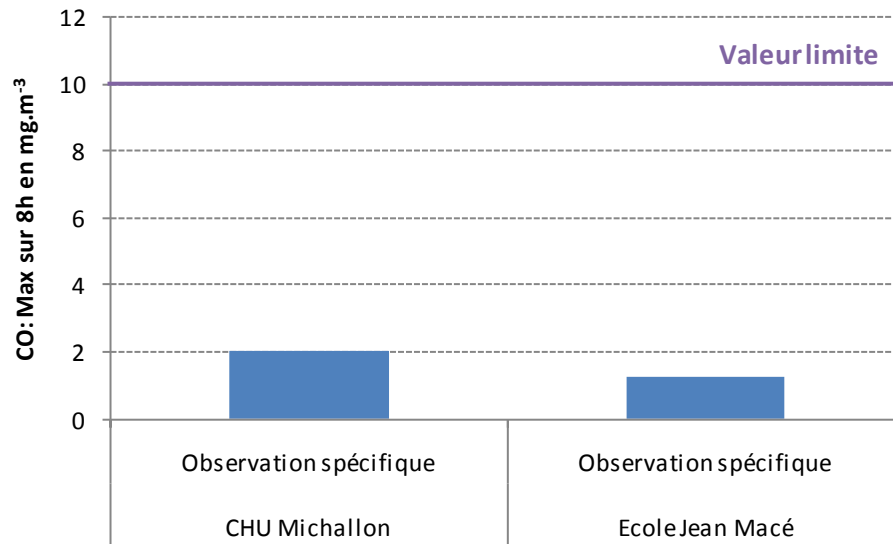


Figure 54 Maximum journalier de la moyenne glissante sur 8 heures pour le monoxyde de carbone (CO) sur les sites du CHU Michallon et de l'école Jean Macé

En résumé pour le monoxyde de carbone (CO)

Les émissions de monoxyde de carbone par le trafic automobile sont en baisse régulière depuis plusieurs années (-50% en moyenne), ce qui s'explique par la mise en place des normes anti-pollution.

Pour ce polluant, les niveaux mesurés sont conformes aux valeurs réglementaires dans toute l'agglomération de Grenoble.

2.5. Prélèvements : COV, Aldéhydes, HAP et Métaux Lourds

Les laboratoires mobiles ont permis de réaliser plusieurs prélèvements ponctuels (sur 24h ou 8h) de COV, Aldéhydes, HAP et Métaux Lourds (Eléments Traces Métalliques). Ces prélèvements ont été programmés en simultané sur les deux sites de l'étude (CHU-Michallon et Ecole Jean Macé) et sur le site de référence urbain de Grenoble situé au sud de Grenoble (Villeneuve – Ecole Les Frênes).

Ces prélèvements ont permis d'analyser les concentrations pour **83 polluants**.

2.5.1. Origine des polluants

L'origine des polluants est diverse et couvre la plupart des secteurs regroupés généralement par catégories, comme le transport, l'industrie et l'énergie, le résidentiel tertiaire, l'agriculture (dont engrais chimiques et pesticides) ou d'autres sources mobiles (aériennes, ferroviaires, fluviales, navales,...). Ce paragraphe donne quelques éléments de connaissances générales pour chaque grande famille de polluants qui ont été étudiés.

❖ Composés Organiques Volatils (COV)

Les émissions de COV d'origine industrielle sont produites par les raffineries de pétrole, les industries pétrochimiques, les imprimeries, les incinérateurs, et les produits de plastique, les scieries ainsi que les usines de panneaux agglomérés et de pâtes et papiers. A noter que la plupart des COV chlorés sont d'origine industrielle.

Certains des COV émis par l'industrie peuvent être également issus du transport, comme c'est le cas du benzène, du toluène ou des xylènes (appelés aussi HAM : hydrocarbures aromatiques monocycliques), ou bien encore l'éthylène, l'acétylène ou l'iso-pentane.

Les émissions de la catégorie résidentielle tertiaire peuvent provenir de la commercialisation de l'essence et du diesel, de l'utilisation de solvants à des fins non industrielles, du chauffage résidentiel au bois ou encore du nettoyage à sec, ainsi que toutes les émissions de sources diffuses qui ne sont pas incluses dans les autres catégories.

❖ Aldéhydes

Le Formaldéhyde et l'Acétaldéhyde sont les deux principaux aldéhydes mesurés dans l'air. Une part importante des émissions de ces deux composés peut être due aux véhicules à moteur non équipés de pots catalytiques.

Le Formaldéhyde peut être également émis par l'industrie, dans des procédés de fabrication de résines ou de colles et de mousses polyuréthanes, dans l'industrie des textiles, des colorants, du papier et des cosmétiques, mais aussi par des réactions photochimiques avec d'autres composés organiques volatils. En air intérieur, le Formaldéhyde est un des principaux polluants étudiés car il se retrouve en fortes proportions dans les objets de fabrications industrielles citées précédemment, dans des produits ménagers (désinfectants, insecticides,...) ou bien encore dans les fumées de cigarette ou de cuisson.

L'acétaldéhyde peut être émis par des procédés industriels et par des réactions photochimiques et se retrouve également en air intérieur.

❖ Métaux Lourds ou Eléments Traces Métalliques (ETM)

Les métaux lourds sont présents naturellement à l'état de traces dans le sol. L'activité humaine peut renforcer cette présence car nombre d'entre eux jouent un rôle important dans la vie quotidienne (Plomb, Cuivre, Nickel, Zinc,...).

La combustion de combustibles fossiles solides ou liquides (charbon, produits d'origine pétrolière) est également susceptible de rejeter des métaux dans les cendres, vapeurs et fumées.

❖ Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)

Les HAP sont générés essentiellement par des processus de combustion incomplète de la matière organique à haute température, comme c'est le cas de la combustion du carburant automobile, la combustion domestique (charbon, bois...), la production industrielle (aciéries...), la production d'énergie (centrales électriques fonctionnant au pétrole ou au charbon...) ou encore des incinérateurs. Le plus toxique des HAP est le Benzo(a)pyrène, qui est réglementé.

2.5.2. Valeurs réglementaires existantes

Parmi les 83 polluants mesurés, seuls 13 composés possèdent des valeurs de références :

Sur l'ensemble des 41 COV mesurés, seul le **Benzène** est réglementé au niveau européen, avec une **valeur limite pour la protection de la santé** fixée à **5 µg.m⁻³** pour 2010, mais avec des marges de dépassement autorisées décroissantes d'ici là :

2005	2006	2007	2008	2009	2010
10 µg.m ⁻³	9 µg.m ⁻³	8 µg.m ⁻³	7 µg.m ⁻³	6 µg.m ⁻³	5 µg.m ⁻³

En droit français, il existe un **objectif de qualité** pour le **Benzène** qui est fixé à **2 µg.m⁻³**.

Pour 4 autres COV, il existe quelques valeurs de références dans d'autres pays ou des valeurs guides recommandées par l'OMS¹, établies pour des expositions à plus ou moins long terme :

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

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

En revanche, pour le **Formaldéhyde**, il existe deux **valeurs guides en air intérieur** recommandées par l'AFSSET², correspondant respectivement à des expositions à court et long termes :

- ✓ **50 µg.m⁻³** pour une exposition sur 2 heures
- ✓ **10 µg.m⁻³** pour une exposition en moyenne annuelle

Pour les Métaux Lourds (ou Eléments Traces Métalliques) et les HAP, il existe des valeurs réglementaires³ dans l'air ambiant pour certains d'entre eux :

- ✓ **Arsenic** : **valeur cible** fixée à **6 ng.m⁻³** en moyenne annuelle
- ✓ **Cadmium** : **valeur cible** fixée à **5 ng.m⁻³** en moyenne annuelle
- ✓ **Nickel** : **valeur cible** fixée à **20 ng.m⁻³** en moyenne annuelle
- ✓ **Plomb** : **valeur limite** de **500 ng.m⁻³** en moyenne annuelle
- ✓ **Benzo(a)pyrène** : **valeur cible** fixée à **1 ng.m⁻³** en moyenne annuelle

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

- ✓ **Manganèse** : 150 ng.m⁻³ en moyenne annuelle
- ✓ **Vanadium** : 1000 ng.m⁻³ sur 24h.

¹ OMS Organisation Mondiale de la Santé

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

³ Directives Européennes (1999/30/CE et nouvellement 2008/50/CE), reprise en droit français par le décret, n°2008-1152, du 7 novembre 2008 et 4^{ème} Directive fille européenne (2004/107/CE), reprise en droit français par le Décret du 12 octobre 2007 (n°2007-1479)

Le tableau ci-dessous résume l'ensemble des valeurs de références existantes pour ces 13 polluants :

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

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

Tableau 9 Valeurs de référence pour 13 polluants prélevés dans le cadre de l'étude Nord Grenoblois

2.5.3. Principaux résultats des niveaux mesurés

Cette partie présente les principaux résultats pour les composés réglementés et pour ceux dont les valeurs ont été les plus significatives.

L'ensemble des tableaux de résultats de mesures sont disponibles en annexe 3.

Compte tenu du caractère aléatoire et du nombre restreint de prélèvements, mais aussi de la spécificité des différentes techniques de mesures, il est très difficile d'évaluer la représentativité de l'échantillonnage autrement qu'avec le nombre de prélèvements réalisés vis-à-vis de l'ensemble d'une année (résumé dans le tableau ci-dessous) :

Sites	Nombre de prélèvements réalisés sur les 4 périodes (représentativité annuelle)			
	COV (prélèvements sur 24h)	Aldéhydes (prélèvements sur 8h pour les sites mobiles et sur 7 jours pour le site de référence)	HAP (prélèvements sur 24h)	Métaux Lourds ou ETM (prélèvements sur 7 jours)
CHU-Michallon	24 (7%)	24 (7%)	24 (7%)	8 (15%)
Ecole Jean Macé	24 (7%)	24 (7%)	24 (7%)	8 (15%)
Site de référence Grenoble Les Frênes	61 (17%)	49 semaines (95%)	114 (31%)	43 (83%)

Tableau 10 Nombre de prélèvements réalisés sur les 4 périodes de l'étude dans le Nord Grenoblois et représentativité annuelle

Le taux de représentativité des prélèvements varie, selon les polluants, entre 7% et 15%. Il se situe donc entre le pourcentage minimum annuel de durée de mesure admissible pour une évaluation de la qualité de l'air (6%) et le pourcentage minimum requis par la directive européenne (14%).

Aucune correction n'a donc été apportée aux moyennes mesurées par prélèvements.

Les niveaux mesurés en moyenne sur le « nord grenoblois » sont comparés :

- ✓ aux seuils réglementaires existants
- ✓ aux moyennes annuelles, enregistrées entre avril 2008 et avril 2009, en fond urbain au sud de Grenoble (Villeneuve – Ecole Les Frênes)
- ✓ ainsi qu'aux niveaux moyens mesurés entre 2006 et 2007, sur 3 sites du « sud grenoblois » dans le cadre d'une étude réalisée autour des zones industrielles de Jarrie et Pont-de-Claix¹ (moyennes sur 36 prélèvements pour chaque site)

❖ Composés Organiques Volatils (COV)

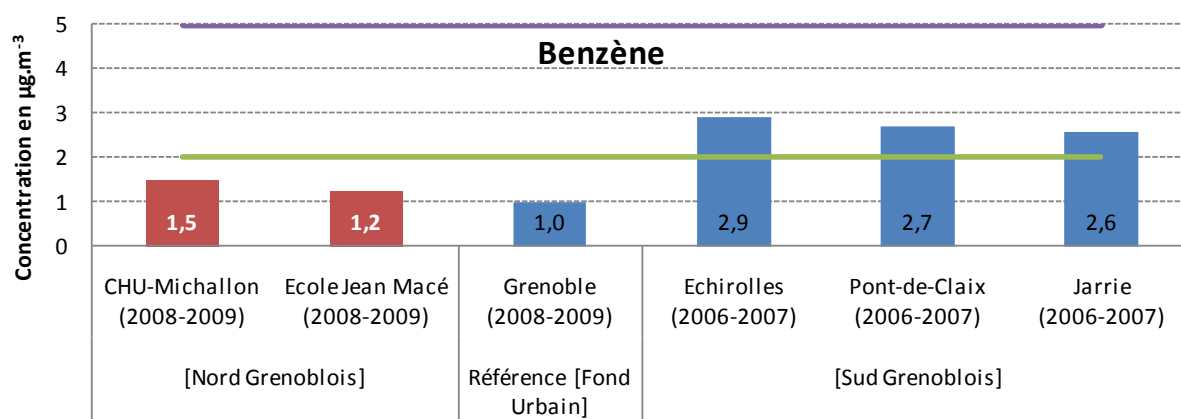


Figure 55 Concentration moyenne en benzène mesuré par canister (24 prélèvements de 8 heures) sur les sites de l'étude Nord Grenoblois et sur plusieurs sites de référence

Les moyennes mesurées pour le **Benzène** avec des prélèvements canisters sur les 2 sites mobiles implantés pour cette étude sur le « nord grenoblois » et sur le site de référence pour le fond urbain de Grenoble sont toutes conformes à l'**objectif de qualité** (2 µg.m⁻³) et donc également à la **valeur limite** (5 µg.m⁻³).

¹ Etude Air et Santé : « 3 zones à la loupe » disponible sur www.atmo-rhonealpes.org

Ces moyennes sont inférieures à celles qui avaient été mesurées sur le « sud grenoblois » en 2006-2007 et qui dépassaient l'objectif de qualité.

A noter qu'en 2006 et en 2007, les moyennes de Benzène mesurées sur le site de fond urbain Grenoble les Frênes respectaient cet objectif de qualité.

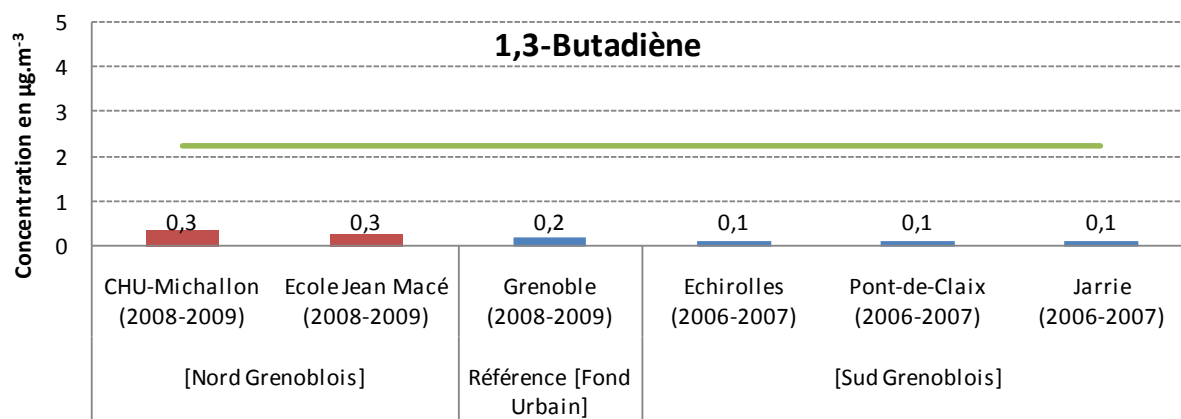


Figure 56 Concentration moyenne en 1,3-butadiène mesuré par canister (24 prélèvements de 8 heures) sur les sites de l'étude Nord Grenoblois et sur plusieurs sites de référence

Pour le **1,3-Butadiène** (Figure 56), les moyennes mesurées sont très faibles et toutes inférieures à la valeur de référence au Royaume-Uni (**Objectif de qualité** de 2,25 µg.m⁻³), que ce soit sur le « nord grenoblois », sur le site de référence pour le fond urbain de Grenoble ou sur les 3 sites du « sud grenoblois ».

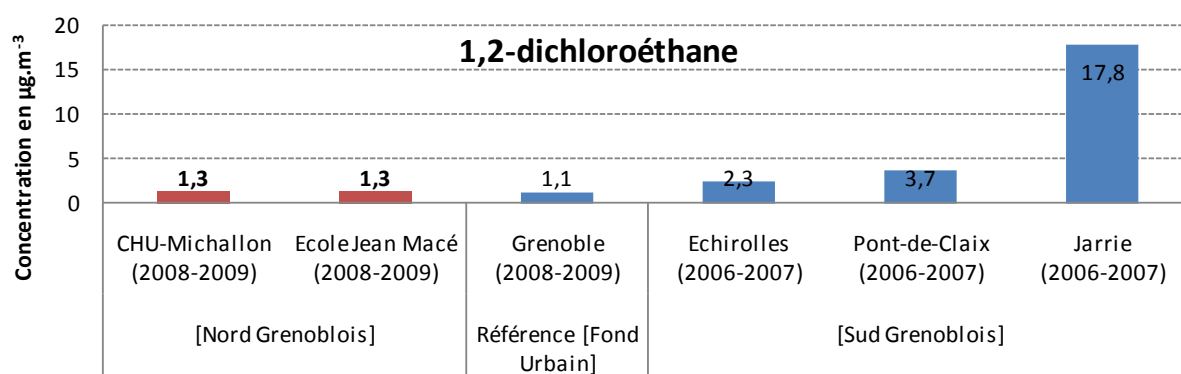


Figure 57 Concentration moyenne en 1,2-dichloroéthane mesuré par canister (24 prélèvements de 8 heures) sur les sites de l'étude Nord Grenoblois et sur plusieurs sites de référence

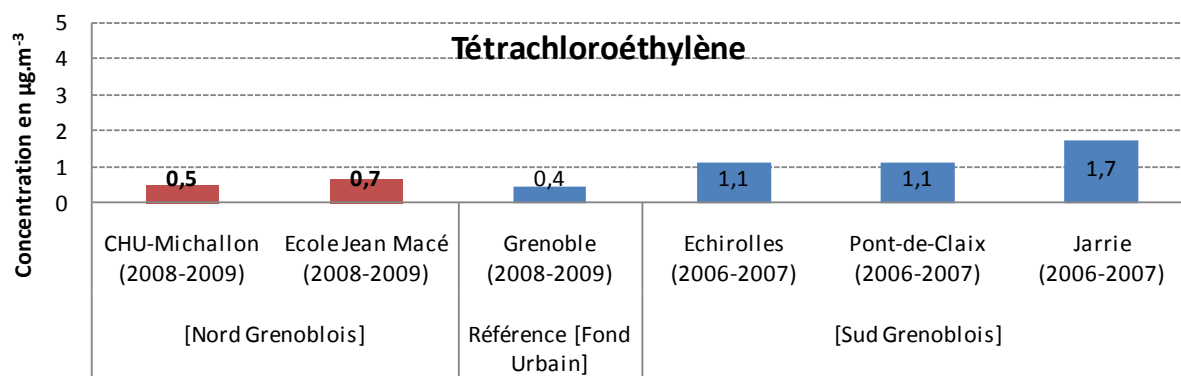


Figure 58 Concentration moyenne en tétrachloroéthylène mesuré par canister (24 prélèvements de 8 heures) sur les sites de l'étude Nord Grenoblois et sur plusieurs sites de référence

Pour le **1,2-Dichloroéthane** (Figure 57) et le **Tétrachloroéthylène** (Figure 58), les niveaux sont également très faibles et largement inférieurs aux valeurs guides de l'OMS. A noter que Les moyennes mesurées sur le « nord grenoblois » sont plus faibles que sur le « sud grenoblois », où sont situées les industries pouvant être à l'origine des émissions ces polluants.

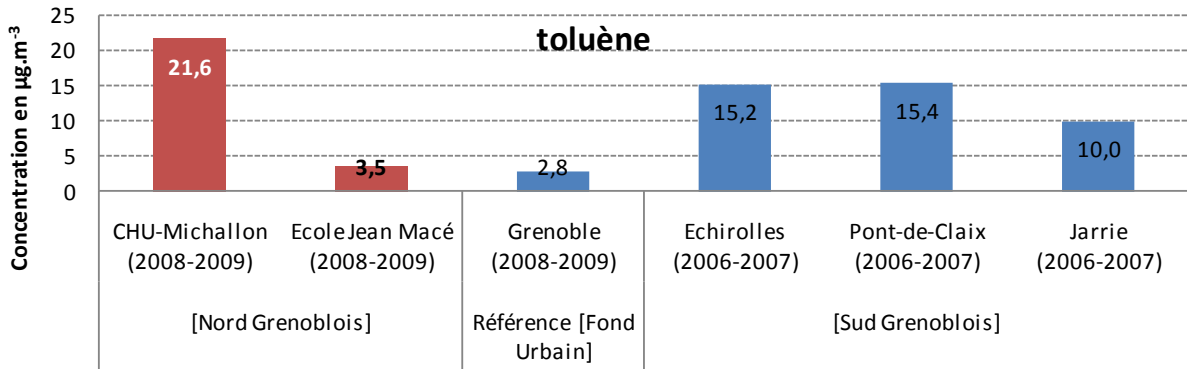


Figure 59 Concentration moyenne en toluène mesuré par canister (24 prélèvements de 8 heures) sur les sites de l'étude Nord Grenoblois et sur plusieurs sites de référence

Concernant le **Toluène** (Figure 59), la moyenne la plus élevée est mesurée sur le site CHU-Michallon, étant due à plusieurs valeurs élevées observées durant la première campagne de mesure (été) : plusieurs prélèvements sur 24h ont été enregistrés autour de 20 à 40 µg.m⁻³ et même un maximum de 255 µg.m⁻³ mesuré le 3 juillet 2008.

A noter malgré tout que ces valeurs sont à relativiser avec la valeur guide préconisée par l'OMS pour ce polluant (260 µg.m⁻³ en moyenne sur 7 jours).

Par ailleurs, des niveaux comparables ont été mesurés sur les sites du « sud lyonnais » en 2006-2007.

Ces fortes valeurs n'ont pas été invalidées, mais elles sont certainement à mettre en relation avec d'importants travaux de voirie (tranchée et pose d'enrobée) qui ont eu lieu à proximité des deux sites de mesures mobiles durant cette campagne estivale (voir plus loin : étude des variations saisonnières).

❖ Aldéhydes

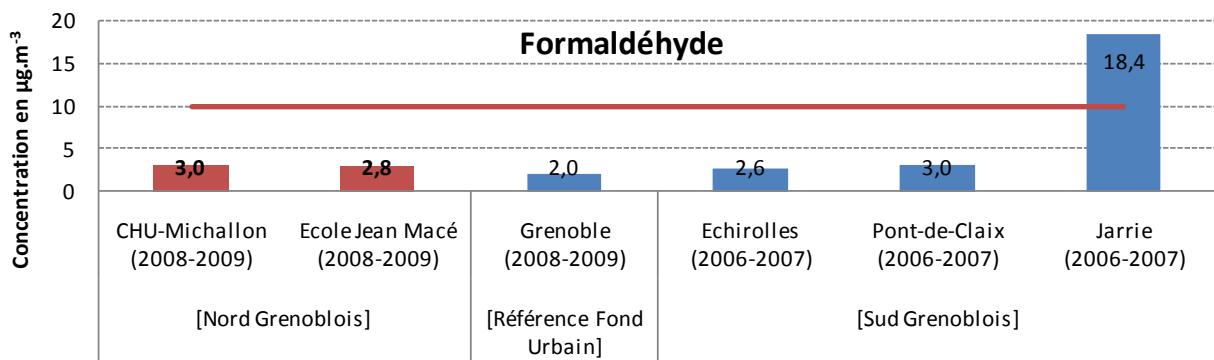


Figure 60 Concentration moyenne en formaldéhyde mesuré par prélèvements actifs (24 prélèvements de 8 heures) sur les sites de l'étude Nord Grenoblois et sur plusieurs sites de référence

Les niveaux de **Formaldéhyde** (Figure 60) mesurés sur les 2 sites du « nord grenoblois » sont comparables aux niveaux de fond urbains et à ceux mesurés sur une partie de la zone « sud grenoblois ».

Par ailleurs, les moyennes sont nettement inférieures à la seule valeur de référence disponible (**valeur guide pour l'air intérieur** de 10 ng.m^{-3} en moyenne annuelle).

Ces niveaux moyens peuvent être liés aux émissions du trafic automobile.

A noter, pour le « sud grenoblois », que la source à l'origine de la moyenne élevée mesurée sur le site de Jarrie n'a pas été déterminée et que des mesures complémentaires réalisées sur la même zone en 2009 montrent des niveaux comparables au fond urbain.

Les niveaux mesurés pour les **autres Aldéhydes** sont également comparables aux niveaux de fond urbain, avec des valeurs très faibles et souvent inférieures à la limite de détection.

Concernant l'**Acroléine**, qui a également été mesuré sur ces prélèvements, tous les résultats d'analyse ont été inférieurs à la limite de détection.

❖ Métaux Lourds ou Eléments Traces Métalliques (ETM)

Parmi les 15 Eléments Traces Métalliques mesurés, seuls 4 composés possèdent des valeurs réglementaires (**valeurs cibles** ou **valeur limite**):

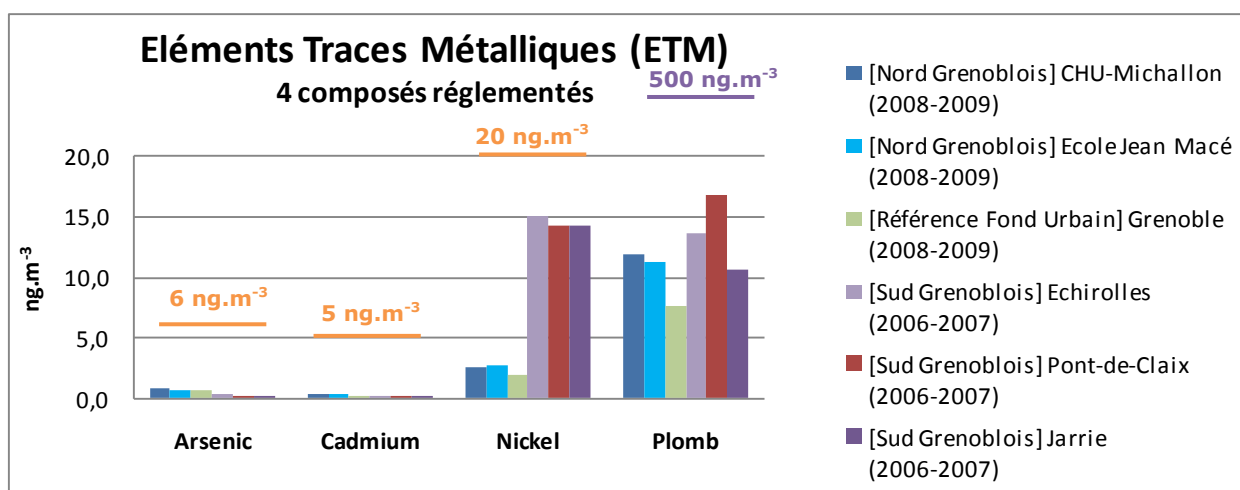


Figure 61 Concentration moyenne en éléments traces métalliques (Arsenic, Cadmium, Nickel, Plomb) sur les sites de l'étude Nord Grenoblois et sur plusieurs sites de référence

Pour les 4 composés réglementés, les niveaux sont nettement inférieurs aux valeurs réglementaires en moyenne annuelle (Figure 61).

Pour l'**Arsenic**, le **Cadmium**, et le **Plomb**, les niveaux mesurés sur les deux sites du « nord grenoblois » sont comparables aux niveaux enregistrés en fond urbain ou sur le « sud grenoblois ».

Pour le **Nickel**, les niveaux comparables aux niveaux enregistrés en fond urbain mais inférieurs à ceux mesurés sur le « sud grenoblois » en 2006-2007.

Les deux seuls autres composés qui étaient mesurés également dans le cadre de l'étude sur le « sud grenoblois » et pour lesquels il existe des valeurs de référence (**valeurs guides** de l'OMS) sont le Manganèse et le Vanadium :

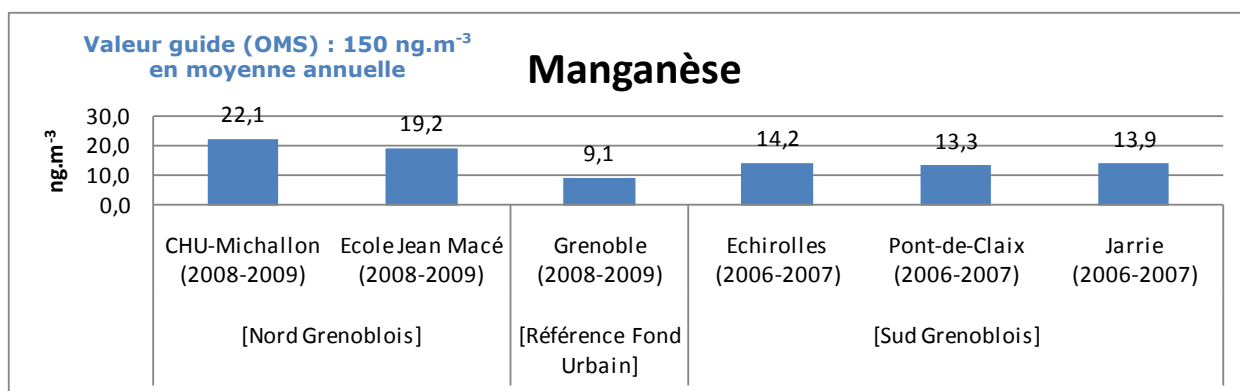


Figure 62 Concentration moyenne en manganèse sur les sites de l'étude Nord Grenoblois et sur plusieurs sites de référence

Pour le **Manganèse**, les niveaux moyens mesurés sur le « nord grenoblois » sont légèrement supérieurs aux niveaux de fond urbain et à ceux mesurés sur le « sud grenoblois », mais restent nettement inférieurs à la **valeur guide** de l'OMS de 150 ng.m⁻³ préconisée en moyenne annuelle (Figure 62).

A noter que sur l'agglomération grenobloise, une partie non négligeable des émissions de Manganèse (environ 25%) est liée au transport routier (usure de plaquettes de freins).

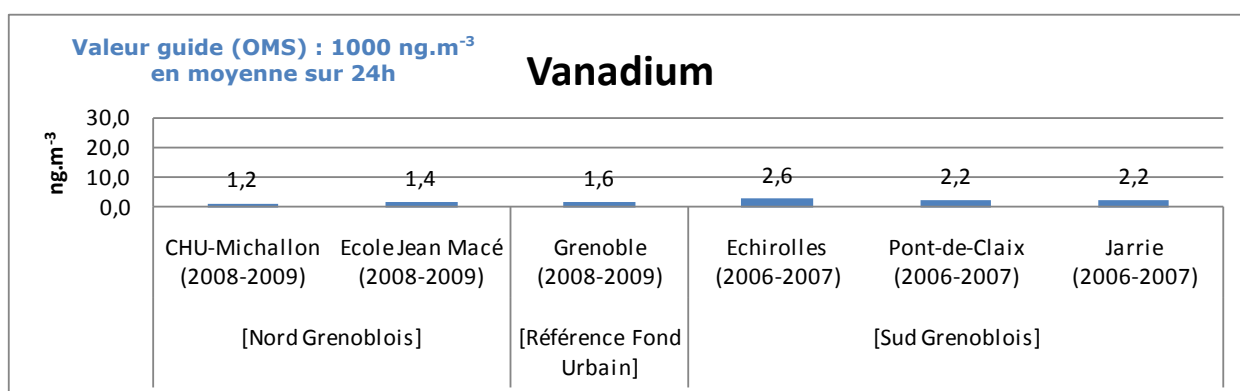


Figure 63 Concentration moyenne en Vanadium sur les sites de l'étude Nord Grenoblois et sur plusieurs sites de référence

Pour le Vanadium, les niveaux sont extrêmement faibles sur l'ensemble de l'agglomération grenobloise. Tous les prélèvements ont été très nettement inférieurs à la **valeur guide** de l'OMS (1000 ng.m⁻³ préconisée en moyenne sur 24h) (Figure 63).

Pour l'ensemble des **autres métaux lourds**, les niveaux sont du même ordre de grandeur que ceux mesurés en fond urbain (voir plus loin : étude des profils par famille de polluants et les Tableaux de résultats en annexe 3).

Concernant le **Chrome VI**, qui représente une infime fraction du Chrome total, il a été analysé sur tous les prélèvements, car c'est un composé dont la toxicité est reconnue. Il peut avoir diverses conséquences sur la santé, dont notamment l'apparition de cancers (contrairement au Chrome III, qui se retrouve dans plusieurs nutriments essentiels pour l'homme). En revanche, il n'existe pas encore de valeur réglementaire pour ce composé.

Afin d'avoir tout de même une comparaison avec le fond urbain, des prélèvements spécifiques ont été réalisés simultanément sur le site de référence de Grenoble Les Frênes (NB : l'analyse de ce composé présente des coûts d'analyse chimique élevés qui ne permettent pas de le mesurer en routine).

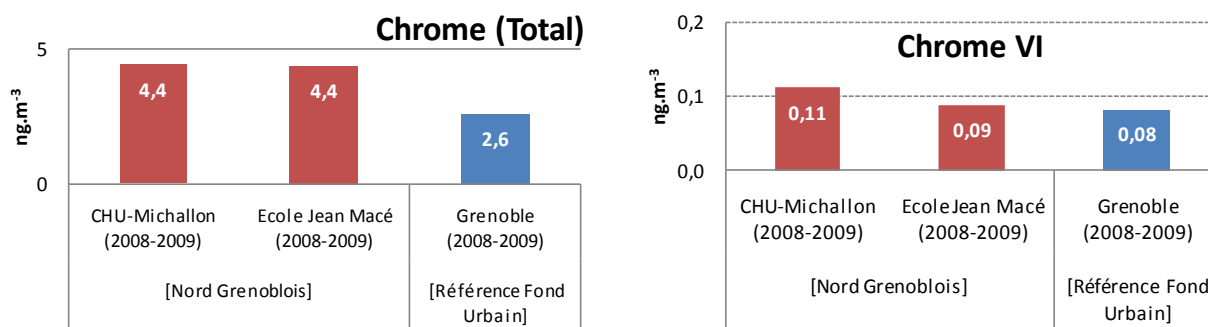


Figure 64 Concentration moyenne en chrome total (à gauche) et en chrome VI (à droite) sur les sites de l'étude Nord Grenoblois et sur le site de référence de Grenoble

Les niveaux en Chrome total sont environ deux fois plus élevés sur les deux sites de l'étude du « nord grenoblois » que sur le site de référence de Grenoble en fond urbain.

En revanche, les niveaux en Chrome VI sont relativement homogènes sur les 3 sites. A noter que les concentrations en Chrome VI sont extrêmement faibles (de l'ordre de 0,1 ng.m⁻³) et représente entre 2 et 5 % de la concentration totale en Chrome.

Les incertitudes sur cette mesure données par le laboratoire d'analyse varient selon les prélèvements entre 1% et 30%.

Pour comparaison, des mesures ont été réalisées dans le cadre d'une autre étude, menée par COPARLY¹ sur l'ouest lyonnais en 2007-2008, qui indiquent des niveaux moyens en proximité du trafic autoroutier de : 0,18 ng.m⁻³.

Enfin, d'un point de vue sanitaire, selon l'OMS, l'exposition à vie entière d'une population à une concentration de 0,25 ng.m⁻³ de Chrome VI conduit à un risque potentiel de provoquer une augmentation de 1 cancer pour 100 000 habitants. Pour comparaison, ce même risque potentiel est atteint avec une exposition à vie d'une population à une concentration de 6,6 ng.m⁻³ d'Arsenic ou de 25 ng.m⁻³ de Nickel.

❖ Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)

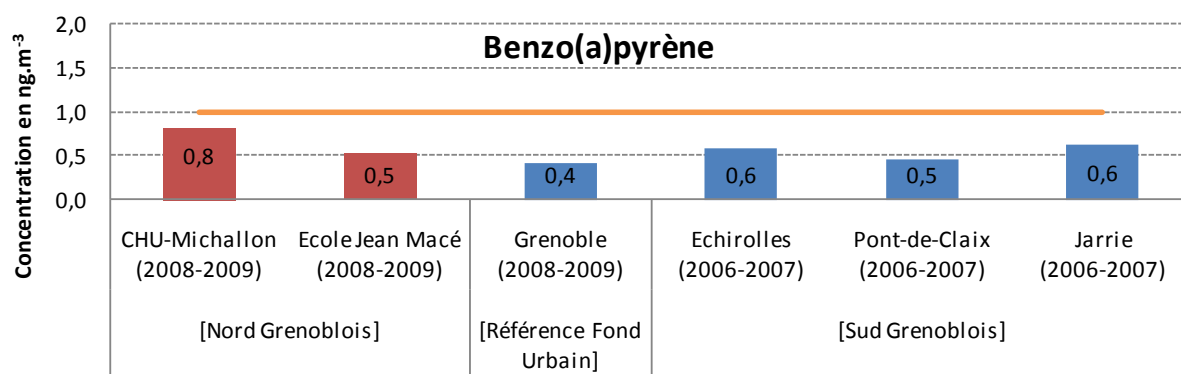


Figure 65 Concentration moyenne en Benzo[a]pyrène sur les sites de l'étude Nord Grenoblois et sur plusieurs sites de référence. Les concentrations sont exprimées en ng.m⁻³

Les moyennes de **Benzo(a)pyrène** sont conformes à la **valeur cible** de 1ng.m⁻³ à respecter en moyenne annuelle. Cette valeur a également été respectée sur le site de référence en fond urbain et sur tous les sites du « sud grenoblois » en 2006-2007.

La moyenne sur le site CHU-Michallon est deux fois plus élevée que sur le site Ecole Jean Macé et le site de fond urbain de Grenoble. Ceci peut s'expliquer par une ou deux valeurs

¹ COPARLY : Comité pour le Contrôle de la Pollution Atmosphérique sur le Rhône et la Région Lyonnaise ; Association Agréée de Surveillance de la Qualité de l'Air homologué à ASCOPARG.

plus élevées mesurées sur le site Chu-Michallon, sur des prélèvements réalisés durant les épisodes de pollution. Sur le site Jean Macé, les mesures n'ont pas pu être réalisées durant cette même période car les prélèvements ont connu des dysfonctionnements. Enfin, sur le site de Grenoble, la moyenne est plus basse car le nombre de prélèvements est plus important.

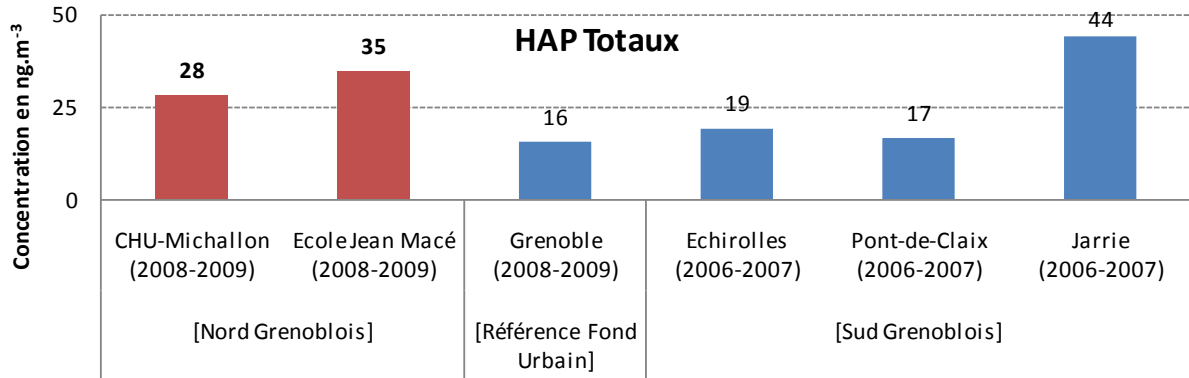


Figure 66 Concentration moyenne en HAP Totaux sur les sites de l'étude Nord Grenoblois et sur plusieurs sites de référence

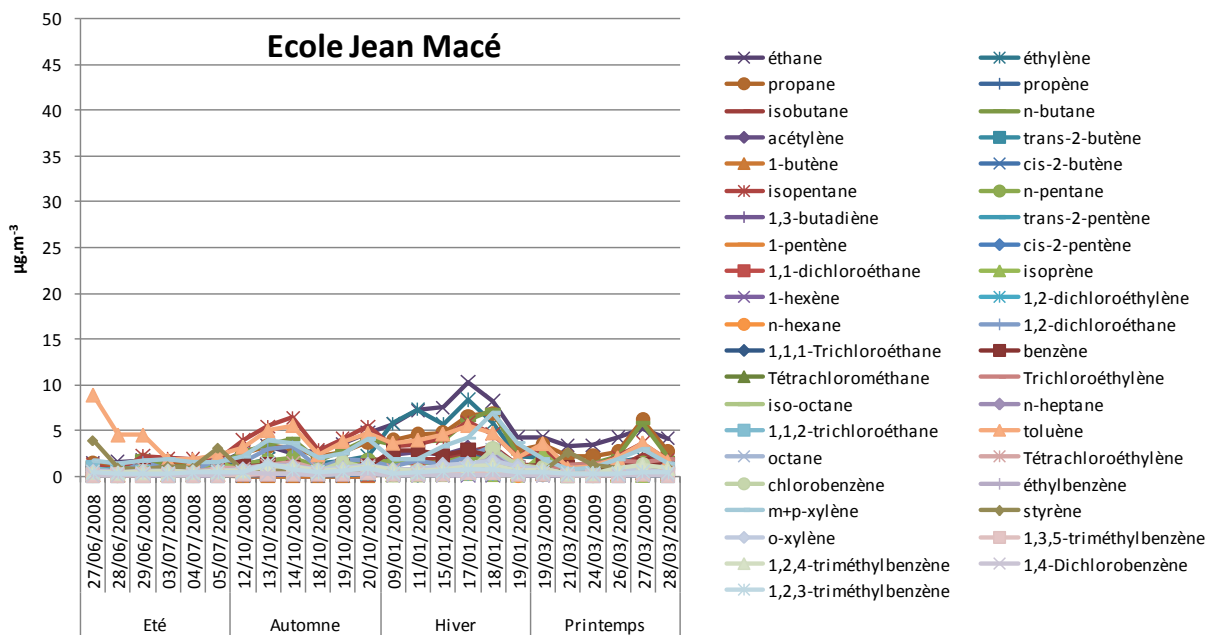
Pour les autres HAP, il n'existe pas de valeurs réglementaires. Les niveaux sur les deux sites du « nord grenoblois » sont globalement plus élevés que les niveaux de fond urbain et que ceux mesurés sur le « sud grenoblois » (à part la zone de Jarrie).

Ceci semble indiquer que les deux sites sondés pour cette étude sont influencés par la proximité de sources de chauffage (essentiellement en hiver) ou de trafic automobile. (voir aussi plus loin : étude des variations saisonnières et des profils).

2.5.4. Etude des variations saisonnières et des profils par famille de polluants

❖ Composés Organiques Volatils (COV)

Les graphes suivants présentent l'évolution des prélèvements de COV sur les deux sites de l'étude et sur le site de référence de Grenoble en fond urbain.



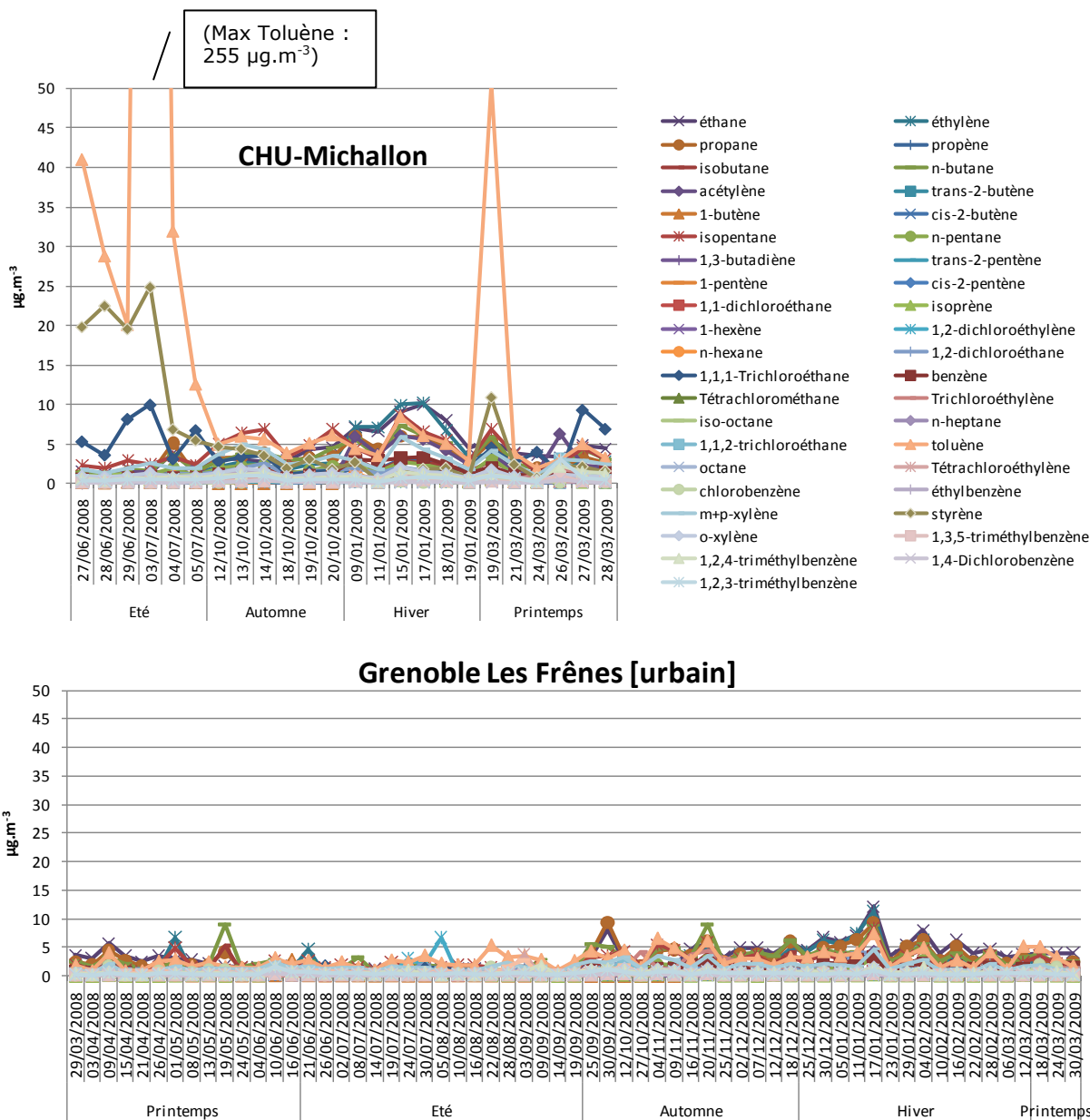


Figure 67 Concentrations journalières en HAP sur le site urbain de Grenoble les Frênes entre mars 2008 et avril 2009

Pour la période estivale, sur le site CHU-Michallon, parmi les 41 COV mesurés, seuls le **Styrène** (qui peut être contenu dans des liants d'enrobage) et le **1,1,1-Trichloroéthane** (qui est utilisé principalement comme solvant pour le dégraissage des métaux ou dans les peintures, colles,...) présentent des niveaux un peu plus élevés, observés en même temps que la hausse des niveaux en Toluène. Une ou deux valeurs élevées ont également été observés durant la dernière campagne de printemps pour ces mêmes composés, mais toujours sans corrélation avec aucun autre polluant.

Les graphes ci-dessus montrent également que, sur la période hivernale, les concentrations augmentent pour quelques COV pouvant être issus des émissions du trafic automobile ou de certaines chaufferies (éthylène, xylènes, éthane, iso-pentane,...). Cette hausse reste néanmoins très marginale par rapport aux concentrations de Toluène.

A noter que les concentrations de COV ne présentent pas de hausses particulièrement significatives pour les prélèvements réalisés entre les 10 et le 14 janvier, période durant laquelle ont été enregistrés les épisodes de pollution en NO₂ et en particules.

Sur le site de référence en fond urbain de Grenoble, aucun niveau significativement élevé n'a été observé sur l'ensemble de l'année couvrant les quatre campagnes de mesures. Les mesures de particules sur les sites CHU-Michallon et Ecole Jean Macé pour la période estivale montrent des pics pouvant être liées aux travaux à proximité des deux sites, mais plutôt sur la fin de la période et pas forcément les jours où les niveaux de Toluène ont été les plus élevés (graphe ci-dessous).

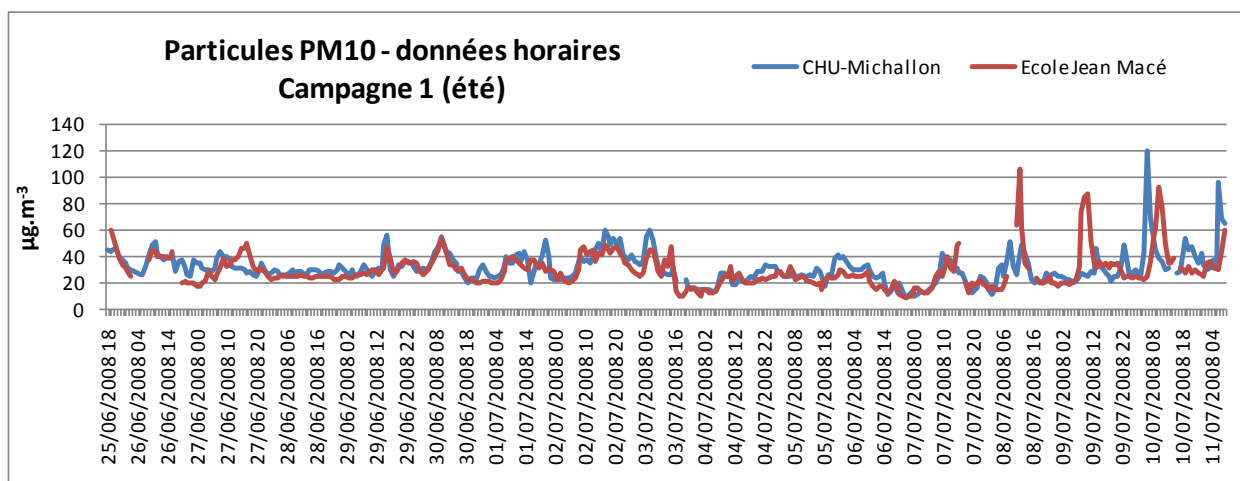


Figure 68 Concentrations horaires en particules (PM₁₀) pendant la campagne n°1 sur les sites du CHU Michallon et de l'école Jean Macé

Il est à noter que sur la zone du site CHU-Michallon, pendant quelques jours, les travaux ont été réalisés juste devant le site de mesure, ce qui peut expliquer que des niveaux semblables n'ont pas été mesurés sur le site de l'école Jean Macé.

Le graphe suivant compare les profils de COV mesurés entre le « nord grenoblois », le « sud grenoblois » et la référence urbaine de Grenoble située entre ces deux zones (Villeneuve – Ecole Les Frênes).

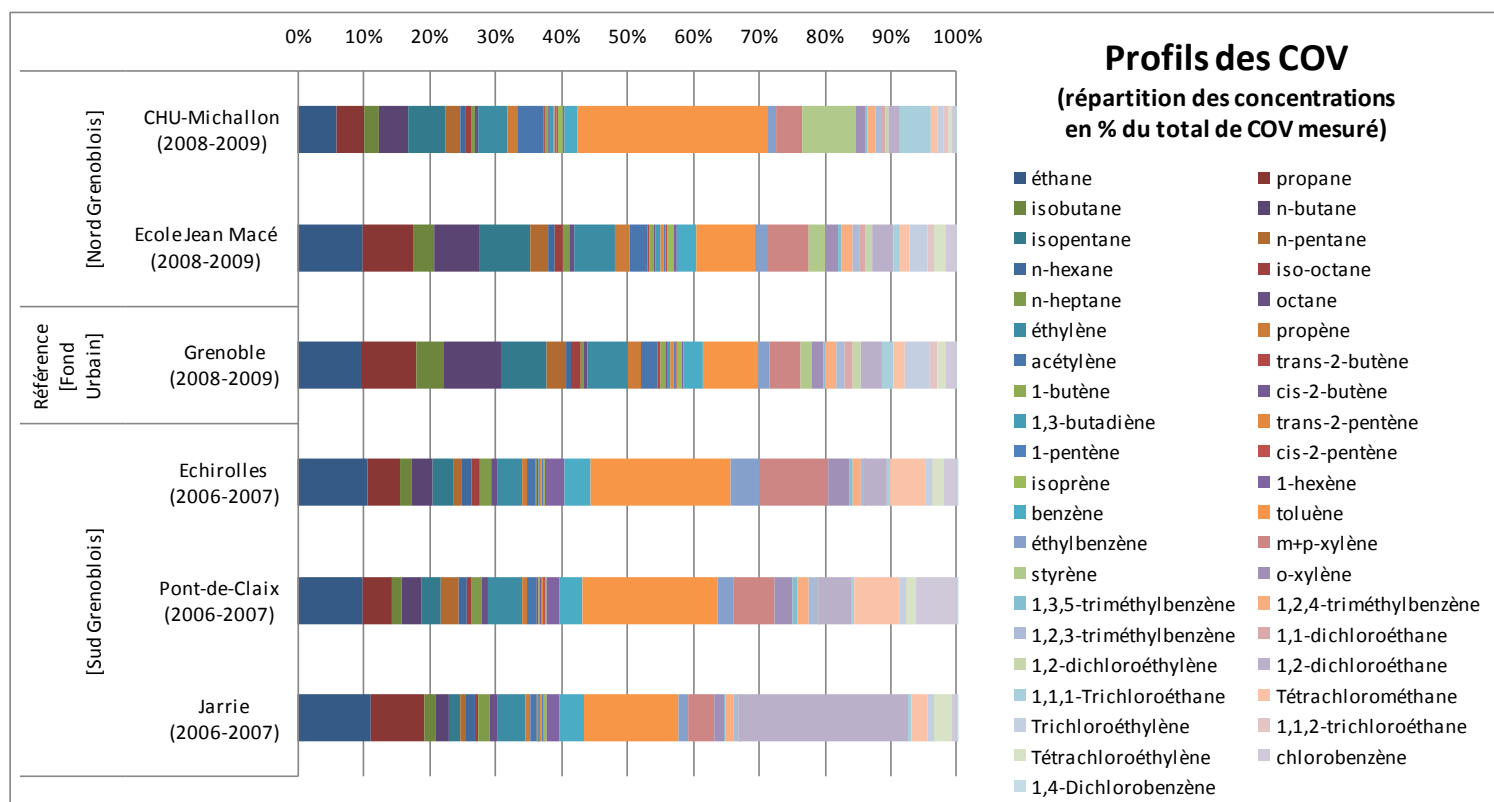


Figure 69 Profil des Composés Organiques Volatils (répartition des concentrations en % du total de COV mesuré)

Ce graphe montre une certaine homogénéité des profils de COV entre le « nord grenoblois » et le fond urbain d'une part, et le « sud grenoblois » d'autre part.

En effet, mises à part les différences de niveaux pour Toluène, le Styrène et le 1,1,1-Trichloroéthane sur le site CHU-Michallon dues à des travaux (cf. paragraphes précédents), les profils sont relativement comparables sur les deux sites du nord grenoblois et sur le site de Grenoble.

Ce profil diffère légèrement sur la zone du « sud grenoblois », avec une présence plus marquée pour le Toluène, les Xylènes et certains composés chlorés (1,2 Dichloroéthane, Tétrachlorométhane, Chlorobenzène,...). Pour les trois sites sondés, les profils semblent également relativement homogènes sur l'ensemble de la zone (malgré des différences pour certains composés sur Jarrie).

❖ Aldéhydes

Les graphes suivants présentent l'évolution des prélèvements d'Aldéhydes sur les deux sites de l'étude (NB : les mesures d'Aldéhydes sur le site de référence de Grenoble ne sont pas comparables car réalisés sur de prélèvements de 7 jours).

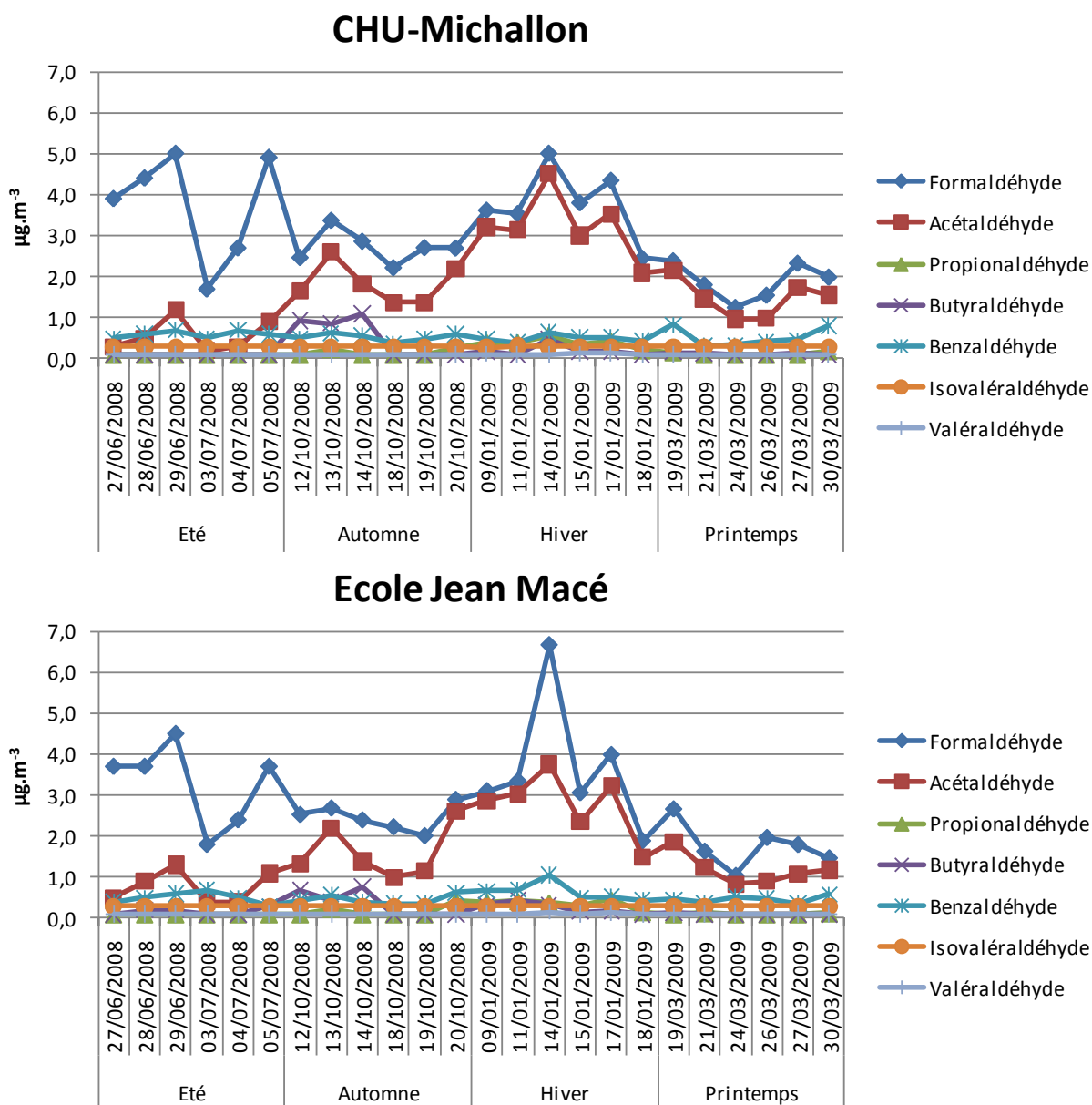


Figure 70 Concentrations en aldéhydes sur les sites de l'école Jean Macé (en bas) et du CHU Michallon (en haut) mesurées par prélèvements actifs de 8 heures

Pour le Formaldéhyde, l'évolution des concentrations ne montre pas de saisonnalité particulière. En revanche, pour l'Acétaldéhyde, les concentrations maximales sont observées plus particulièrement en hiver.

Les concentrations maximales ont été mesurées pour le prélèvement du 14 janvier, juste après un épisode de pollution en NO₂ et en particules.

Le profil des Aldéhydes (graphe suivant) montre également que le Formaldéhyde et l'Acétaldéhyde sont les deux principaux composés mesurés (environ 80% du total des Aldéhydes mesurés) et que les profils sont relativement homogènes sur l'ensemble de l'agglomération grenobloise (mise à part les fortes valeurs de Formaldéhyde sur Jarrie observées en 2006-2007).

A noter que le Benzaldéhyde est toujours inférieur à la limite de détection (env. 0,2 ng.m⁻³) sur le site de Grenoble (mesures par tubes passifs), alors qu'il est mesuré avec des valeurs non nulles (entre 0,5 ng.m⁻³ et 4 ng.m⁻³) sur les autres sites (mesures par prélèvements actifs).

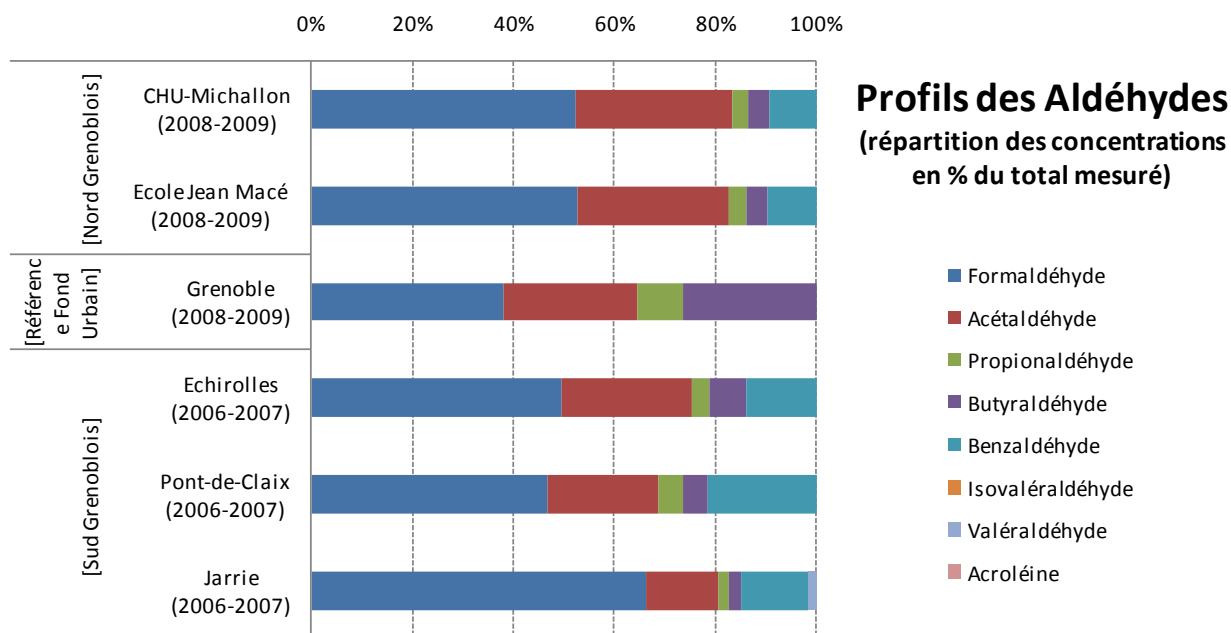
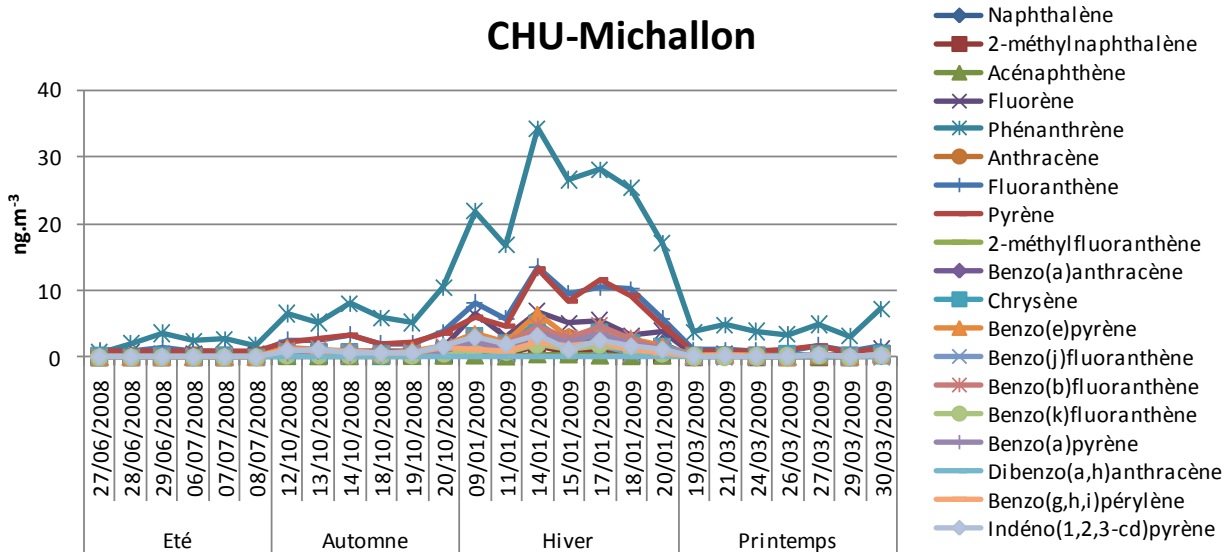


Figure 71 Profil des aldéhydes – répartition des concentrations en % du total mesuré

❖ Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)

Les graphes suivants présentent l'évolution des prélèvements de HAP sur les deux sites de l'étude (pour les quatre campagnes de mesures) ainsi que sur le site de référence sur Grenoble en fond urbain (entre avril 2008 et avril 2009) :



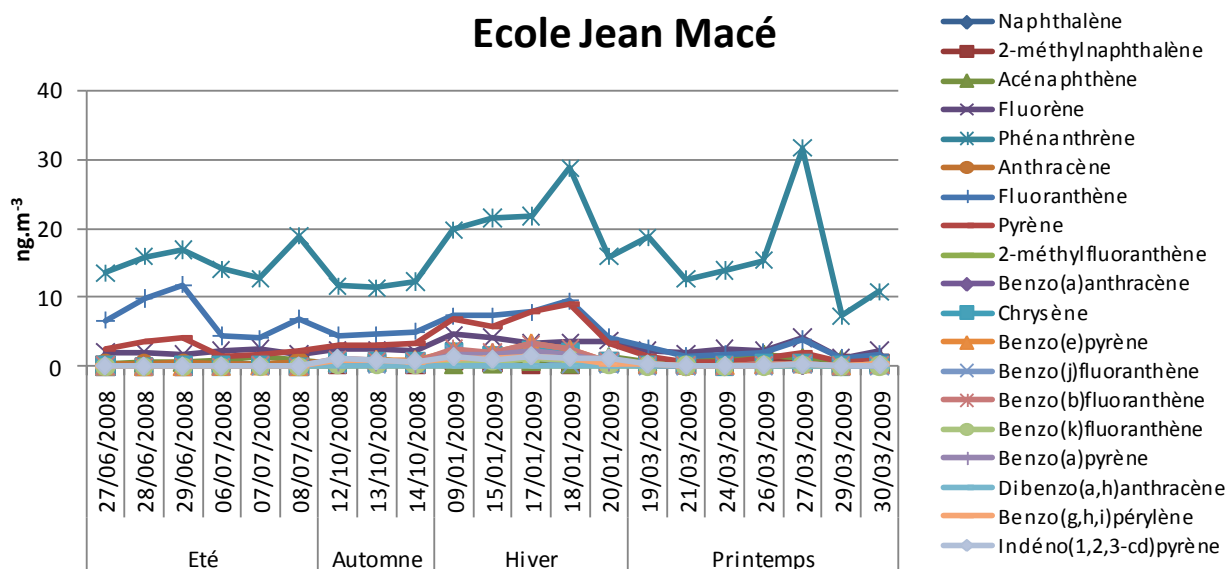


Figure 72 Concentrations en Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) sur les sites de l'école Jean Macé (en bas) et du CHU Michallon (en haut) mesurées par prélèvements de 24 heures

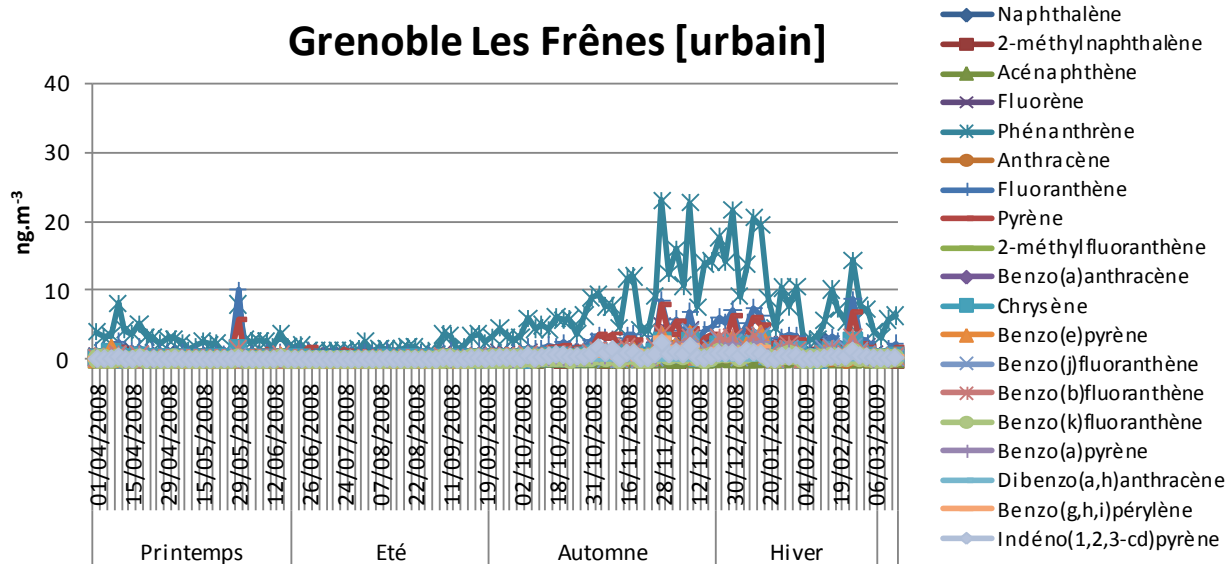


Figure 73 Concentrations en Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) sur le site urbain de fond de Grenoble les Frênes mesurées par prélèvements de 24 heures entre avril 2008 et mars 2009

Pour les sites CHU-Michallon et Grenoble fond urbain, les concentrations maximales pour tous les HAP sont observées plus particulièrement en hiver, avec des niveaux légèrement plus importants pour cette période sur le site CHU-Michallon.

Il faut rappeler que cette période hivernale a été marquée par des épisodes de pollution en NO_2 et en particules, notamment entre les 10 et le 14 janvier, où les concentrations sur le site CHU-Michallon sont justement les plus élevées.

L'origine des HAP qui se sont accumulés peut provenir des émissions du trafic automobile, à laquelle peut s'ajouter l'influence d'autres sources à proximité de ces deux sites de mesure (chauffage, incinérateurs,...).

Sur le site de l'Ecole Jean Macé, en revanche, les niveaux de HAP sont relativement constants, indépendamment de la saison, et globalement plus élevés que le fond urbain. Ceci peut être dû à l'influence de plusieurs sources : le trafic automobile relativement important autour de ce site (zone entre l'A48 et l'A480), les nombreux travaux de voiries réalisés non loin de ce site sur l'ensemble des campagnes de mesures, et une ou plusieurs autres sources non déterminées.

Le profil des HAP (graphe ci-après) confirme les niveaux relativement homogènes en HAP sur l'ensemble de l'agglomération grenobloise, à l'exception des deux sites : Jarrie et Ecole Jean Macé.

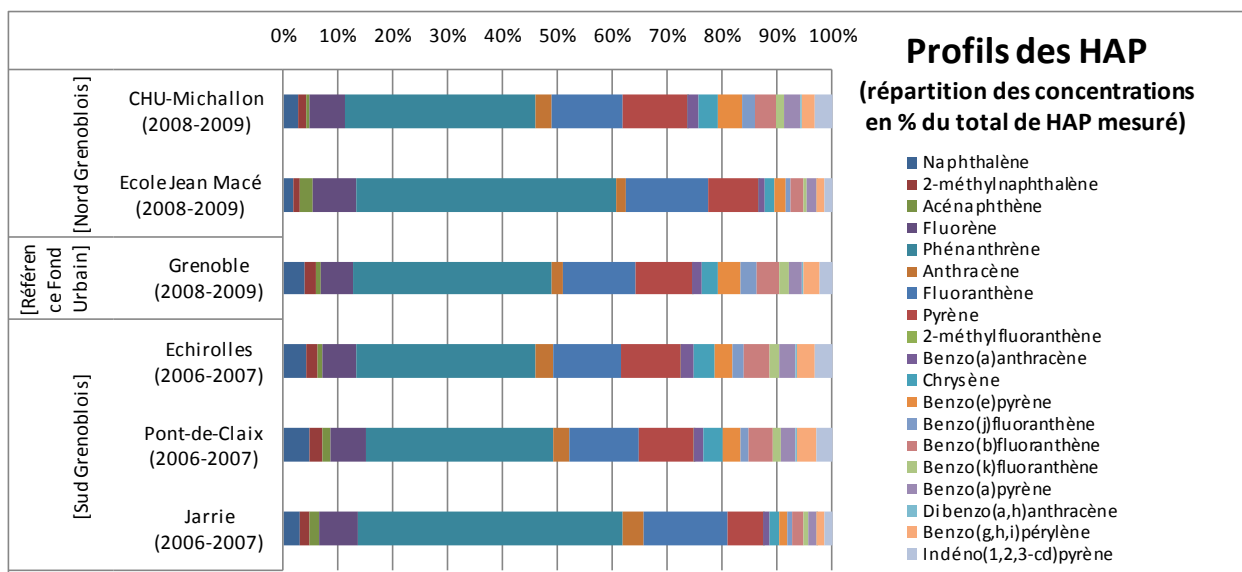
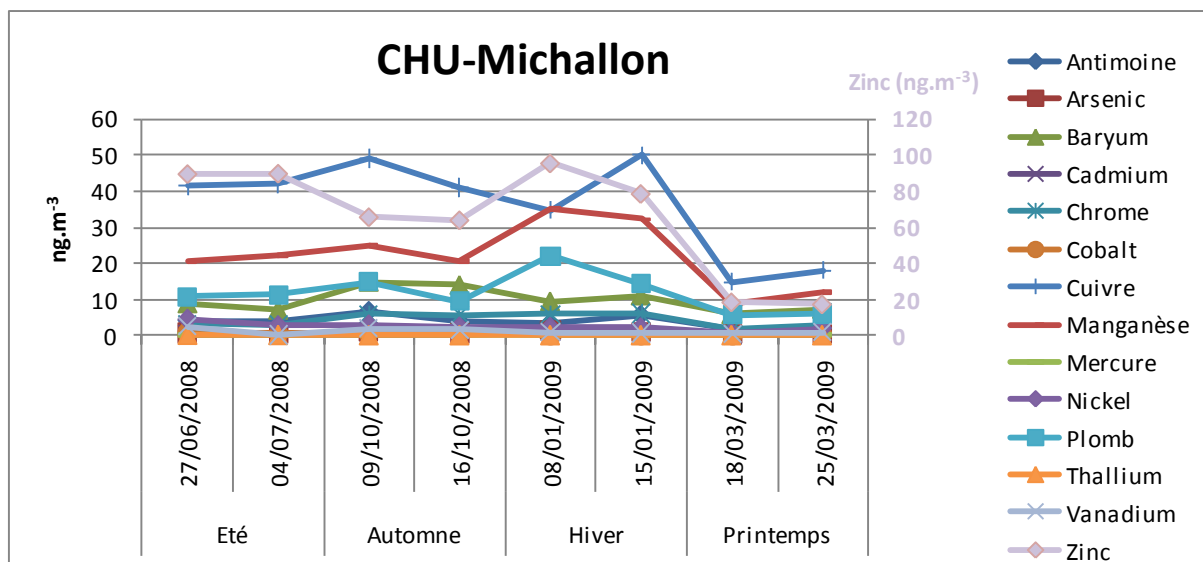


Figure 74 Profil des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques – Répartition des concentrations en % du total de HAP mesuré

❖ Métaux Lourds ou Eléments Traces Métalliques (ETM)

Les graphes suivants présentent l'évolution des prélèvements d'Eléments Traces Métalliques sur les deux sites de l'étude (pour les quatre campagnes de mesures) ainsi que sur le site de référence sur Grenoble en fond urbain (entre avril 2008 et avril 2009) :



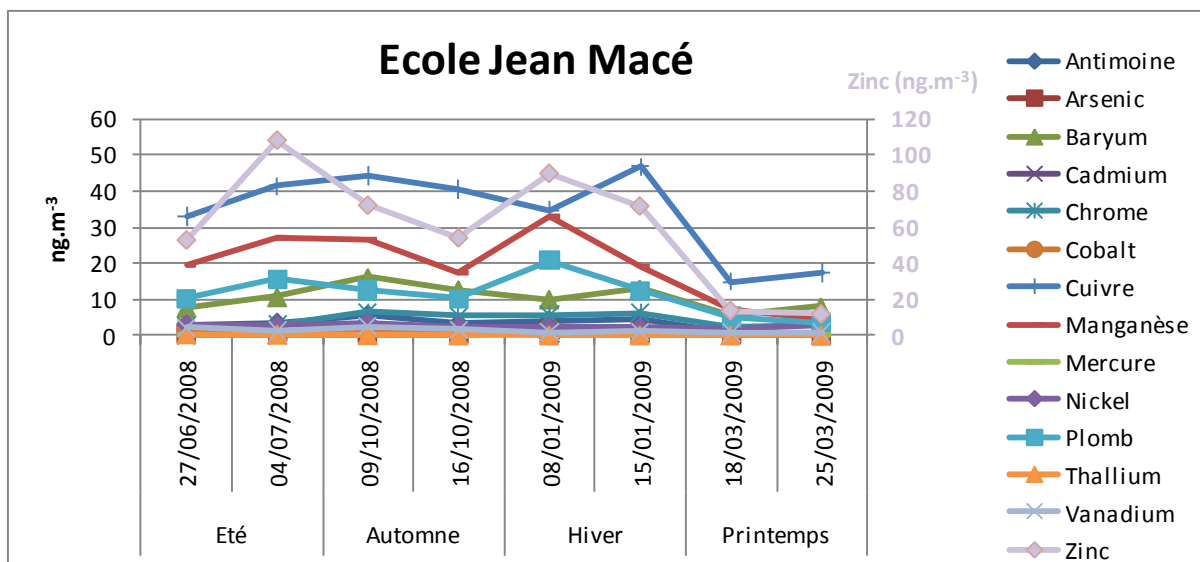


Figure 75 Concentrations en Eléments Métalliques Traces sur les sites du CHU Michallon (en haut) et de l'école Jean Macé (en bas)

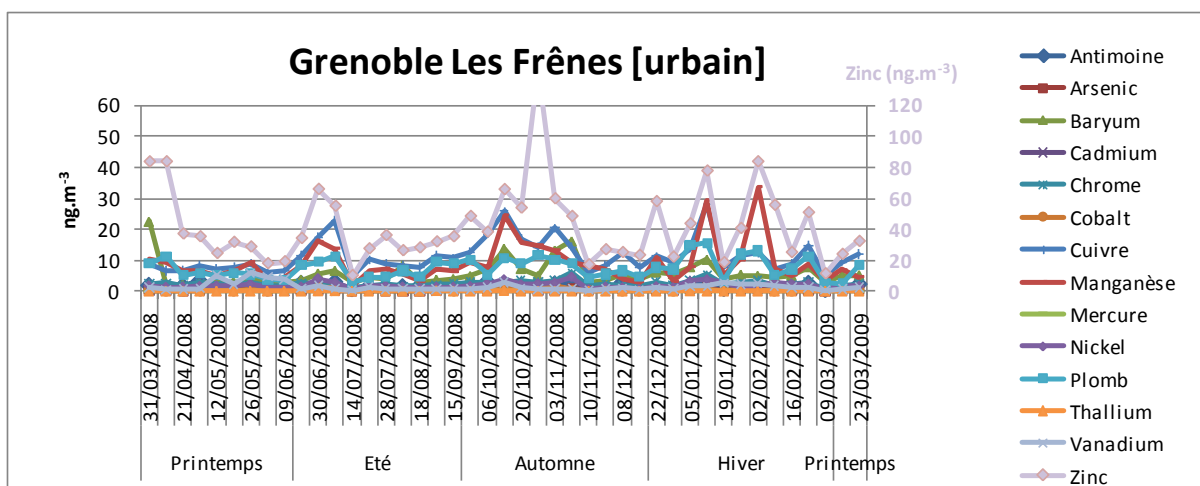


Figure 76 Concentrations en Eléments Traces Métalliques sur le site urbain de fond de Grenoble les Frênes mesurées par des prélèvements de 1 semaine entre avril 2008 et avril 2009

L'évolution des concentrations des Eléments Traces Métalliques, quel que soit le composé, ne montre pas de franches différences en fonction des saisons, ni sur les deux sites du « nord grenoblois », ni sur le site de référence de Grenoble en fond urbain avec des prélèvements continus.

A noter que les prélèvements réalisés du 8 au 15 janvier, durant la semaine où ont été observés des épisodes de pollution en NO₂ et en particules, ne montrent pas de valeurs particulièrement plus élevées que les autres semaines.

Les profils pour les 14 Eléments Traces Métalliques mesurés sur les trois sites (sans le Chrome VI) sont assez semblables avec, sur le site de Grenoble, une proportion légèrement plus importante en zinc et légèrement plus faible en Cuivre (cf. graphe suivant).

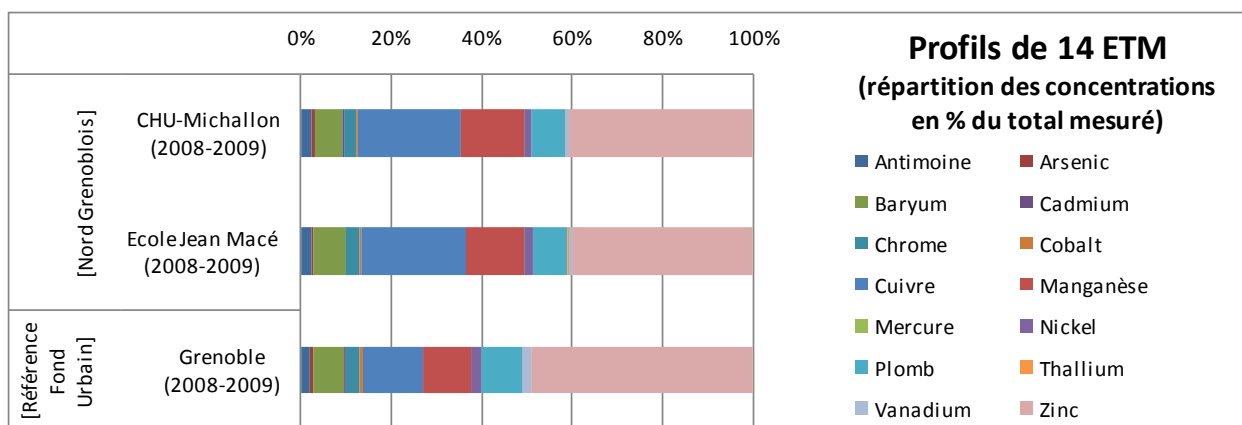


Figure 77 Profils des 14 Eléments Traces Métalliques – Répartition des concentrations en % du total mesuré

La comparaison des profils avec le « sud grenoblois » n'est possible que sur 6 métaux mesurés en 2006-2007 :

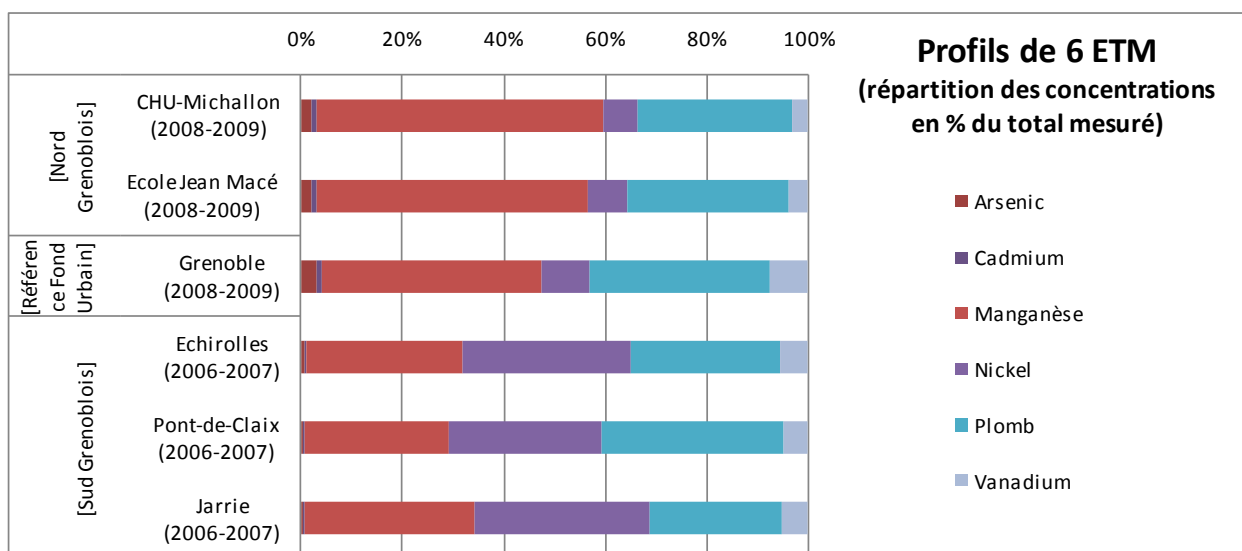


Figure 78 Profil des 6 Eléments Traces Métalliques – Répartition des concentrations en % du total mesuré

Ce graphe (Figure 78) montre une réelle différence entre les deux zones : « nord grenoblois » et fond urbain de Grenoble (Villeneuve –Les Frênes) d'une part et « sud grenoblois » d'autre part.

Sur la première zone, la proportion de Manganèse est plus élevée (avec une probable influence du trafic automobile) alors que sur la zone du « sud grenoblois », le Nickel est mesuré en plus forte proportion (avec une probable influence industrielle).

En résumé pour les prélèvements COV, Aldéhydes, HAP et Métaux Lourds

Pour les 13 composés parmi les 83 polluants analysés qui possèdent des valeurs de références, les niveaux mesurés sont tous conformes aux seuils préconisés (valeurs limites, valeurs cibles, objectifs de qualité ou valeur guides en air ambiant ou air intérieur).

Les quelques prélèvements réalisées durant les épisodes de pollution au NO₂ et en particules n'ont pas montré de hausses réellement significatives de concentrations pour la plupart des polluants analysés, excepté peut-être pour les HAP.

Pour l'ensemble des polluants mesurés, à part pour quelques composés, les niveaux enregistrés sur les deux sites du « nord grenoblois » ont été globalement comparables aux niveaux de fond urbain mesurés sur Grenoble. En revanche, les profils mesurés sont légèrement différents de ceux mesurés sur le « sud grenoblois » en 2006-2007.

L'analyse des différentes familles de polluants montre que la zone du « nord grenoblois » est influencée par le trafic automobile et le secteur résidentiel/tertiaire (chauffage résidentiel au bois,...), alors que la zone du « sud grenoblois » présente un profil plus industriel.

A noter que l'extrapolation des résultats à l'ensemble d'une zone, avec seulement quelques sites de mesures, reste limitée compte tenu de la diversité des sources pour ces polluants, du nombre restreint de prélèvements et de l'importance et la complexité du territoire. D'autant plus que les mesures sur les deux sites de cette étude (CHU-Michallon et Ecole Jean Macé) ont été perturbées par des séries de travaux à proximité des sites de prélèvements.

CONCLUSION

Entre 2008 et 2009, ASCOPARG a entrepris de réaliser un bilan complet de la qualité de l'air dans le nord de l'agglomération de Grenoble à l'aide de 2 laboratoires mobiles, 58 sites équipés de capteurs légers, et 2 sites de mesures météorologiques.

Au regard de la qualité de l'air connue sur le reste de l'agglomération au travers du réseau de stations fixes de mesures, et compte tenu des résultats obtenus lors de précédentes études (mesures et modèle de qualité de l'air fine échelle « SIRANE »), les concentrations moyennes de polluants atmosphériques sur le nord de l'agglomération sont globalement proches de celles observées sur les stations urbaines de référence (Grenoble Les Frênes, Fontaine, Saint-Martin d'Hères).

L'influence du trafic routier est cependant bien présente et peut engendrer à proximité des axes des dépassements de valeurs réglementaires pour le dioxyde d'azote. Les concentrations les plus faibles ont été effectivement mesurées sur des sites éloignées des grandes voies (hauteurs de St-Martin le Vinoux, La Bastille, Corenc ...). Les concentrations de benzène respectent tous sites confondus les valeurs réglementaires, à l'inverse de données connues dans le sud de l'agglomération où l'influence industrielle est plus marquée.

Les deux dispositifs mobiles localisés sur le CHU-Michallon et l'Ecole Jean-Macé ont montré des mesures sous l'influence du trafic automobile ou de travaux ; le trafic routier est le deuxième émetteur de particules après le secteur industriel dans l'agglomération. Sur ces deux sites, l'objectif de qualité pour les particules en suspension n'est pas respecté ; ce résultat peut être extrapolé à l'ensemble du domaine d'étude en raison de l'homogénéité connue des concentrations de particules avec une surexposition des populations en proximité automobile.

Lors de la campagne hivernale de janvier 2009, la zone d'étude comme le reste de l'agglomération et de la région, a enregistré un épisode important de pollution par les particules. L'analyse de la composition chimique des particules a montré qu'au fil de l'épisode, la part de la combustion de biomasse (chauffage au bois) dans la fraction organique particulaire, prenait de l'ampleur jusqu'à représenter 60%. D'autres composés spécifiques ont confirmé cette observation (HAP, lévoglucosan).

Les niveaux de composés organiques volatils (COV), de métaux lourds, d'aldéhydes sont conformes à la réglementation et proches de la référence urbaine grenobloise. Les profils de ces composés montrent davantage une influence « trafic » ou résidentielle, qu'une influence industrielle.

L'ensemble de ces résultats recueillis sur la zone du nord grenoblois permet une amélioration des connaissances précieuse sur la qualité de l'air, la chimie des particules et la météorologie. Ces données sont indispensables pour alimenter et développer les outils de modélisation et de prospective, et constituent une base de résultats disponibles pour les différents projets d'infrastructure ou d'urbanisme sur ce secteur de l'agglomération.

Annexe 1 : Définitions et valeurs réglementaires

Unités, statistiques employées

2.5.5. 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.

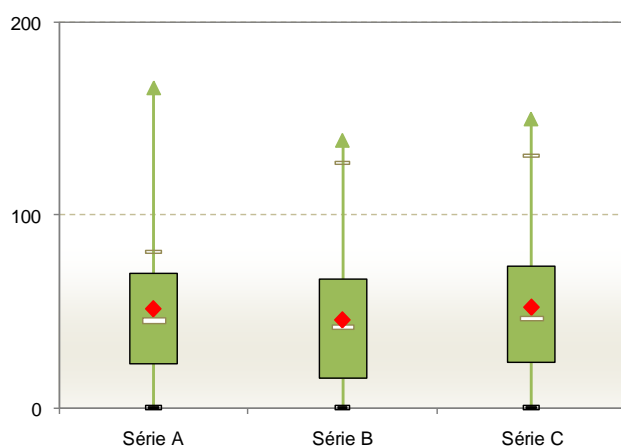
- **Moyenne horaire** = moyenne arithmétique des valeurs quart-horaires mesurées par l'analyseur (Une moyenne horaire est valide si au moins 3 valeurs quart-horaires qui la composent le sont).
 - **Moyenne journalière** = moyenne arithmétique des valeurs horaires de 0 à 23 heures (Une moyenne journalière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

2.5.6. 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

Figure 79 Représentation statistique des séries de données

Valeurs réglementaires

2.5.7. Définition des valeurs réglementaires

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

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

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

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

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

2.5.8. 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

Tableau 11 Principales valeurs réglementaires concernant le dioxyde d'azote (NO₂)

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

C'est la deuxième **valeur limite pour la protection de la santé humaine** (46 $\mu\text{g.m}^{-3}$ en moyenne annuelle) et **l'objectif de qualité** (40 $\mu\text{g.m}^{-3}$ en moyenne annuelle) qui ne sont pas respectés sur le site de Valence Trafic en 2007.

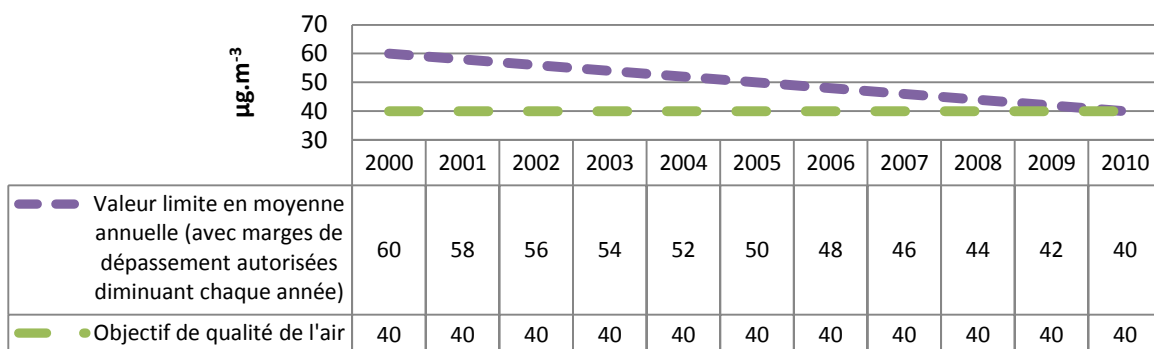


Tableau 12 Evolution des valeurs réglementaires concernant le dioxyde d'azote entre 2000 et 2010

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 NOx).

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

2.5.9. 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 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$	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
Objectif de qualité	30	Moyenne annuelle

Tableau 13 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 2 : Localisation des sites de mesures

Dans le tableau suivant, les coordonnées des sites sont données en UTM31 WGS84. Le tableau distingue 3 typologies de sites :

- Les sites « **fond urbain** », ces sites ont été installés en situation de fond afin de caractériser les niveaux de fond sur un large secteur (un quartier, une commune).
- Les sites « **prox auto** », ces sites ont été installés en proximité immédiate d'axe de circulation. Ils permettent de caractériser la qualité de l'air à l'échelle d'une rue. Ces sites caractérisent donc des rues très différentes (trafic allant de quelques véhicules par jour à 20000 véhicules par jour).
- Les sites **Prox auto > 20000 veh/jour** qui sont des sites installés en proximité d'axes automobile dont le trafic moyen journalier annuel est estimé à plus de 20000 véhicules (résultats issus de la modélisation du trafic automobile dans l'agglomération de Grenoble).

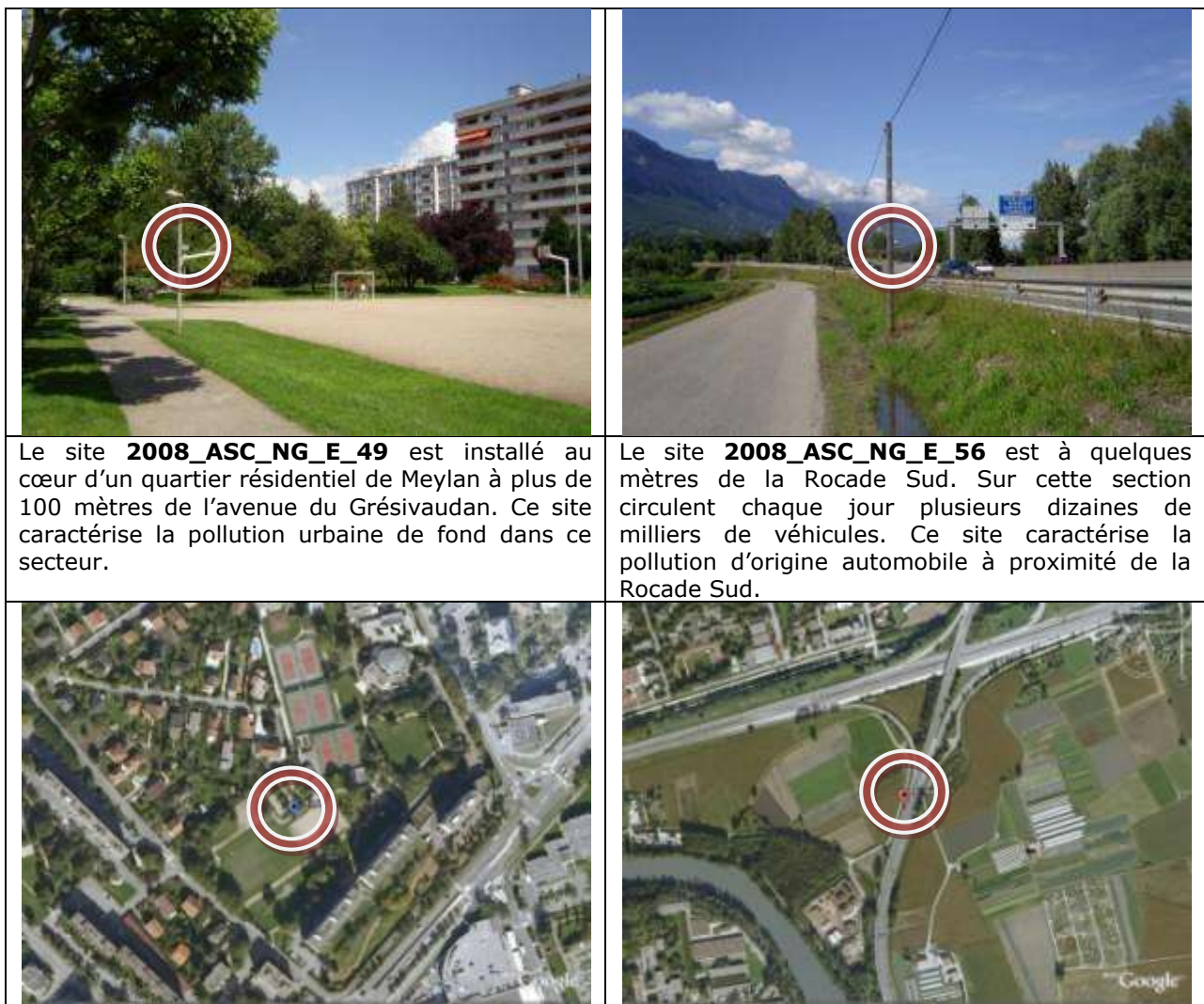


Figure 80 Exemple de localisation de deux sites de mesures

Le site 2008_ASC_NG_E_57MOB correspond au site de l'hôpital Michallon et le site 2008_ASC_NG_O_03MOB correspond au site de l'école Jean Macé.

Site	X (UTM31)	Y (UTM31)	Typologie	Moyenne corrigée en NO ₂	Moyenne corrigée en Benzène
2008_ASC_NG_E_31	715237	5008550	Prox auto	36	
2008_ASC_NG_E_32	715333	5007970	Prox auto	45	
2008_ASC_NG_E_33	715509	5007514	Fond urbain	40	1,1
2008_ASC_NG_E_34	715621	5008439	Fond urbain	33	1,1
2008_ASC_NG_E_35	715648	5008511	Fond urbain	35	1,1
2008_ASC_NG_E_36	715865	5008473	Prox auto	51	
2008_ASC_NG_E_37	715809	5008343	Prox auto	41	
2008_ASC_NG_E_38	715231	5009024	Prox auto	32	1,1
2008_ASC_NG_E_39	715490	5007791	Prox auto > 20000 veh/jour	56	1,3
2008_ASC_NG_E_40	715770	5008856	Prox auto	37	
2008_ASC_NG_E_41	716045	5008927	Fond urbain	32	
2008_ASC_NG_E_42	716438	5009258	Prox auto	34	1,2
2008_ASC_NG_E_43	716634	5008998	Prox auto > 20000 veh/jour	49	1,6
2008_ASC_NG_E_44	716227	5009731	Fond urbain	27	1,0
2008_ASC_NG_E_45	716380	5009742	Prox auto	50	
2008_ASC_NG_E_46	716352	5008308	Fond urbain	33	
2008_ASC_NG_E_47	716455	5008442	Fond urbain	33	
2008_ASC_NG_E_48	716511	5008278	Fond urbain	32	1,4
2008_ASC_NG_E_49	716914	5009482	Fond urbain	34	1,1
2008_ASC_NG_E_50	716975	5009059	Prox auto > 20000 veh/jour	64	1,6
2008_ASC_NG_E_51	717152	5008605	Prox auto	29	1,1
2008_ASC_NG_E_52	717752	5010123	Prox auto	36	
2008_ASC_NG_E_53	717790	5009726	Fond urbain	32	
2008_ASC_NG_E_54	717862	5009537	Fond urbain	33	
2008_ASC_NG_E_55	717856	5009268	Prox auto > 20000 veh/jour	64	
2008_ASC_NG_E_56	718437	5009097	Prox auto > 20000 veh/jour	78	
2008_ASC_NG_E_57MOB	715431	5008843	Prox auto	37	1,3
2008_ASC_NG_E_58	715874	5008675	Prox auto	44	1,5
2008_ASC_NG_O_01	712049	5008613	Prox auto > 20000 veh/jour	58	1,1
2008_ASC_NG_O_02	712095	5008744	Fond urbain	40	
2008_ASC_NG_O_03MOB	712932	5008731	Fond urbain	40	1,2
2008_ASC_NG_O_04	712761	5008631	Prox auto	50	1,5
2008_ASC_NG_O_05	712952	5008619	Prox auto	61	1,2
2008_ASC_NG_O_06	712737	5008476	Prox auto	55	1,3
2008_ASC_NG_O_07	712995	5008500	Prox auto	40	
2008_ASC_NG_O_08	712947	5008413	Prox auto	57	1,4
2008_ASC_NG_O_09	713205	5008271	Prox auto	53	
2008_ASC_NG_O_10	713158	5008232	Prox auto	51	1,4
2008_ASC_NG_O_11	712864	5008081	Prox auto	46	1,3
2008_ASC_NG_O_12	712924	5008049	Prox auto	40	

2008_ASC_NG_O_13	713350	5008341	Prox auto > 20000 veh/jour	49	1,3
2008_ASC_NG_O_14	713464	5008316	Prox auto	39	
2008_ASC_NG_O_15	713564	5008350	Prox auto	44	
2008_ASC_NG_O_16	713627	5008396	Prox auto	48	1,1
2008_ASC_NG_O_17	713468	5008682	Prox auto	36	1,4
2008_ASC_NG_O_18	713597	5008746	Prox auto	30	1,0
2008_ASC_NG_O_19	713388	5008766	Prox auto	37	1,1
2008_ASC_NG_O_20	713450	5008779	Prox auto	37	1,2
2008_ASC_NG_O_21	713425	5008853	Prox auto	46	1,7
2008_ASC_NG_O_22	713472	5008845	Prox auto	31	
2008_ASC_NG_O_23	713528	5008839	Prox auto	27	
2008_ASC_NG_O_24	713508	5009049	Prox auto	30	
2008_ASC_NG_O_25	713379	5009073	Prox auto	27	1,1
2008_ASC_NG_O_26	713171	5009234	Prox auto	33	
2008_ASC_NG_O_27	714164	5007937	Fond urbain	38	1,2
2008_ASC_NG_O_28	714141	5008125	Prox auto	51	
2008_ASC_NG_O_29	714004	5008736	Fond urbain	22	0,7
2008_ASC_NG_O_30	714734	5008484	Prox auto	60	

Tableau 14 Localisation et typologie des sites de mesures

Annexe 3 : Résultats des mesures

Cette annexe présente les statistiques descriptives des mesures de polluants effectuées par analyseur sur les deux sites d'étude (CHU Michallon, école Jean Macé) et sur les stations fixe de référence, ainsi que les résultats pour l'ensemble des prélèvements réalisés.

Résultats des mesures d'oxydes d'azote (NOx)

2.5.10. Monoxyde d'azote (NO)

Le graphique suivant (Figure 81) présente les concentrations moyennes en monoxyde d'azote pendant les 8 semaines de mesures.

La partie inférieure (en rose clair) correspond au niveau moyen de fond mesuré ($10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ en moyenne sur les 3 stations urbaines de fond).

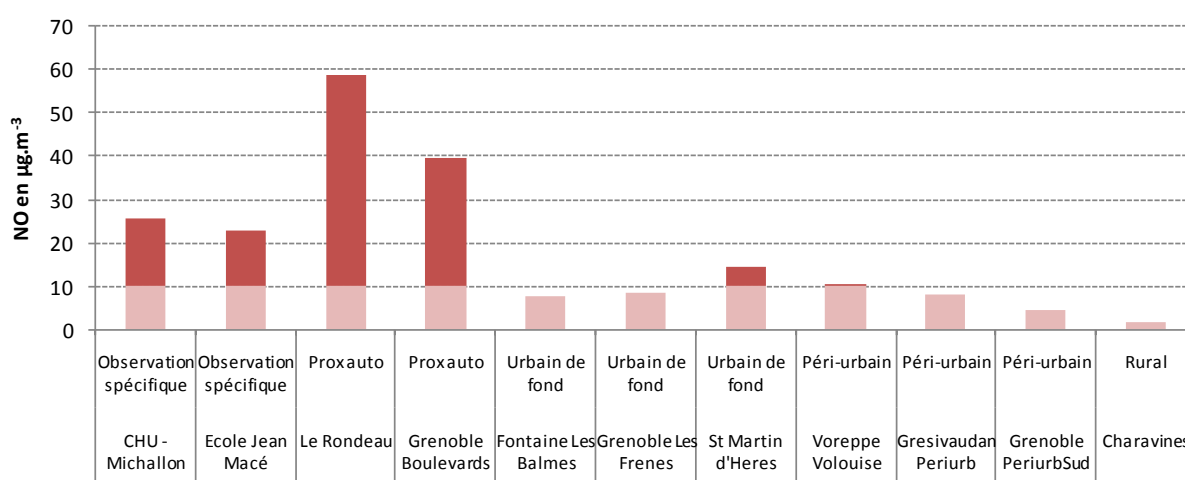


Figure 81 Concentrations moyennes en monoxyde d'azote (NO) mesurées pendant les 8 semaines de mesures

Les tableaux suivants résument les statistiques des mesures de monoxyde d'azote (NO) effectuées lors des 4 campagnes de mesures.

Site	CHU - Michallon	Ecole Jean Macé	Le Rondeau	Grenoble Boulevards	Fontaine Les Balmes	Grenoble Les Frenes	St Martin d'Hères
Typologie	Observation spécifique	Observation spécifique	Prox auto	Prox auto	Urbain de fond	Urbain de fond	Urbain de fond
% de validité	100%	100%	88%	99%	98%	96%	95%
Moyenne	26	23	59	39	8	8	14
Minimum	0	0	0	0	0	0	0
Maximum	377	326	559	417	210	282	524
P99	217	186	244	203	81	95	135
P98	161	148	215	172	64	72	103
P95	108	101	172	132	39	43	70
P75	32	28	85	55	7	7	14
P50	8	7	41	24	1	1	3
P25	2	1	16	7	0	0	0

Site	CHU - Michallon	Ecole Jean Macé	Voreppe Volouise	Gresivaudan Periurb	Grenoble PeriurbSud	Charavines
Typologie	Observation spécifique	Observation spécifique	Péri-urbain	Péri-urbain	Péri-urbain	Rural
% de validité	100%	100%	99%	94%	97%	99%
Moyenne	26	23	10	8	4	2
Minimum	0	0	0	0	0	0
Maximum	377	326	193	279	190	159
P99	217	186	85	86	48	16
P98	161	148	70	64	36	10
P95	108	101	48	39	23	6
P75	32	28	10	7	4	2
P50	8	7	3	1	1	1
P25	2	1	1	0	0	0

Tableau 15 Statistiques des mesures horaires de monoxyde d'azote (NO) pendant les 8 semaines de mesures

2.5.11. Dioxyde d'azote (NO₂)

Le graphique suivant (Figure 82) présente les concentrations moyennes de dioxyde d'azote pendant les 8 semaines de mesures.

La partie inférieure (en rose clair) correspond au niveau de fond de l'agglomération de Grenoble (25 µg.m⁻³ en moyenne pour les trois stations urbaines de fond pendant les 8 semaines de mesures).

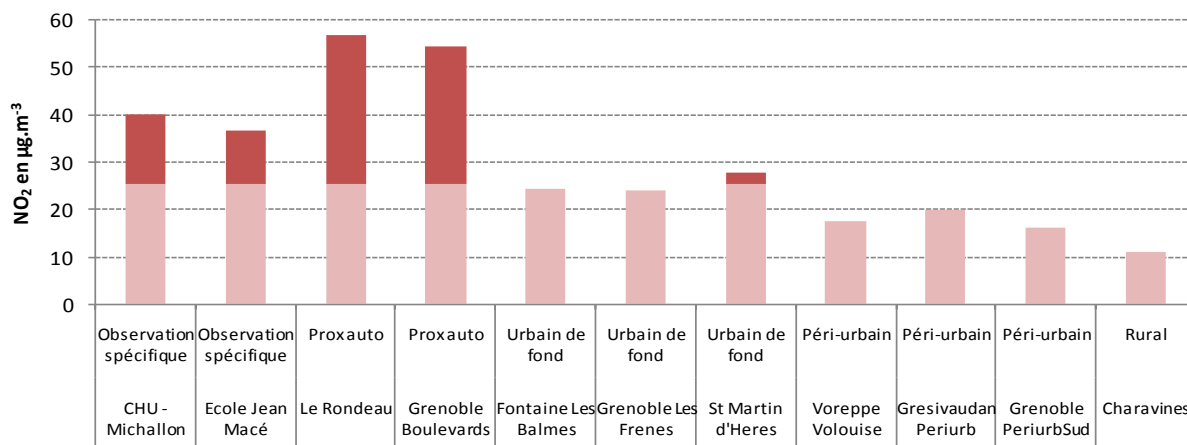


Figure 82 Concentrations moyennes en dioxyde d'azote (NO₂) pendant les 8 semaines de mesures

Comme pour le monoxyde d'azote (NO), les niveaux en dioxyde d'azote mesurés sur les sites du CHU Michallon et de l'école Jean Macé sont supérieurs au niveau de fond de l'agglomération de Grenoble (25 µg.m⁻³).

Les principales statistiques des mesures de NO₂ sont reprises dans la figure suivante. L'ensemble des statistiques descriptives des mesures de NO₂ sont disponibles dans l'annexe 2.

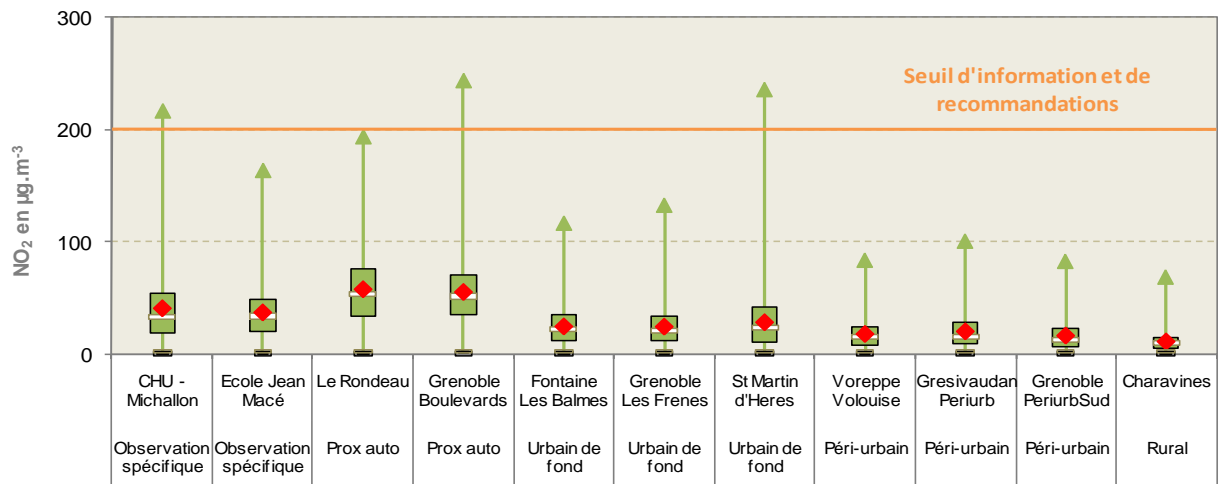


Figure 83 Statistiques horaires des mesures de NO₂ pendant les 8 semaines de mesures
(Cf. annexe 1 pour une aide à la lecture de ce graphique)

Les tableaux suivants résument les statistiques des mesures de dioxyde d'azote (NO₂) effectuées lors des 4 campagnes de mesures.

Site	CHU - Michallon	Ecole Jean Macé	Le Rondeau	Grenoble Boulevards	Fontaine Les Balmes	Grenoble Les Frenes	St Martin d'Hères
Typologie	Observation spécifique	Observation spécifique	Prox auto	Prox auto	Urbain de fond	Urbain de fond	Urbain de fond
% de validité	100%	100%	88%	99%	98%	96%	94%
Moyenne	40	37	57	55	24	24	28
Minimum	0	0	0	1	0	0	0
Maximum	216	163	193	243	116	132	235
P99	144	108	134	129	72	73	98
P98	121	92	124	120	66	66	84
P95	96	78	111	103	56	56	67
P75	54	49	76	70	35	34	41
P50	32	33	53	51	21	20	23
P25	19	20	34	35	11	11	10

Site	CHU - Michallon	Ecole Jean Macé	Voreppe Volouise	Gresivaudan Periurb	Grenoble PeriurbSud	Charavines
Typologie	Observation spécifique	Observation spécifique	Péri-urbain	Péri-urbain	Péri-urbain	Rural
% de validité	100%	100%	99%	94%	97%	99%
Moyenne	40	37	18	20	16	11
Minimum	0	0	0	0	0	0
Maximum	216	163	83	100	82	68
P99	144	108	54	62	55	43
P98	121	92	49	56	51	37
P95	96	78	41	48	42	28
P75	54	49	24	28	23	14
P50	32	33	15	15	12	9
P25	19	20	8	9	6	5

Tableau 16 Statistiques des données horaires de NO₂ pendant les 8 semaines de mesures

Résultats des mesures de poussières en suspension (PM₁₀ et PM_{2.5})

2.5.12. Particules de taille inférieure à 10 microns (PM₁₀)

Le graphique suivant (Figure 84) illustre les concentrations moyennes de PM₁₀ pendant les 8 semaines de mesures.

La partie inférieure (en rose clair) correspond au niveau moyen de fond l'agglomération de Grenoble (39 µg.m⁻³ pendant les 8 semaines de mesures sur les 3 stations urbaines de fond).

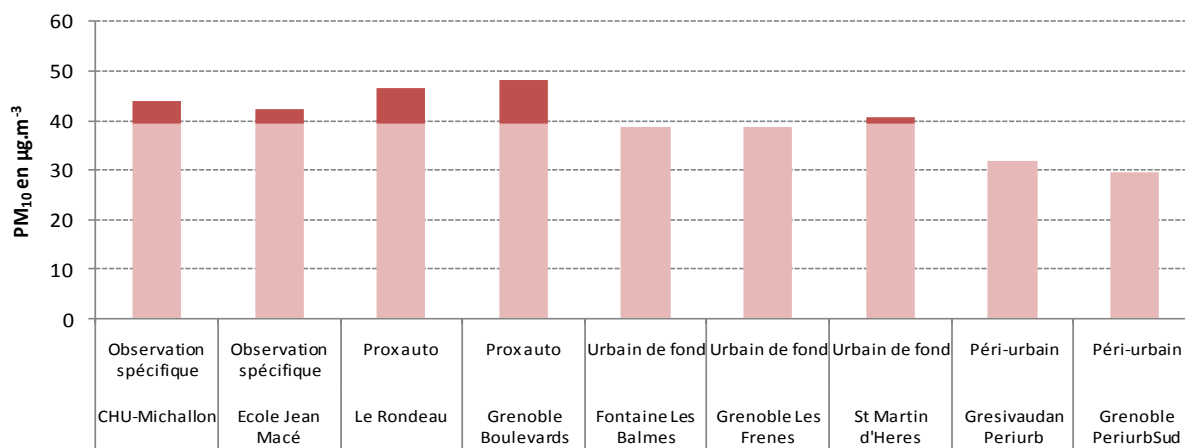


Figure 84 Concentrations moyennes en poussières (PM₁₀) pendant les 8 semaines de mesures

Sur ces sites, les niveaux de poussières plus importants (en rouge foncé) peuvent être liés au trafic automobile. En effet, le trafic est un émetteur non négligeable de poussières dans l'agglomération de Grenoble, juste derrière le secteur industriel (voir plus haut).

En revanche, pour les poussières (PM₁₀), la différence entre sites de fond et sites de proximité automobile est plus faible que pour le dioxyde d'azote (NO₂). En effet, pour ce dernier, les niveaux peuvent doubler en proximité automobile (cf. § précédents).

Les tableaux suivants résument les statistiques des mesures de poussière (PM₁₀) effectuées lors des 4 campagnes de mesures.

Site	CHU Michallon	Ecole Jean Macé	Le Rondeau	Grenoble Boulevards	Fontaine Les Balmes	Grenoble Les Frènes	St Martin d'Hères
Typologie	Observation spécifique	Observation spécifique	Trafic	Trafic	Urbain de fond	Urbain de fond	Urbain de fond
% de validité	100%	100%	93%	97%	99%	99%	97%
Moyenne	44	42	47	48	39	39	41
Minimum	2	0	1	8	5	4	2
Maximum	134	163	159	296	117	131	165
P99	113	117	123	163	108	109	113
P98	107	111	117	135	102	100	106
P95	95	95	100	104	91	90	95
P75	59	58	58	60	51	51	55
P50	36	34	39	39	31	32	32
P25	25	22	28	27	21	20	21

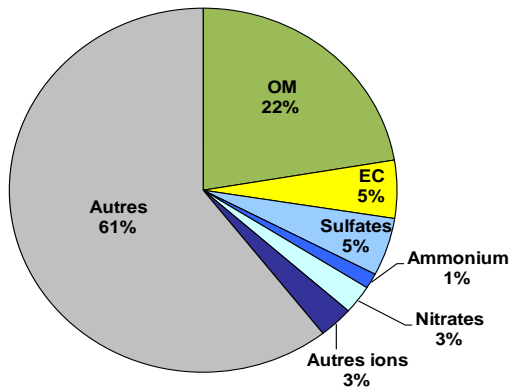
Site	CHU Michallon	Ecole Jean Macé	Gresivaudan Periurb	Grenoble PeriurbSud
Typologie	Observation spécifique	Observation spécifique	Périurbain	Périurbain
% de validité	100%	100%	98%	97%
Moyenne	44	42	32	30
Minimum	2	0	2	3
Maximum	134	163	99	135
P99	113	117	88	89
P98	107	111	83	81
P95	95	95	73	70
P75	59	58	42	37
P50	36	34	26	24
P25	25	22	18	16

Tableau 17 Statistiques des mesures de PM₁₀ pendant les 8 semaines de mesures

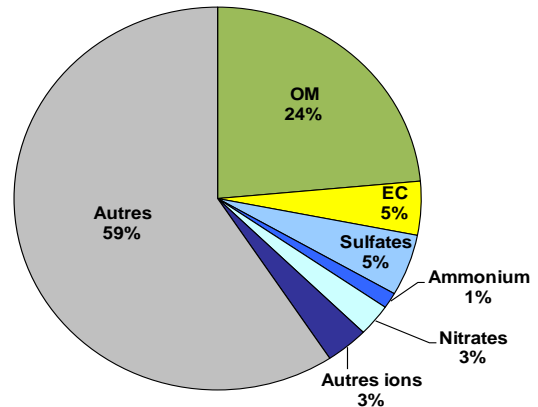
2.5.13. Composition moyenne des PM₁₀

Les figures suivantes illustrent la répartition de la composition atmosphérique particulaire pour les sites du CHU Michallon (à gauche) et de l'école Jean Macé (à droite) pendant les 4 campagnes de mesures.

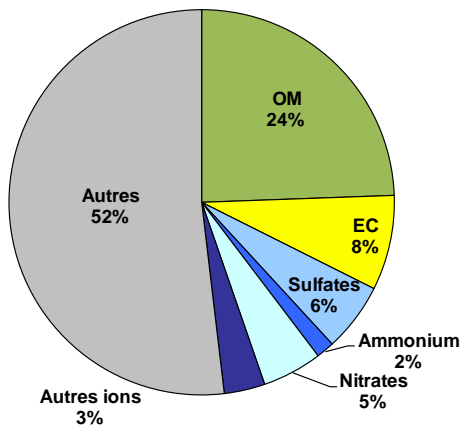
CHU, juillet 2008 (PM₁₀ = 32 µg/m³)



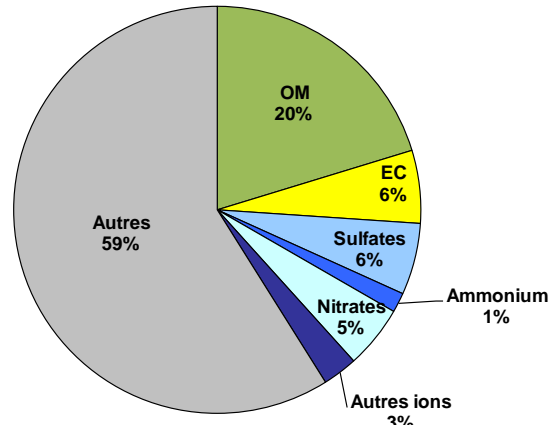
J. Macé, juillet 2008 (PM₁₀ = 29 µg/m³)



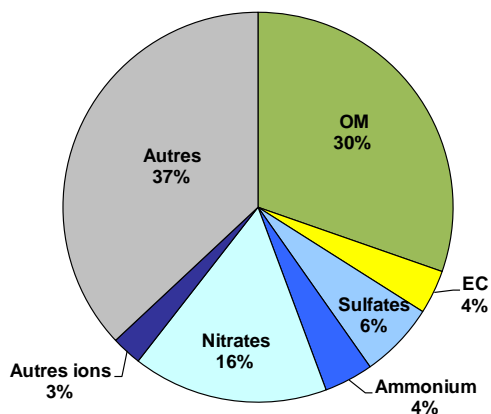
CHU, octobre 2008 (PM₁₀ = 39 µg/m³)



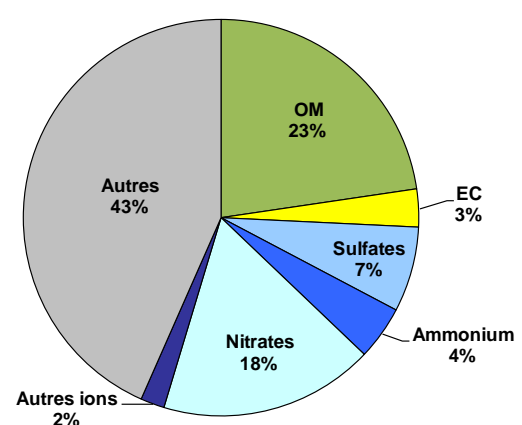
J. Macé, octobre 2008 (PM₁₀ = 38 µg/m³)



CHU, janvier 2009 (PM₁₀ = 84 µg/m³)



J. Macé, janvier 2009 (PM₁₀ = 86 µg/m³)



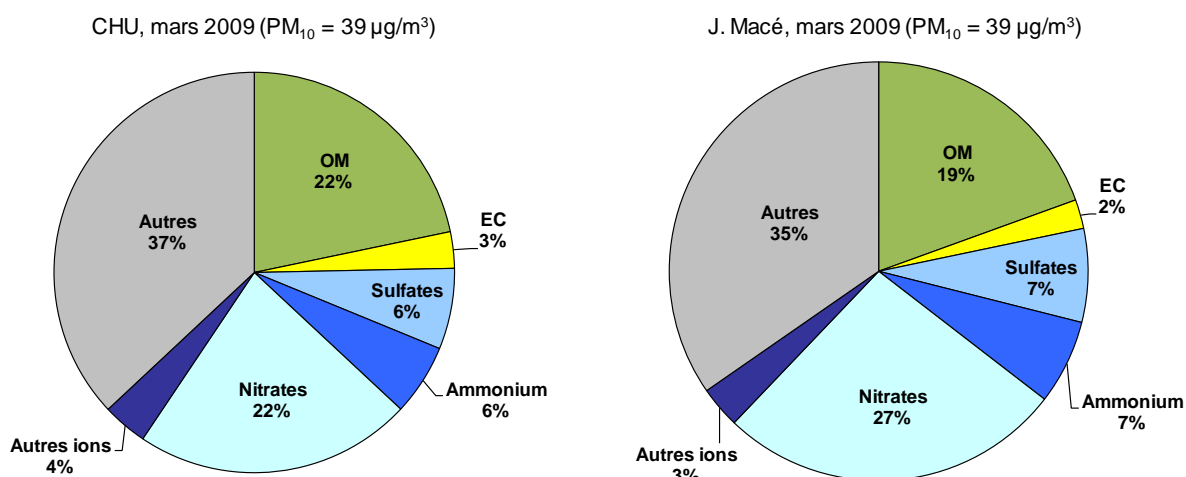


Figure 85 Composition atmosphérique particulaire pour les deux sites de prélèvements en été (juillet 2008), automne (octobre 2008), hiver (janvier 2009) et printemps (mars 2009).

2.5.14. Particules de taille inférieure à 2,5 microns (PM_{2,5})

Les tableaux suivants résument les statistiques des mesures de poussière (PM_{2,5}) effectuées lors des 4 campagnes de mesures.

Site	CHU Michallon	Ecole Jean Macé	Le Rondeau	Grenoble Les Frênes
Typologie	Observation spécifique	Observation spécifique	Trafic	Urbain de fond
% de validité	100%	100%	94%	100%
Moyenne	33	33	36	26
Minimum	0	0	1	0
Maximum	118	113	120	91
P99	103	104	105	75
P98	95	96	99	69
P95	87	84	86	59
P75	41	42	44	35
P50	25	26	29	22
P25	16	16,5	20	13

Tableau 18 Statistiques des mesures de PM_{2,5} pendant les 8 semaines de mesures

Résultats des mesures de benzène et toluène

Sites	Typologie	Benzène (C ₆ H ₆) en µg/m ³	Toluène (C ₇ H ₈) en µg/m ³
2008_ASC_NG_E_33	Urbain de fond	1,1	2,4
2008_ASC_NG_E_34	Urbain de fond	1,1	2,2
2008_ASC_NG_E_35	Urbain de fond	1,1	2,6
2008_ASC_NG_E_38	Prox auto. TMJA<10000 veh/j	1,1	2,1
2008_ASC_NG_E_39	Prox auto. TMJA>20000 veh/j	1,3	3,1
2008_ASC_NG_E_42	Prox auto. TMJA<10000 veh/j	1,2	3,0
2008_ASC_NG_E_43	Prox auto. TMJA>20000 veh/j	1,6	4,7
2008_ASC_NG_E_44	Urbain de fond	1,0	1,8
2008_ASC_NG_E_48	Urbain de fond	1,4	3,3
2008_ASC_NG_E_49	Urbain de fond	1,1	2,6
2008_ASC_NG_E_50	Prox auto. TMJA>20000 veh/j	1,6	4,3
2008_ASC_NG_E_51	Prox auto. TMJA<10000 veh/j	1,1	2,5
2008_ASC_NG_E_57MOB	Prox auto. TMJA<20000 veh/j	1,3	2,9
2008_ASC_NG_E_58	Prox auto. TMJA<10000 veh/j	1,5	3,9
2008_ASC_NG_O_01	Prox auto. TMJA>20000 veh/j	1,1	3,4
2008_ASC_NG_O_03MOB	Urbain de fond	1,2	3,0
2008_ASC_NG_O_04	Prox auto. TMJA<20000 veh/j	1,2	3,2
2008_ASC_NG_O_05	Prox auto. TMJA<20000 veh/j	1,3	3,3
2008_ASC_NG_O_06	Prox auto. TMJA<10000 veh/j	1,4	3,4
2008_ASC_NG_O_08	Prox auto. TMJA<20000 veh/j	1,3	3,7
2008_ASC_NG_O_10	Prox auto. TMJA<10000 veh/j	1,4	3,7
2008_ASC_NG_O_11	Prox auto. TMJA<20000 veh/j	1,3	3,5
2008_ASC_NG_O_13	Prox auto. TMJA>20000 veh/j	1,3	3,3
2008_ASC_NG_O_16	Prox auto. TMJA<10000 veh/j	1,1	3,0
2008_ASC_NG_O_17	Prox auto. TMJA<10000 veh/j	1,4	3,8
2008_ASC_NG_O_18	Prox auto. TMJA<10000 veh/j	1,0	2,1
2008_ASC_NG_O_19	Prox auto. TMJA<10000 veh/j	1,1	2,6
2008_ASC_NG_O_20	Prox auto. TMJA<10000 veh/j	1,2	3,0
2008_ASC_NG_O_21	Prox auto. TMJA<10000 veh/j	1,7	5,7
2008_ASC_NG_O_25	Prox auto. TMJA<10000 veh/j	1,1	3,3
2008_ASC_NG_O_27	Urbain de fond	1,2	2,6
2008_ASC_NG_O_29	Urbain de fond	0,6	1,4

Tableau 19 Estimation des concentrations moyennes annuelles de benzène et de toluène dans de nord de l'agglomération grenobloise

Résultats des mesures de monoxyde de carbone (CO)

Le tableau suivant résume les statistiques des mesures de monoxyde de carbone (CO) effectuées lors des 4 campagnes de mesures.

Site	CHU - Michallon	Ecole Jean Macé	Le Rondeau	Grenoble Boulevards
Typologie	Observation spécifique	Observation spécifique	Prox auto	Prox auto
% valide	100%	100%	92%	98%
Moyenne en $\mu\text{g.m}^{-3}$	419	278	453	634
Minimum en $\mu\text{g.m}^{-3}$	0	0	0	28
Maximum en $\mu\text{g.m}^{-3}$	2712	1557	2459	3281
Percentile 99 en $\mu\text{g.m}^{-3}$	1836	1245	1439	2128
Percentile 98 en $\mu\text{g.m}^{-3}$	1549	1047	1317	1791
Percentile 95 en $\mu\text{g.m}^{-3}$	1134	825	1107	1429
Percentile 75 en $\mu\text{g.m}^{-3}$	563	373	584	766
Percentile 50 en $\mu\text{g.m}^{-3}$	318	201	376	529
Percentile 25 en $\mu\text{g.m}^{-3}$	183	106	236,5	380

Tableau 20 Statistiques horaires du monoxyde de carbone (CO) pendant les 8 semaines de mesures

Résultats des prélèvements pour les Composés Organiques Volatils (COV)

Technique de mesure		Prélèvements (canisters)							
Durée moyenne de chaque prélèvement		24 h							
Nombre de prélvt		24	24	61	36	36	36		
COV (µg.m-3)		Nom de l'étude et des sites de prélèvement						Valeurs de référence (moy. annuelle)	Valeurs de référence (7j ou 24h)
		[Nord Grenoblois]		Référence [Fond Urbain]	[Sud Grenoblois]				
FAMILLE	COV	CHU-Michallon (2008-2009)	Ecole Jean Macé (2008-2009)	Grenoble (2008-2009)	Echirolles (2006-2007)	Pont-de-Claix (2006-2007)	Jarrie (2006-2007)		
Alcanes	éthane	4,3	4,0	3,2	7,6	7,4	7,7		
Alcanes	propane	3,2	3,1	2,8	3,4	3,3	5,5		
Alcanes	isobutane	1,6	1,3	1,4	1,2	1,1	1,2		
Alcanes	n-butane	3,4	2,8	3,0	2,3	2,2	1,5		
Alcanes	isopentane	4,2	3,1	2,3	2,4	2,2	1,2		
Alcanes	n-pentane	1,6	1,2	0,9	0,8	2,0	0,5		
Alcanes	n-hexane	0,5	0,3	0,3	1,2	0,9	1,0		
Alcanes	iso-octane	0,8	0,5	0,5	0,8	0,7	0,4		
Alcanes	n-heptane	0,4	0,4	0,2	1,3	1,1	1,1		
Alcanes	octane	0,3	0,3	0,2	0,7	0,7	0,8		
Alcènes/Alcynes	éthylène	3,3	2,5	2,1	2,5	4,0	3,0		
Alcènes/Alcynes	propène	1,2	0,8	0,6	0,5	0,5	0,5		
Alcènes/Alcynes	acétylène	3,0	1,1	0,8	0,9	1,2	0,7		
Alcènes/Alcynes	trans-2-butène	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1		
Alcènes/Alcynes	1-butène	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1		
Alcènes/Alcynes	cis-2-butène	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1		
Alcènes/Alcynes	1,3-butadiène	0,3	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	2,25	
Alcènes/Alcynes	trans-2-pentène	0,3	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2		
Alcènes/Alcynes	1-pentène	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1		
Alcènes/Alcynes	cis-2-pentène	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1		
Alcènes/Alcynes	isoprène	0,5	0,4	0,3	0,2	0,2	0,3		
Alcènes/Alcynes	1-hexène	0,1	0,2	0,1	2,0	1,5	1,4		
Aromatiques	benzène	1,5	1,2	1,0	2,9	2,7	2,6	2 (ou 5)	
Aromatiques	toluène	21,6	3,5	2,8	15,2	15,4	10,0		260
Aromatiques	éthylbenzène	0,9	0,8	0,6	3,1	1,9	1,1		
Aromatiques	m+p-xylène	2,9	2,5	1,6	7,5	4,5	2,6		
Aromatiques	styrène	6,1	1,0	0,6	-	-	-		
Aromatiques	o-xylène	1,1	0,8	0,6	2,3	2,1	1,1		
Aromatiques	1,3,5-triméthylbenzène	0,3	0,2	0,1	0,3	0,5	0,2		
Aromatiques	1,2,4-triméthylbenzène	0,9	0,7	0,6	0,9	1,5	0,8		
Aromatiques	1,2,3-triméthylbenzène	0,7	0,5	0,4	0,4	1,0	0,5		
chlorés	1,1-dichloroéthane	0,5	0,4	0,4	0,0	0,0	0,0		
chlorés	1,2-dichloroéthylène	0,3	0,3	0,4	0,0	0,0	0,0		
chlorés	1,2-dichloroéthane	1,3	1,3	1,1	2,3	3,7	17,8		700
chlorés	1,1,1-Trichloroéthane	3,6	0,4	0,6	0,4	0,3	0,3		
chlorés	Tétrachlorométhane	0,6	0,6	0,6	4,0	5,3	1,7		
chlorés	Trichloroéthylène	0,7	1,1	1,2	0,7	0,6	0,8		
chlorés	1,1,2-trichloroéthane	0,5	0,4	0,4	0,0	0,0	0,0		
chlorés	Tétrachloroéthylène	0,5	0,7	0,4	1,1	1,1	1,7	250	
chlorés	chlorobenzène	0,3	0,6	0,4	1,4	4,6	0,5		
chlorés	1,4-Dichlorobenzène	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0		

Résultats des prélèvements pour les Aldéhydes (ALD)

Technique de mesure	Prélèvements (cartouches)		Tubes passifs	Prélèvements (cartouches)			
Durée moyenne de chaque prélèvement	8h		7 jours	8h			
Nombre de prélèvement	24	24	49	36	36	36	
ALD ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	Nom de l'étude et des sites de prélèvement						
	[Nord Grenoblois]		[Référence Fond Urbain]	[Sud Grenoblois]			
	CHU-Michallon (2008-2009)	Ecole Jean Macé (2008-2009)	Grenoble (2008-2009)	Echirolles (2006-2007)	Pont-de-Claix (2006-2007)	Jarrie (2006-2007)	Valeurs de référence Air intérieur (moy. annuelle)
Formaldéhyde	3,0	2,8	2,0	2,6	3,0	18,4	10
Acétaldéhyde	1,8	1,6	1,4	1,3	1,4	3,9	
Propionaldéhyde	0,2	0,2	0,5	0,2	0,3	0,6	
Butyraldéhyde	0,2	0,2	1,4	0,4	0,3	0,6	
Benzaldéhyde	0,5	0,5	<LD	0,7	1,4	3,7	
Isovaléraldéhyde	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	
Valéraldéhyde	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,4	
Acroléine	<LD	<LD	<LD	-	-	-	

Résultats des prélèvements pour les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)

Technique de mesure	Prélèvements (filtres + mousses)						
Durée moyenne de chaque prélèvement	24 h						
Nombre de prélvt	24	24	114	36	36	36	
HAP (ng.m ⁻³)	Nom de l'étude et des sites de prélèvement						
	[Nord Grenoblois]		[Référence Fond Urbain]	[Sud Grenoblois]			
	CHU-Michallon (2008-2009)	Ecole Jean Macé (2008-2009)	Grenoble (2008-2009)	Echirolles (2006-2007)	Pont-de-Claix (2006-2007)	Jarrie (2006-2007)	Valeurs de référence (moy. annuelle)
Naphtalène	0,8	0,7	0,6	0,8	0,8	1,4	
2-méthylnaphtalène	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4	0,7	
Acénaphthène	0,2	0,8	0,1	0,2	0,2	0,8	
Fluorène	1,8	2,7	1,0	1,2	1,1	3,1	
Phénanthrène	9,8	16,5	5,7	6,3	5,7	21,2	
Anthracène	0,9	0,7	0,3	0,6	0,5	1,7	
Fluoranthène	3,6	5,2	2,1	2,4	2,1	6,7	
Pyrène	3,3	3,2	1,6	2,1	1,7	2,9	
2-méthylfluoranthène	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Benzo(a)anthracène	0,6	0,3	0,2	0,5	0,3	0,5	
Chrysène	1,0	0,6	0,5	0,7	0,5	0,7	
Benzo(e)pyrène	1,3	0,8	0,6	0,7	0,5	0,6	
Benzo(j)fluoranthène	0,6	0,3	0,5	0,4	0,3	0,5	
Benzo(b)fluoranthène	1,1	0,8	0,7	0,9	0,7	0,9	
Benzo(k)fluoranthène	0,4	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	
Benzo(a)pyrène	0,8	0,5	0,4	0,6	0,5	0,6	1
Dibenzo(a,h)anthracène	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	
Benzo(g,h,i)pérylène	0,7	0,5	0,4	0,7	0,6	0,6	
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	0,9	0,5	0,4	0,6	0,5	0,7	

Résultats des prélèvements pour les Métaux Lourds (Eléments Traces Métalliques ETM)

Technique de mesure	Prélèvements (filtres)						
Durée moyenne de chaque prélèvement	7 jours			24h			
Nombre de prélèvement	8	8	43	36	36	36	
Métaux Lourds (ng.m ⁻³)	Nom de l'étude et des sites de prélèvement						
	[Nord Grenoblois]		[Référence Fond Urbain]	[Sud Grenoblois]			
	CHU-Michallon (2008-2009)	Ecole Jean Macé (2008-2009)	Grenoble (2008-2009)	Echiroles (2006-2007)	Pont-de-Claix (2006-2007)	Jarrie (2006-2007)	Valeurs de référence (moy. annuelle)
Antimoine	4,0	3,2	1,8	-	-	-	
Arsenic	0,8	0,7	0,7	0,3	0,2	0,1	6
Baryum	9,9	10,5	5,8	-	-	-	
Cadmium	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	5
Chrome	4,4	4,4	2,6	-	-	-	
Cobalt	0,5	0,8	0,5	-	-	-	
Cuivre	36,4	34,1	11,4	-	-	-	
Manganèse	22,1	19,2	9,1	14,2	13,3	13,9	
Mercure	0,1	0,1	0,1	-	-	-	
Nickel	2,5	2,7	2,0	15,1	14,2	14,3	20
Plomb	11,9	11,3	7,6	13,6	16,8	10,7	250
Thallium	0,1	0,1	0,1	-	-	-	
Vanadium	1,2	1,4	1,6	2,6	2,2	2,2	
Zinc	65,0	59,1	42,1	-	-	-	
Chrome VI (ng.m⁻³)	0,111	0,088	0,082	-	-	-	

Annexe 4 : Références bibliographiques

Blanchet J.P., 1995. Mechanisms of direct and indirect climate forcing by aerosols in the arctic region. Ed. R.J Charlson and J. Heintzenberg, John Wiley & Sons Ltd, 109–121.

Marchand N., 2003. Etude de la composante organique de l'aérosol atmosphérique : cas de deux vallées alpines (Chamonix et Maurienne) et développement analytique. Thèse de doctorat, Université de Savoie, 340 pp.

Putaud et al., 2004. Size-segregated aerosol mass closure and chemical composition in Monte Cimone (I) during MINATROC. *Atmos. Chem. Phys.* 4, 889–902.

Puxbaum H. et al., 2007. Levoglucosan levels at background sites in Europe for assessing the impact of biomass combustion on the European aerosol background. *Journal of geophysical research* 112, 11pp.

Turpin, B.J., and H.J. Lim. 2001. Species contributions to PM_{2.5} mass concentrations : revisiting common assumptions for estimating organic mass. *Aerosol Science and Technology* 35 (1), 602–610.

Table des figures

Figure 1 Le nord de l'agglomération grenobloise (source : Google Earth), le domaine d'étude est représenté en jaune	7
Figure 2 Implantation des stations fixes d'ASCOPARG pris en compte dans le cadre de cette étude (en bleu les stations urbaines et périurbaines, en rouge les stations de proximité automobile).....	10
Figure 3 Photos des deux sites de mesures équipés de laboratoire mobile.....	13
Figure 4 Localisation du site de l'école Jean Macé - Source : Google Earth	14
Figure 5 Localisation du site du CHU Michallon - Source : Google Earth	14
Figure 6 Sites de mesures sur un réseau de rues (● en rouge les sites de l'étude, ▲ en vert les 2 stations météorologiques et ● en bleu les stations fixes d'ASCOPARG) – Source : Agglo Magellan	15
Figure 7 Photos des tubes à diffusion BTX et NO ₂	16
Figure 8 Les différents préleveurs utilisés par l'ASCOPARG dans le cadre de cette étude ...	17
Figure 9 Température moyenne mensuelle et pluviométrie mensuelle entre avril 2008 et avril 2009 (en rouge les campagnes de mesures de l'étude, en vert les normales saisonnières, en bleu la température moyenne mensuelle du Rondeau)	20
Figure 10 Rose des vents sur le site du Commissariat à l'Energie Atomique – en vert les vents faibles < 2m.s ⁻¹ – en orange les vents moyens compris entre 2 et 5 m.s ⁻¹	21
Figure 11 Rose des vents sur le site du Rondeau – en vert les vents faibles < 2m.s ⁻¹ – en orange les vents moyens compris entre 2 et 5 m.s ⁻¹	21
Figure 12 Rose des vents sur le site du cimetière de la Tronche – en vert les vents faibles < 2m.s ⁻¹ – en orange les vents moyens compris entre 2 et 5 m.s ⁻¹	22
Figure 13 Rose des vents lors de la campagne de printemps sur le site de la Bastille – en vert les vents faibles < 2m.s ⁻¹ – en orange les vents moyens compris entre 2 et 5 m.s ⁻¹	22
Figure 14 Vitesse moyenne mensuelle du vent au Rondeau (en bleu) (les cercles rouges ● correspondent aux 4 campagnes de mesures sur le site du Rondeau et les carrés verts ■ correspondent aux campagnes de mesures sur le site du cimetière de la Tronche)	23
Figure 15 Ecart entre la moyenne mesurée du NO ₂ (8 semaines) et des PM ₁₀ (10 semaines) et la moyenne annuelle pour les stations fixes d'ASCOPARG	24
Figure 16 Répartition des émissions d'oxydes d'azote (NOx) dans l'unité urbaine de Grenoble à gauche et dans le département de l'Isère à droite (Source : Cadastre 2006 ASCOPARG – Version 2008-3)	25
Figure 17 Statistiques horaires des mesures de NO pendant les 8 semaines de mesures ..	26
Figure 18 Comparaison par rapport à la réglementation concernant le dioxyde d'azote (NO ₂) – Les moyennes des deux sites de l'étude sont corrigées afin de pouvoir être comparées aux moyennes annuelles (avril 2008 à avril 2009).	27
Figure 19 Concentrations horaires en dioxyde d'azote (NO ₂) entre le 28 janvier 2009 et le 30 janvier 2009	28
Figure 20 Concentrations en dioxyde d'azote (NO ₂) le 13 janvier 2009	28
Figure 21 Paramètres météorologiques le 13 janvier 2009	29
Figure 22 Comparaison entre l'analyseur et les tubes à diffusion pour les moyennes des 8 semaines de mesures	30
Figure 23 Estimation des concentrations moyennes annuelles de dioxyde d'azote (NO ₂) par tubes à diffusion dans le nord de l'agglomération de Grenoble	31
Figure 24 Concentration en NO ₂ en fonction du trafic automobile à proximité du site de mesures	32
Figure 25 Concentrations moyennes en dioxyde d'azote (NO ₂) en hiver (à droite) et en été (à gauche)	33
Figure 26 Comparaison entre les mesures par tubes à diffusion (estimation de la moyenne entre avril 2008 et avril 2009) et la moyenne annuelle 2008 issue de la modélisation par Sirane	34

Figure 27 Comparaison entre les mesures par tubes à diffusion (estimation de la moyenne entre avril 2008 et avril 2009) et la moyenne annuelle 2008 issue de la modélisation par Sirane – Zoom sur le Nord Ouest de l’agglomération	35
Figure 28 Comparaison entre les mesures par tubes à diffusion (estimation de la moyenne entre avril 2008 et avril 2009) et la moyenne annuelle 2008 issue de la modélisation par Sirane – Zoom sur le Nord Est de l’agglomération	36
Figure 29 Comparaison entre les mesures de NO ₂ effectuées en 1998 (■) et les mesures effectuées en 2008-2009(●) (secteur Nord Est)	37
Figure 30 Comparaison entre les mesures de NO ₂ effectuées en 1998 (■) et les mesures effectuées en 2008-2009 (●) (secteur Nord Ouest).....	37
Figure 31 Evolution des concentrations moyennes en dioxyde d’azote (NO ₂) dans l’agglomération de Grenoble entre 1998 et 2008.....	38
Figure 32 Diamètre des particules.....	40
Figure 33 Répartition des émissions de poussières (PM ₁₀) dans l’agglomération de Grenoble à gauche et dans le département de l’Isère à droite (Source : Cadastre 2006 ASCOPARG – Version 2008-3)	40
Figure 34 Comparaison par rapport à la réglementation concernant les particules de taille inférieure à 10 microns (PM ₁₀)	41
Figure 35 Concentrations moyennes journalières en PM10 sur les stations urbaines de fond en Rhône Alpes en janvier 2009.....	43
Figure 36 Evolution temporelle entre juillet 2008 et mars 2009 de la concentration massique en PM ₁₀ pour les deux sites de prélèvements (CHU Michallon et école Jean Macé).	44
Figure 37 Composition atmosphérique particulière pour le site urbain de fond de Grenoble les Frênes en été (juillet 2008), automne (octobre 2008) et hiver (janvier 2009).	45
Figure 38 Evolution temporelle de la contribution des apports crustaux sur les PM ₁₀ pour les deux sites nord grenoblois	46
Figure 39 Evolution temporelle de la contribution de la combustion de biomasse sur la matière organique particulière pour les deux sites nord grenoblois et le site des Frênes	47
Figure 40 Evolution temporelle du rapport entre la somme des 16 HAPs et la matière organique particulière pour les deux sites nord grenoblois.....	47
Figure 41 Evolution temporelle du rapport entre la somme des HAPs particulières et la matière organique particulière pour les deux sites nord grenoblois	48
Figure 42 Evolution temporelle des concentrations en chlore pour les deux sites de prélèvements.	49
Figure 43 : Diagrammes nitrates et ammonium pour les deux sites nord grenoblois en juillet 2008, octobre 2008, janvier 2009 et mars 2009.	49
Figure 44 Concentrations moyennes en PM _{2,5} pendant les 8 semaines de mesures	50
Figure 45 Comparaison par rapport à la réglementation concernant les particules de taille inférieure à 2,5 microns (PM _{2,5})	50
Figure 46 Répartition sectorielle des émissions de Composés Organiques Volatils non méthaniques (COVNM) dans l’agglomération de Grenoble (Source : Cadastre 2006 ASCOPARG – Version 2008-3)	52
Figure 47 Estimation des concentrations moyennes annuelles de benzène (C ₆ H ₆) dans l’agglomération de Grenoble.....	53
Figure 48 Concentration en Benzène en fonction du trafic automobile à proximité du site de mesures	53
Figure 49 Concentrations en benzène en hiver (à gauche) et au printemps (à droite).....	54
Figure 50 Répartition sectorielle des émissions de monoxyde de carbone (CO) dans l’agglomération de Grenoble à gauche et en Isère à droite (Source : Cadastre 2006 ASCOPARG – Version 2008-3)	55
Figure 51 Concentrations moyennes en monoxyde de carbone (CO) pendant les 8 semaines de mesures	55
Figure 52 Statistiques horaires des mesures de monoxyde de carbone (CO)	56
Figure 53 Evolution des concentrations moyennes annuelles de monoxyde de carbone (CO) sur plusieurs sites de proximité automobile de la région Rhône-Alpes	56
Figure 54 Maximum journalier de la moyenne glissante sur 8 heures pour le monoxyde de carbone (CO) sur les sites du CHU Michallon et de l’école Jean Macé	57

Figure 55 Concentration moyenne en benzène mesuré par canister (24 prélèvements de 8 heures) sur les sites de l'étude Nord Grenoblois et sur plusieurs sites de référence	61
Figure 56 Concentration moyenne en 1,3-butadiène mesuré par canister (24 prélèvements de 8 heures) sur les sites de l'étude Nord Grenoblois et sur plusieurs sites de référence	62
Figure 57 Concentration moyenne en 1,2-dichloroéthane mesuré par canister (24 prélèvements de 8 heures) sur les sites de l'étude Nord Grenoblois et sur plusieurs sites de référence.....	62
Figure 58 Concentration moyenne en tétrachloroéthylène mesuré par canister (24 prélèvements de 8 heures) sur les sites de l'étude Nord Grenoblois et sur plusieurs sites de référence.....	63
Figure 59 Concentration moyenne en toluène mesuré par canister (24 prélèvements de 8 heures) sur les sites de l'étude Nord Grenoblois et sur plusieurs sites de référence	63
Figure 60 Concentration moyenne en formaldéhyde mesuré par prélèvements actifs (24 prélèvements de 8 heures) sur les sites de l'étude Nord Grenoblois et sur plusieurs sites de référence.....	63
Figure 61 Concentration moyenne en éléments traces métalliques (Arsenic, Cadmium, Nickel, Plomb) sur les sites de l'étude Nord Grenoblois et sur plusieurs sites de référence	64
Figure 62 Concentration moyenne en manganèse sur les sites de l'étude Nord Grenoblois et sur plusieurs sites de référence.....	65
Figure 63 Concentration moyenne en Vanadium sur les sites de l'étude Nord Grenoblois et sur plusieurs sites de référence.....	65
Figure 64 Concentration moyenne en chrome total (à gauche) et en chrome VI (à droite) sur les sites de l'étude Nord Grenoblois et sur le site de référence de Grenoble	66
Figure 65 Concentration moyenne en Benzo[a]pyrène sur les sites de l'étude Nord Grenoblois et sur plusieurs sites de référence. Les concentrations sont exprimés en ng.m^{-3}	66
Figure 66 Concentration moyenne en HAP Totaux sur les sites de l'étude Nord Grenoblois et sur plusieurs sites de référence.....	67
Figure 67 Concentrations journalières en HAP sur le site urbain de Grenoble les Frênes entre mars 2008 et avril 2009	68
Figure 68 Concentrations horaires en particules (PM_{10}) pendant la campagne n°1 sur les sites du CHU Michallon et de l'école Jean Macé	69
Figure 69 Profil des Composés Organiques Volatils (répartition des concentrations en % du total de COV mesuré	70
Figure 70 Concentrations en aldéhydes sur les sites de l'école Jean Macé (en bas) et du CHU Michallon (en haut) mesurées par prélèvements actifs de 8 heures	71
Figure 71 Profil des aldéhydes – répartition des concentrations en % du total mesuré.....	72
Figure 72 Concentrations en Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) sur les sites de l'école Jean Macé (en bas) et du CHU Michallon (en haut) mesurées par prélèvements de 24 heures	73
Figure 73 Concentrations en Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) sur le site urbain de fond de Grenoble les Frênes mesurées par prélèvements de 24 heures entre avril 2008 et mars 2009	73
Figure 74 Profil des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques – Répartition des concentrations en % du total de HAP mesuré	74
Figure 75 Concentrations en Eléments Métalliques Traces sur les sites du CHU Michallon (en haut) et de l'école Jean Macé (en bas)	75
Figure 76 Concentrations en Eléments Traces Métalliques sur le site urbain de fond de Grenoble les Frênes mesurées par des prélèvements de 1 semaine entre avril 2008 et avril 2009	75
Figure 77 Profils des 14 Eléments Traces Métalliques – Répartition des concentrations en % du total mesuré	76
Figure 78 Profil des 6 Eléments Traces Métalliques – Répartition des concentrations en % du total mesuré.....	76
Figure 79 Représentation statistique des séries de données	79
Figure 80 Exemple de localisation de deux sites de mesures	82

Figure 81 Concentrations moyennes en monoxyde d'azote (NO) mesurées pendant les 8 semaines de mesures	85
Figure 82 Concentrations moyennes en dioxyde d'azote (NO ₂) pendant les 8 semaines de mesures	86
Figure 83 Statistiques horaires des mesures de NO ₂ pendant les 8 semaines de mesures.	87
Figure 84 Concentrations moyennes en poussières (PM ₁₀) pendant les 8 semaines de mesures	89
Figure 85 Composition atmosphérique particulaire pour les deux sites de prélèvements en été (juillet 2008), automne (octobre 2008), hiver (janvier 2009) et printemps (mars 2009).....	92