

Qualité de l'air

2007



RÉPUBLIQUE ET CANTON DE GENÈVE
DÉPARTEMENT DU TERRITOIRE

POST TENEBRAS LUX

SERVICE CANTONAL DE
PROTECTION DE L'AIR

Qualité de l'air 2007

Mai 2008



RÉPUBLIQUE ET CANTON DE GENÈVE
DÉPARTEMENT DU TERRITOIRE

POST TENEBRAS LUX

**SERVICE CANTONAL DE
PROTECTION DE L'AIR**

Sommaire

1.	L'essentiel en bref.....	3
1.1.	Tableau résumé	3
1.2.	Bilan par polluant.....	4
2.	Mesure des immissions	7
2.1.	Introduction.....	7
2.2.	Valeurs limites d'immission selon l'OPair.....	8
3.	La mesure de la qualité de l'air à Genève : le ROPAG	9
3.1.	Introduction.....	9
3.2.	Présentation des stations du ROPAG	9
3.3.	Programme et méthodes de mesure.....	10
4.	Résultats de l'année 2007	13
4.1.	Tableau récapitulatif.....	13
4.2.	Présentation des résultats par station.....	14
4.3.	Retombées de poussières.....	34
5.	Evolution de la qualité de l'air	35
5.1.	Dioxyde d'azote (NO ₂).....	35
5.1.1.	Généralités.....	35
5.1.2.	Moyenne annuelle	35
5.1.3.	Percentile 95 des moyennes semi-horaires annuelles.....	36
5.1.4.	Nombre de dépassements de la VLI OPair journalière	36
5.1.5.	Bilan	36
5.2.	Ozone (O ₃)	37
5.2.1.	Généralités.....	37
5.2.2.	Percentile 98 des moyennes semi-horaires mensuelles	38
5.2.3.	Moyenne annuelle	39
5.2.4.	Nombre de dépassements de la VLI OPair horaire	39
5.2.5.	Bilan	39
5.3.	Poussières fines (PM10)	40
5.3.1.	Généralités.....	40
5.3.2.	Moyenne annuelle	41
5.3.3.	Nombre de dépassements de la VLI OPair journalière	41
5.3.4.	Moyenne annuelle en plomb (Pb) dans les PM10	42
5.3.5.	Moyenne annuelle en cadmium (Cd) dans les PM10	42
5.3.6.	Bilan	42
5.4.	Dioxyde de soufre (SO ₂).....	43
5.4.1.	Généralités.....	43
5.4.2.	Moyenne annuelle	43
5.4.3.	Percentile 95 des moyennes semi-horaires annuelles.....	44
5.4.4.	Nombre de dépassements de la VLI OPair journalière	44
5.4.5.	Bilan	44
5.5.	Monoxyde de carbone (CO).....	45
5.5.1.	Généralités.....	45
5.5.2.	Moyenne annuelle	45
5.5.3.	Nombre de dépassements de la VLI OPair journalière	45
5.5.4.	Bilan	45
5.6.	Retombées de poussières.....	46
5.6.1.	Généralités.....	46

5.6.2.	Moyenne annuelle totale.....	46
5.6.3.	Moyenne annuelle pour le plomb (Pb) dans les retombées de poussières.....	46
5.6.4.	Moyenne annuelle pour le cadmium (Cd) dans les retombées de poussières.....	47
5.6.5.	Moyenne annuelle pour le zinc (Zn) dans les retombées de poussières.....	47
5.6.6.	Bilan.....	47
6.	Capteurs passifs : Campagne NO ₂	49
6.1.	<i>Introduction</i>	49
6.2.	<i>Méthodologie</i>	49
6.3.	<i>Emplacements - valeurs 2007</i>	49
6.4.	<i>Résultats</i>	51
7.	Synthèse.....	53
8.	Qualité de l'air sur l'Internet.....	55
9.	Annexe 1 : Préparation et analyse des capteurs passifs NO ₂	57
10.	Annexe 2 : Cartographie des mesures de NO ₂	59
10.1.	<i>Problématique</i>	59
10.2.	<i>Méthodes d'interpolation</i>	59
10.2.1.	IDW (interpolation déterministe).....	59
10.2.2.	Limites de la méthode IDW.....	60
10.2.3.	Krigeage (interpolation géostatistique).....	61
10.2.4.	Krigeage avec dérive externe et co-krigeage (interpolation géostatistique avec intégration d'informations indirectes).....	62
10.3.	<i>Résultats</i>	62
11.	Annexe 3 : Glossaire.....	65

Un glossaire en page 65 explique les termes techniques ou scientifiques

Suivant les « Recommandations pour la mesure des immissions de polluants atmosphériques » de l'OFEV du 1^{er} janvier 2004, les coefficients de conversion des unités de concentration ont changé (passage de 9°C / 950 mbar à 20°C / 1013 mbar, en accord avec la nomenclature de l'Union Européenne).

La base de données a été entièrement recalculée pour permettre d'élaborer des graphiques tenant compte de l'évolution dans le temps. Ceci peut expliquer des divergences avec les mesures présentées dans les précédents bilans annuels.

1. L'essentiel en bref

1.1. Tableau résumé

Dans le canton de Genève, d'une façon générale, l'état de la qualité de l'air est caractérisé, pour le dioxyde d'azote, l'ozone et les particules fines, par une situation d'immissions excessives.

Le tableau ci-dessous résume la qualité de l'air à Genève pour l'année 2007 ainsi que son évolution durant la période 2000-2007 en référence aux valeurs limites (VLI) de l'ordonnance sur la protection de l'air (OPair).

POLLUANTS	Etat 2007			Tendance 2000-2007		
	centre ville	agglomération	campagne	centre ville	agglomération	campagne
DIOXYDE D'AZOTE (NO ₂)						
OZONE (O ₃)						
PARTICULES FINES (PM10)						
DIOXYDE DE SOUFRE (SO ₂)						
MONOXYDE DE CARBONE (CO)		X	X		X	X

LÉGENDE "Etat 2007" :		LÉGENDE "Tendance 2000-2007" :	
= VLI OPair respectée	= VLI OPair respectée, mais immissions proches de la VLI	= Dégradation	= Amélioration
= VLI OPair non respectée. Immissions excessives	X = Pas de données (situation non critique: mesures stoppées)	= Stabilisation	

Figure 1. Bilan de la pollution de l'air par zone et par polluant, pour l'année 2007 ainsi que pour l'évolution sur la période 2000-2007

En 2007, l'ozone (O₃) et les particules fines (PM10) sont en quantité excessive sur tout le territoire genevois, le dioxyde d'azote (NO₂) l'étant principalement sur la zone centre-ville. La tendance 2000-2007 indique une dégradation au niveau du NO₂ pour les zones agglomération et campagne, alors que pour les polluants O₃ et PM10 la dégradation concerne principalement la zone centre-ville. Les polluants SO₂ et CO sont bien au-dessous des VLI OPair et cette situation se stabilise.

Nota : La tendance est évaluée grâce à l'élaboration de "moyennes glissantes" sur plusieurs années.

1.2. Bilan par polluant

Dioxyde d'azote (NO₂)

Moyenne annuelle

En milieu urbain (Ile, Ste-Clotilde et Wilson), les moyennes annuelles continuent de dépasser la VLI OPair (30 µg/m³) et, sur la période 2000-2007, connaissent une stabilisation. C'est la station de l'Ile, qui indique la plus forte moyenne annuelle en NO₂ (46 µg/m³).

En milieu suburbain (Meyrin et Foron) et en milieu rural (Anières et Passeiry), les moyennes annuelles se situent en dessous de la VLI OPair, avec des valeurs proches de celle-ci pour la station de Meyrin. La tendance est à la dégradation sur la période 2000-2007.

Nombre de dépassements (de la moyenne journalière)

La VLI OPair journalière (80 µg/m³) a été dépassée 6 fois sur le site urbain de l'Ile et 2 fois sur celui de Wilson (l'OPair autorise un seul dépassement de cette VLI par an). Pour information, la station mobile installée à la rue de Montchoisy a enregistré 8 dépassements de la VLI OPair journalière.

Bilan

Après une longue période d'amélioration durant les années 1990, l'année 2007 confirme la relative stabilisation des concentrations moyennes annuelles de NO₂ depuis 2000-2001. Pour les stations rurales et suburbaines, ces concentrations se situent au-dessous de la VLI OPair annuelle, celle-ci étant approchée dans le cas suburbain. Dans le cas des stations urbaines, les moyennes annuelles continuent à dépasser la VLI OPair annuelle.

La très nette diminution du nombre de dépassements de la valeur limite journalière constatée sur la période allant de 1990 à 2000 s'est elle aussi ralentie pendant la période 2000-2007.

Ozone (O₃)

Moyenne annuelle *

Les moyennes annuelles sont à la baisse par rapport aux années précédentes, ce résultat étant sans doute en lien direct avec le nombre réduit de journées ensoleillées - condition essentielle pour la formation d'ozone - au cours de la période estivale 2007.

Nombre de dépassements (de la moyenne horaire)

Pour pratiquement toutes les stations, on observe de multiples dépassements de la VLI OPair horaire (120 µg/m³), dès le mois de mars et jusqu'au mois de septembre. Seule la station de Wilson n'a connu en 2007 qu'un seul dépassement de la VLI OPair horaire.

Bilan

La pollution à l'ozone a connu en 2007 une amélioration, en grande partie imputable aux conditions météorologiques peu propices à la formation de ce polluant. Les immissions d'ozone sont cependant demeurées excessives pour toutes les stations.

* La moyenne annuelle pour l'ozone n'est pas fixée dans l'OPair

Particules fines (PM10)

Moyenne annuelle pour les PM10

Les moyennes annuelles ont été supérieures à la VLI OPair ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$) aux stations urbaines de l'île et Wilson ainsi qu'à la station rurale de Passeiry. Par rapport à 2006, quasiment toutes les stations sont à la baisse.

Nombre de dépassements de la moyenne journalière pour les PM10

La VLI OPair journalière ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) a été dépassée un nombre de fois conséquent dans toutes les stations. Avec 24 dépassements, c'est la station de Wilson qui a enregistré le plus grand nombre de dépassements de cette VLI OPair.

Moyennes annuelles pour le plomb et le cadmium dans les PM10

Dans toutes les stations, les moyennes annuelles pour le plomb et le cadmium dans les PM10 ont été inférieures aux VLI OPair ($500 \text{ ng}/\text{m}^3$ dans le cas du plomb et $1.5 \text{ ng}/\text{m}^3$ pour le cadmium).

Bilan

Après une année 2006 qui a connu des épisodes de forte pollution aux particules fines[‡], l'année 2007 a retrouvé un niveau plus proche des années précédentes et a été, une fois de plus, caractérisée par des immissions de PM10 excessives à toutes les stations de mesure. La forte fluctuation des concentrations d'une année à l'autre rend la tendance difficile à définir, mais il ne semble pas qu'on puisse parler d'une amélioration de la situation.

Les moyennes annuelles pour le plomb et le cadmium dans les PM10 sont en dessous des VLI OPair depuis de nombreuses années.

Dioxyde de soufre (SO₂)

Moyenne annuelle, percentile 95 et nombre de dépassements de la moyenne journalière

Les VLI OPair ($30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour la moyenne annuelle, $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le percentile 95 des moyennes semi-horaires d'une année, $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour la moyenne journalière à ne pas dépasser plus d'une fois par année) sont respectées sur tout le territoire cantonal, comme c'est le cas depuis plusieurs années.

Bilan

En 2007, les immissions de SO₂ sont restées au niveau de celles de 2006. Elles se situent bien en dessous des VLI OPair.

Monoxyde de carbone (CO)

Moyenne annuelle*

Les moyennes annuelles restent faibles, de l'ordre du mg/m^3 , et diminuent régulièrement depuis une dizaine d'années.

Nombre de dépassements de la moyenne journalière

La VLI OPair journalière ($8 \text{ mg}/\text{m}^3$) n'a été dépassée dans aucune station.

Bilan

Les concentrations en CO restent faibles et diminuent régulièrement d'année en année.

[‡] Pour mémoire, l'année 2006 a été marquée par des concentrations encore jamais enregistrées depuis le début des mesures des PM10 en 1998

* La moyenne annuelle pour le monoxyde de carbone n'est pas fixée dans l'OPair

Retombées de poussières

Nota : A la différence des PM10, poussières en suspension dans l'air dont le diamètre aérodynamique est inférieur à 10 μm , les retombées de poussières concernent plus particulièrement les grosses particules qui, de par leur masse, ne restent pas en suspension dans l'air mais retombent au sol.

Moyenne annuelle, moyenne annuelle pour le plomb / cadmium / zinc dans les retombées de poussières

Les différentes moyennes annuelles (total des retombées de poussières (200 $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{jour})$) ainsi que plomb (100 $\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{jour})$), cadmium (2 $\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{jour})$) et zinc (400 $\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{jour})$) dans les retombées de poussières) sont respectées sur tous les sites de mesure.

Bilan

Les concentrations en retombées de poussières restent faibles et stationnaires, en dessous des VLI OPair depuis de nombreuses années.

2. Mesure des immissions

2.1. Introduction

Tous les polluants émis dans l'environnement subissent des transformations de manière plus ou moins rapide selon leur nature, les conditions météorologiques ou encore d'autres facteurs.

Comme le montre la figure ci-dessous, les polluants dits « primaires » émis dans l'air ambiant sont dispersés par les courants atmosphériques et subissent des transformations chimiques sous l'action du soleil, mais aussi de l'humidité et des particules en suspension, pour donner naissance à des polluants dits « secondaires ». Suivant les conditions météorologiques, certaines réactions chimiques et certains phénomènes physiques - tels que la dispersion, l'accumulation ou l'absorption - peuvent se produire dans l'atmosphère.

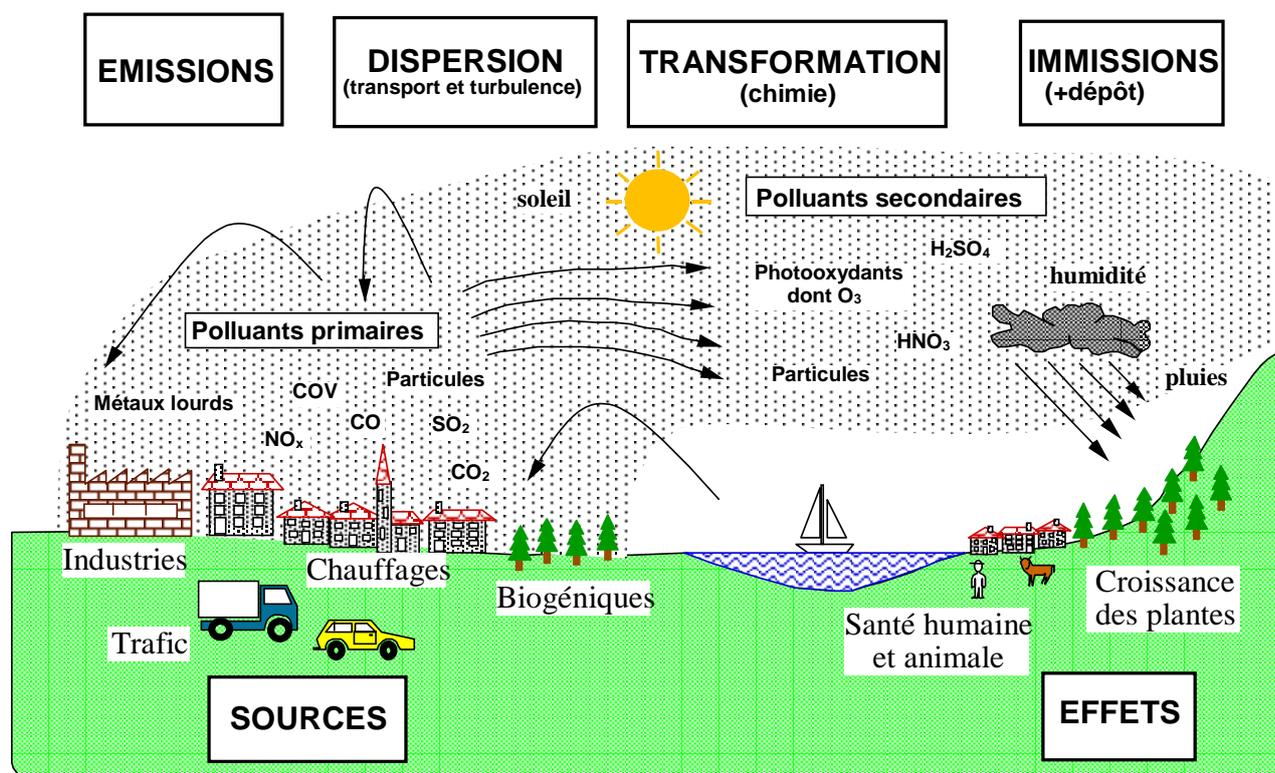


Figure 1. Ensemble des phénomènes mis en jeu en pollution de l'air

Il faut bien distinguer les notions d'émission et d'immission.

Les **émissions** se composent des polluants rejetés dans l'environnement par les installations, les véhicules ou les produits. Elles sont mesurées à la source de leur rejet, quand les polluants ne sont pas encore dilués dans l'atmosphère.

Les **immissions** représentent la pollution en suspension dans l'atmosphère à l'endroit où elle déploie ses effets sur l'homme, les animaux, les plantes, le sol et les constructions.

Les polluants sont émis dans l'atmosphère et subissent un certain nombre de dilutions et de transformations chimiques. Il s'agit d'une pollution "ambiante". Les immissions sont mesurées par prise d'échantillons dans l'air qui nous entoure.

2.2. Valeurs limites d'immission selon l'OPair

L'Ordonnance fédérale sur la protection de l'air (OPair) a pour but « de protéger l'homme, les animaux et les plantes, leurs biotopes et biocénoses, ainsi que le sol, des pollutions atmosphériques nuisibles ou incommodes ». Cette ordonnance (dont la première version date du 16 décembre 1985) découle de la Loi sur la protection de l'environnement (LPE) du 12 octobre 1983. L'OPair a été renforcée plusieurs fois, la dernière modification datant du 22 août 2007.

L'annexe 7 de cette ordonnance fixe les VLI OPair pour un certain nombre de composés tels que le SO₂, le NO₂, le CO, l'O₃, les PM10 et les retombées de poussières. Le tableau ci-dessous donne ces différentes valeurs limites.

Substance		VLI OPair	Définition statistique
Dioxyde d'azote (NO ₂)		30 µg/m ³	Moyenne annuelle (arithmétique)
		100 µg/m ³	Percentile 95 des moyennes semi-horaires annuelles
		80 µg/m ³	Moyenne par 24 h ; ne doit en aucun cas être dépassée plus d'une fois par année
Ozone (O ₃)		100 µg/m ³	Percentile 98 des moyennes semi-horaires mensuelles
		120 µg/m ³	Moyenne horaire ; ne doit en aucun cas être dépassée plus d'une fois par année
Poussières en suspension (PM10)	Total	20 µg/m ³	Moyenne annuelle (arithmétique)
		50 µg/m ³	Moyenne sur 24 h ; ne doit en aucun cas être dépassée plus d'une fois par année
	Plomb (Pb)	500 ng/m ³	Moyenne annuelle (arithmétique)
	Cadmium (Cd)	1,5 ng/m ³	Moyenne annuelle (arithmétique)
Anhydride sulfureux (SO ₂) (syn. : dioxyde de soufre)		30 µg/m ³	Moyenne annuelle (arithmétique)
		100 µg/m ³	Percentile 95 des moyennes semi-horaires annuelles
		100 µg/m ³	Moyenne par 24 h ; ne doit en aucun cas être dépassée plus d'une fois par année
Monoxyde de carbone (CO)		8 mg/m ³	Moyenne par 24 h ; ne doit en aucun cas être dépassée plus d'une fois par année
Retombées de poussières	Total	200 mg/(m ² ·jour)	Moyenne annuelle (arithmétique)
	Plomb (Pb)	100 µg/(m ² ·jour)	Moyenne annuelle (arithmétique)
	Cadmium (Cd)	2 µg/(m ² ·jour)	Moyenne annuelle (arithmétique)
	Zinc (Zn)	400 µg/(m ² ·jour)	Moyenne annuelle (arithmétique)
	Thallium (Tl)	2 µg/(m ² ·jour)	Moyenne annuelle (arithmétique)

Tableau 1. Valeurs limites OPair

3. La mesure de la qualité de l'air à Genève : le ROPAG

3.1. Introduction

En vertu de l'article 27 de l'OPair, les cantons sont chargés de mesurer les immissions des polluants recensés à l'annexe 7 de l'OPair, en suivant les « Recommandations relatives à la mesure des immissions de polluants atmosphériques ». Ces dernières ont été définies par l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) le 15 janvier 1990 et modifiées le 1^{er} janvier 2004, en particulier pour prendre en compte l'évolution des technologies [§].

Dans le canton de Genève, c'est le Réseau d'Observation de la Pollution Atmosphérique à Genève (ROPAG) qui mesure les immissions depuis plus de vingt ans et qui a pour mission d'analyser la qualité de l'air, d'en suivre l'évolution et d'informer la population. Ces mesures de la qualité de l'air permettent de déterminer si les VLI OPair sont respectées sur le territoire du canton de Genève. Dans le cas contraire, les autorités proposent un plan de mesures d'assainissement de l'air permettant d'atteindre cet objectif.

3.2. Présentation des stations du ROPAG

En 2007, sept stations de mesure fixes et deux stations mobiles étaient en activité.

Stations fixes

Les emplacements des sept stations de mesure fixes ont été déterminés en fonction des particularités propres au canton de Genève, selon les critères suivants :

- densité de la population
- sources de pollution
- météorologie régionale.

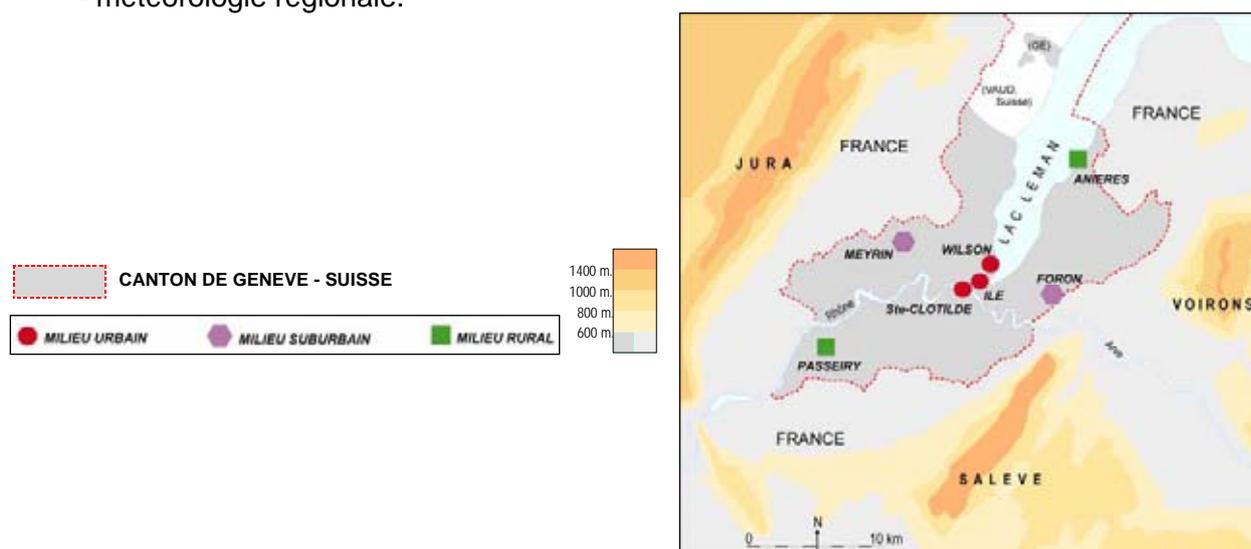


Figure1. Emplacements des stations fixes du ROPAG

[§] Ces modifications se sont notamment traduites par l'augmentation du pourcentage minimum de données validées permettant de faire des calculs statistiques, ou par l'alignement des coefficients de conversion des unités de concentration sur ceux de l'Union Européenne (passage de 9°C / 950 mbar à 20°C / 1013 mbar).

Trois milieux types peuvent être mis en évidence :

Milieu urbain (stations de l'Ile, de Ste-Clotilde et de Wilson)

La station de **Ile** est située dans l'hypercentre, sur un pont. Elle est représentative d'une zone où la densité de la circulation routière est particulièrement élevée (pont du Mont-Blanc : 77'000 véhicules/jour, pont de la Coulouvrenière : 40'000 véhicules/jour. Comptages en moyenne hebdomadaire, pour l'année 2004).

La station de **Ste-Clotilde**, sur la rive gauche, dans le quartier de la Jonction, est représentative d'une zone d'habitation avec une activité tertiaire dense.

La station de **Wilson** est située sur la rive droite, à la limite entre le lac et le quartier des Pâquis.

Milieu suburbain (stations de Meyrin et du Foron)

La station de **Meyrin** se trouve à la limite d'une zone industrielle et de la cité de Meyrin.

A l'est, celle du **Foron**, proche de la frontière française, est située dans une zone périphérique à forte densité d'habitations. Elle est aussi sous l'influence de l'agglomération d'Annemasse (France).

Milieux ruraux (stations d'Anières et de Passeiry)

Les stations d'**Anières** et de **Passeiry** permettent d'évaluer les apports des émissions de la ville selon le régime des vents dominants.

Nota : A la fin de l'année 2006, la station forestière de Jussy a été définitivement arrêtée. Celle-ci était située dans les bois de Jussy et permettait de mesurer la qualité de l'air en dehors de l'agglomération et de la mettre en relation avec l'état de la forêt (l'air y était prélevé à 16 mètres du sol, à la hauteur de la cime des arbres).

Stations mobiles

Les emplacements des deux stations de mesure mobiles sont déterminés selon les besoins. La première surveille la qualité de l'air autour de l'usine d'incinération des ordures ménagères (UIOM) des Cheneviers, tandis que la seconde est plutôt dédiée à des problématiques urbaines. Elles effectuent des campagnes de mesures d'une durée d'un an.

3.3. Programme et méthodes de mesure

Le tableau ci-dessous présente les méthodes de mesure utilisées, par station, pour chaque polluant. Une explication de chaque terme est donnée dans le glossaire, en page 65.

Abréviations utilisées

Paramètres mesurés

SO ₂	dioxyde de soufre
NO ₂	dioxyde d'azote
NO	monoxyde d'azote
O ₃	ozone
HCT	hydrocarbures totaux
CH ₄	méthane
CO	monoxyde de carbone
PM10	particules fines (<10,µm)
CO ₂	dioxyde de carbone
T	température
HR	humidité relative
VENT	vitesse et direction du vent
RS	rayonnement solaire
P	pression

Méthode de mesure

Py	pyranomètre
Aβ	absorption β
AUV	absorption UV
AN	anémomètre
AN-US	anémomètre à ultrasons
CL	chimiluminescence
DOAS	absorption spectrophotométrique différentielle
FID	détecteur à ionisation de flamme
FUV	fluorescence UV
G	gravimétrie (pesée)
G°	gravimétrie (micro balance)
H	hygromètre à cheveu
IR	absorption infrarouge
TC	Pt – 100
PR	capteur piezo-résistif

MESURE STATION	SO ₂	NO ₂	NO	O ₃	HCT	CH ₄	CO	PM10	CO ₂	T	HR	VENT	RS	P
Ile	DOAS*	CL* / DOAS*	CL*	AUV** / DOAS*	-	-	-	G°	-	TC	H	AN	-	
Ste-Clotilde	-	CL*	CL*	AUV**	FID*	FID*	IR*	G	-	TC	H	AN-US	-	
Wilson	-	CL*	CL*	AUV**	-	-	-	Aβ	-	TC	H	AN	-	PR
Meyrin	DOAS*	CL* / DOAS*	CL*	AUV** / DOAS*	-	-	-	Aβ	-	TC	H	AN		
Foron	DOAS*	CL* / DOAS*	CL*	AUV** / DOAS*	-	-	-	Aβ	-	TC	H	AN	-	
Anières	DOAS*	CL* / DOAS*	CL*	AUV** / DOAS*	-	-	-	G	-	TC	H	AN-US	Py	
Passeiry	DOAS*	CL* / DOAS*	CL*	AUV** / DOAS*	-	-	-	Aβ	-	TC	H	AN-US	Py	
Montchoisy (mobile)	FUV*	CL*	CL*	AUV**	FID*	FID*	IR*	Aβ	-	TC	H	AN		PR
Aire-la-Ville (mobile)	FUV*	CL*	CL*	AUV**	-	-	-	G	-	TC	H	AN	Py	

Tableau 1. Méthodes de mesure utilisées par station et par polluant

Légendes et abréviations :

* étalonnage avec gaz de référence.

** étalon METAS (Office fédéral de METrologie et d'Accréditation Suisse).

(x / DOAS) signifie que les mesures sont faites avec un analyseur ponctuel et un DOAS.

Personnes en charge des mesures

Le groupe ROPAG (et affiliés)

Coordination : B. Lazzarotto

Construction, maintenance : H. Broillet

Calibration, maintenance : E. Delicado

Poussières, laboratoire : E. Piguet

Informatique : F. Magnin

Traitement des données : A. Jetzer

Mécanique, installation : Y. Lutzelschwab

Secrétariat : S. Pierre / I. Bowen / M. Ferré

Graphisme : C. Deléaval

Autres contributions aux mesures

Capteurs passifs, retombées

atmosphériques : Ph. Butty, P. Choraio-Rossier

Retombées atmosphériques : G. Pfister -

Laboratoire de la protection des eaux et de l'environnement (LPEE – SECOE).

4. Résultats de l'année 2007

4.1. Tableau récapitulatif

Les mesures concernent la période du 1^{er} janvier 2007 au 31 décembre 2007.

Substance	Donnée	Unité	Valeur Limite d'Immission O'Pair	Stations de mesure									
				Fixes							Mobiles		
				Ile	Ste-Clotilde	Wilson	Foron	Meyrin	Anières	Passeiry	Montchoisy	Aire-la-Ville	
NO ₂	Mes. validées	%		99.9	98	97	99	99.9	97	99.7	98	96	
	Moy. ann.	µg/m ³	30	46	35	40	24	27	18	14	40	19	
	Perc. 95	µg/m ³	100	85	73	82	59	60	47	40	80	51	
	Nb ¹ >80 µg/m ³	nb	1	6	0	2	0	0	0	0	8	0	
O ₃	Mes. validées	%		99.9	99.9	99.8	99.5	99.9	99.9	99.9	99.7	99.2	
	Moy. ann.	µg/m ³		33	36	35	44	38	47	48	38	37	
	Perc. 98	Janv.	µg/m ³	100	43	56	51	71	59	71	68	53	60
		Fév.	µg/m ³	100	65	68	62	80	67	73	80	64	66
		Mar.	µg/m ³	100	78	88	74	107	87	105	106	83	83
		Avr.	µg/m ³	100	104	119	95	132	116	133	139	116	123
		Mai.	µg/m ³	100	91	102	90	118	101	108	118	103	108
		Juin.	µg/m ³	100	92	100	88	117	93	106	114	98	97
		Juil.	µg/m ³	100	111	118	99	137	113	122	139	117	125
		Aout.	µg/m ³	100	97	110	97	123	104	107	128	99	114
		Sept.	µg/m ³	100	87	98	85	110	92	105	113	91	102
		Oct.	µg/m ³	100	55	64	65	74	61	71	80	61	66
		Nov.	µg/m ³	100	52	55	59	62	53	64	68	54	53
	Déc.	µg/m ³	100	67	69	61	68	66	68	76	65	71	
Nb ¹ >120 µg/m ³	nb	1	7	32	1	154	16	81	168	15	54		
PM10	Total	Mes. validées	%		97	100	99.8	99	99.9	96 #	99.9	99.9	
		Moy. ann.	µg/m ³	20	24	17	24	19	20	16	22	24	
		Nb ¹ >50 µg/m ³	nb	1	22	5	24	10	12	7	15	24	
	Pb	Moy. ann.	ng/ m ³	500	-	3.0	-	-	-	6.8	-	-	
Cd	Moy. ann.	ng/ m ³	1.5	-	0.14	-	-	-	0.14	-	-		
SO ₂	Mes. validées	%		96	-	-	97	95	96	84 #	99	99	
	Moy. ann.	µg/m ³	30	5	-	-	3	2	2	2	4	3	
	Perc. 95	µg/m ³	100	14	-	-	9	6	5	4	12	5	
	Nb ¹ >100 µg/m ³	nb	1	0	-	-	0	0	0	0	0	0	
CO	Mes. validées	%		-	98	-	-	-	-	-	99.8	-	
	Moy. ann.	mg/m ³		-	0.4	-	-	-	-	-	0.5	-	
	Nb ¹ >8 mg/m ³	nb	1	-	0	-	-	-	-	-	0	-	

Légendes et abréviations :



: Dépassement de la VLI O'Pair.

Mes. validées : Pourcentage de mesures validées.

Moy. ann. : Moyenne annuelle.

Perc. 95 : Percentile 95 des moyennes semi-horaires annuelles.

Perc. 98 : Percentile 98 des moyennes semi-horaires mensuelles.

Nb¹ : Nombre de moyennes horaires.

Nb¹ : Nombre de moyennes journalières.

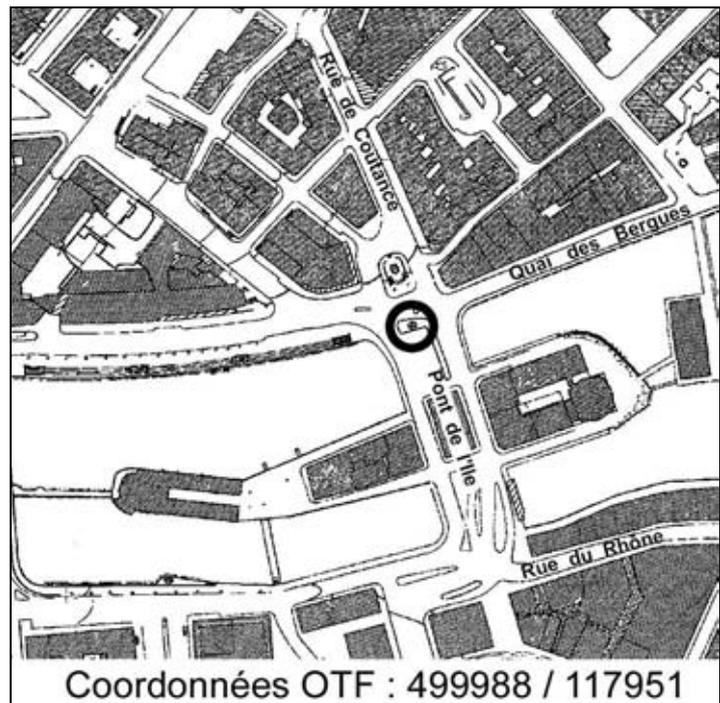
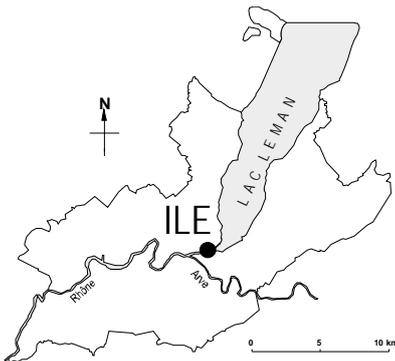
: Nombre de mesures validées insuffisant

(selon les recommandations de l'OFEV).

Nota : Mesure validée = Mesure ayant passé avec succès les contrôles (automatiques et manuels), servant à garantir la qualité et l'exactitude des mesures.

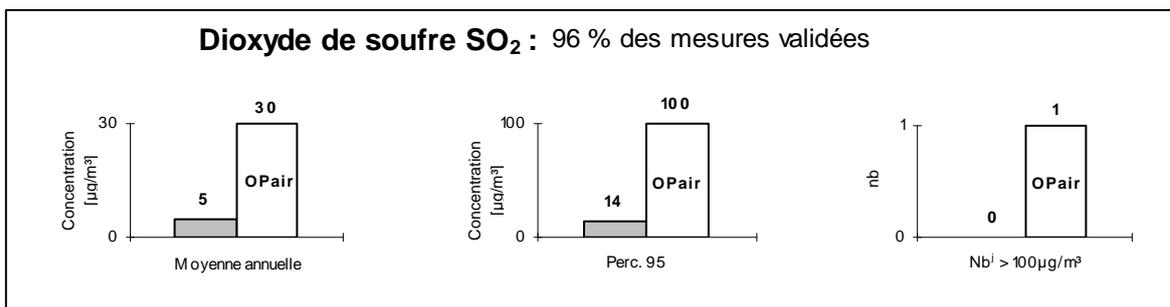
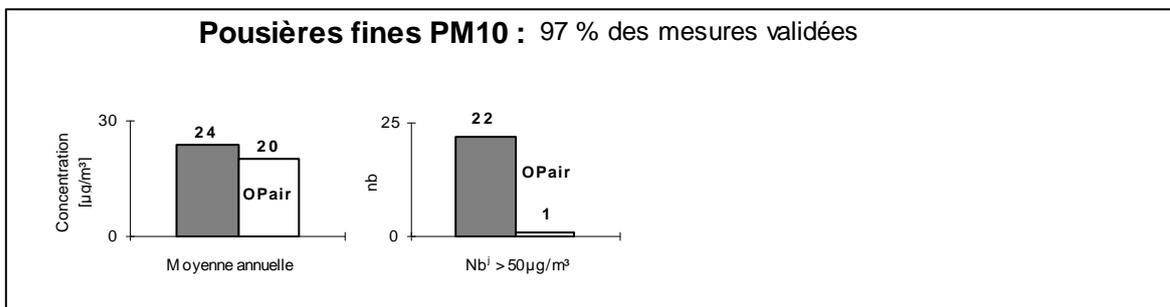
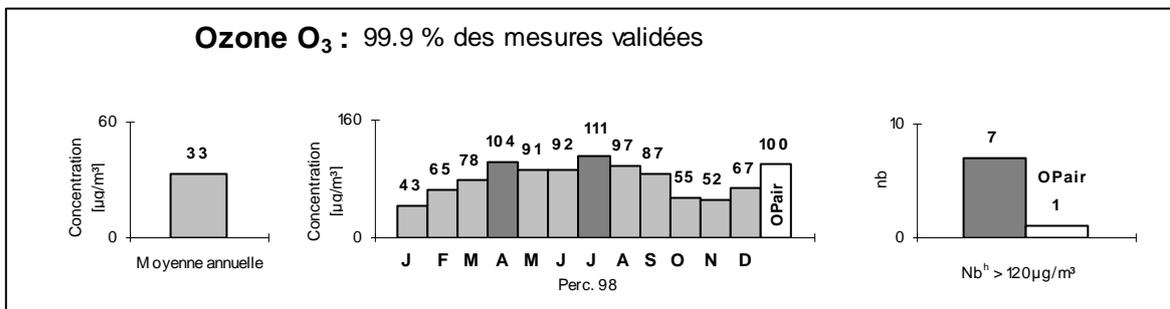
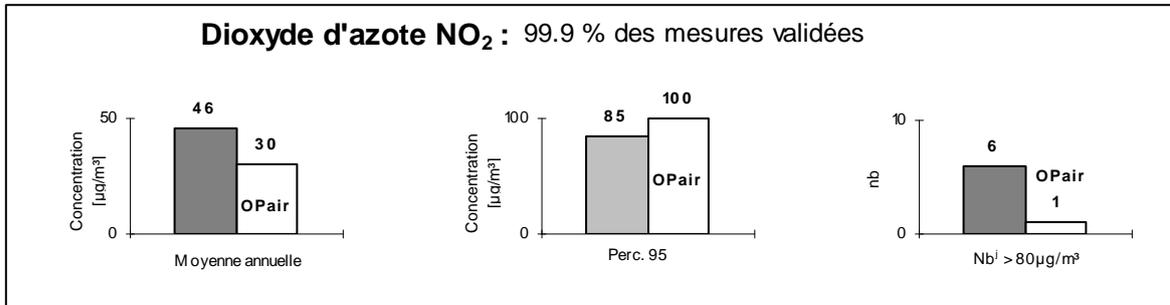
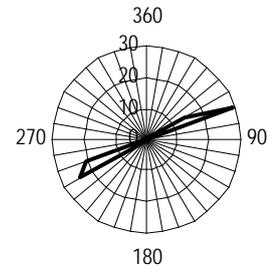
4.2. Présentation des résultats par station

Les résultats de l'année 2007, pour les 7 stations fixes et les 2 stations mobiles du ROPAG, ainsi que pour le DOAS de l'Aéroport International de Genève (AIG), sont présentés ci-après.

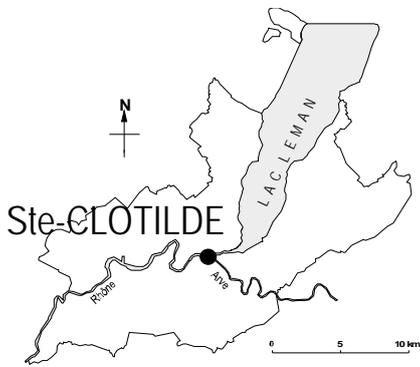


Milieu urbain

ILE

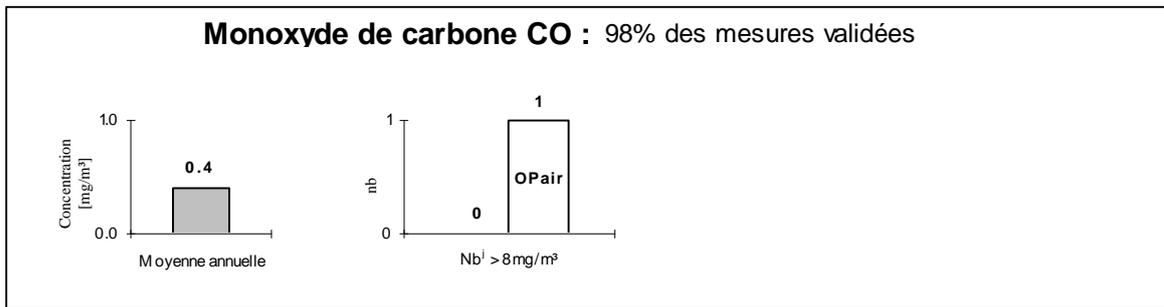
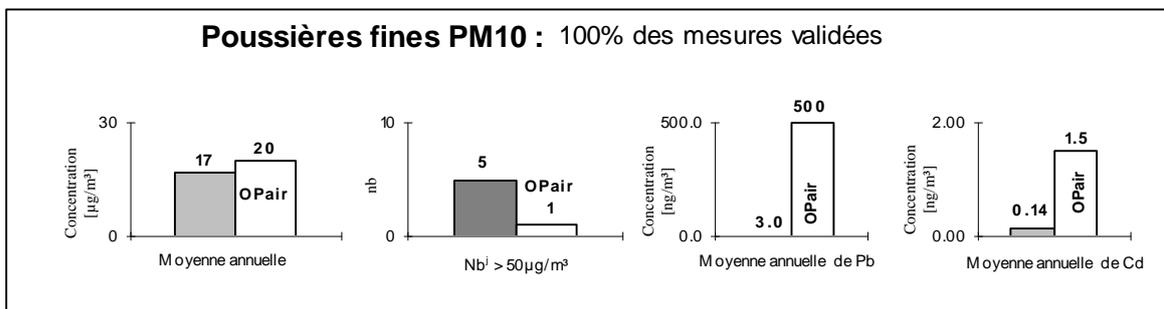
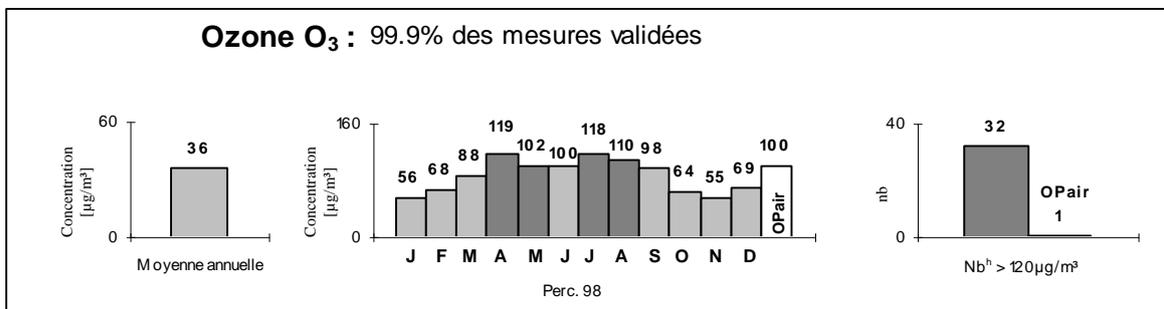
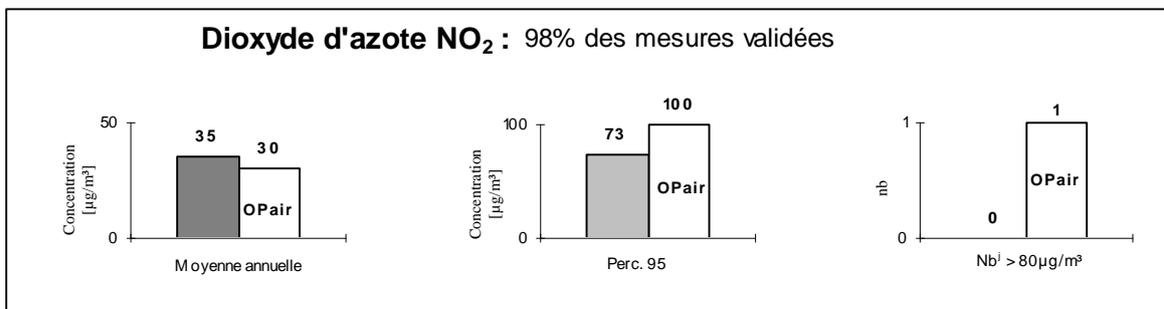
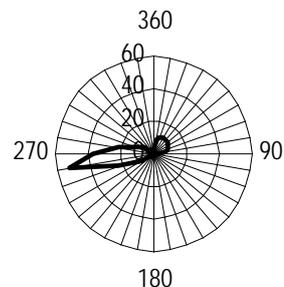


Légendes et abréviations : Se reporter au paragraphe 4.1.

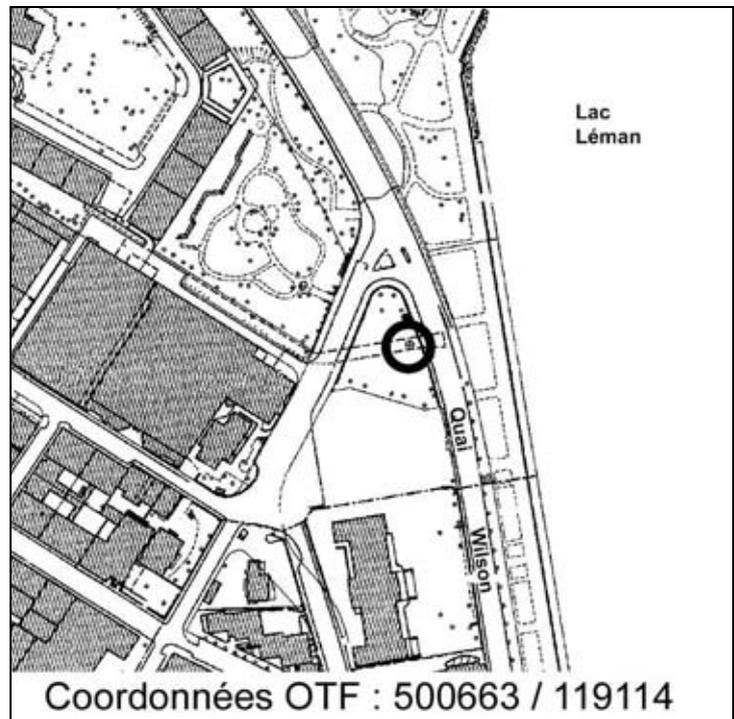
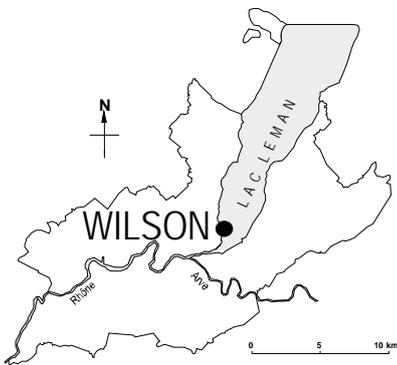


Milieu urbain

STE - CLOTILDE

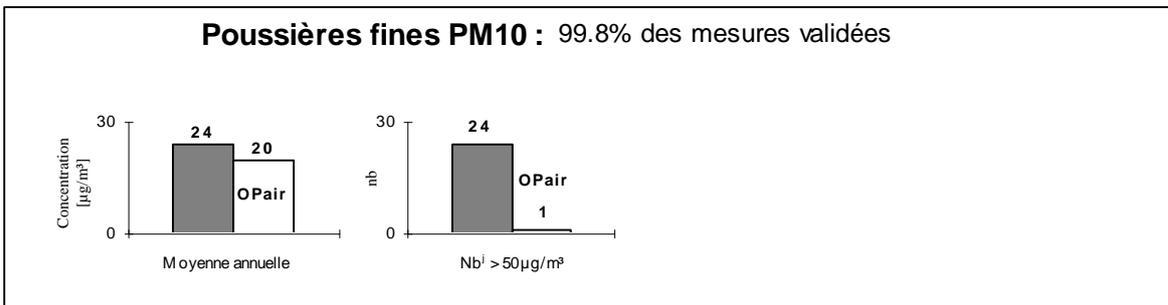
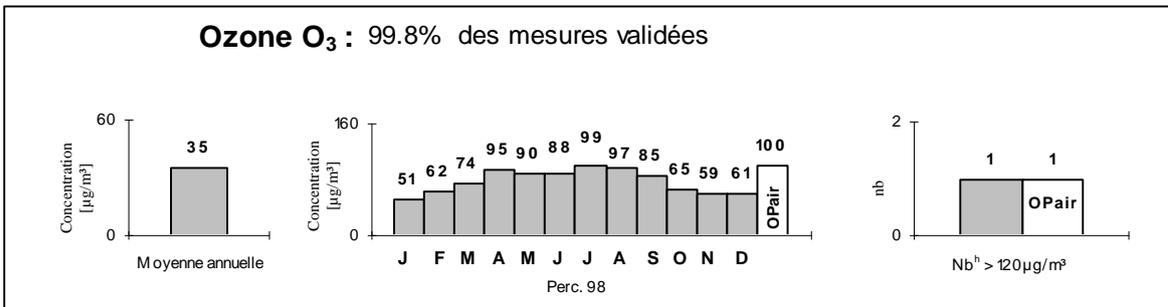
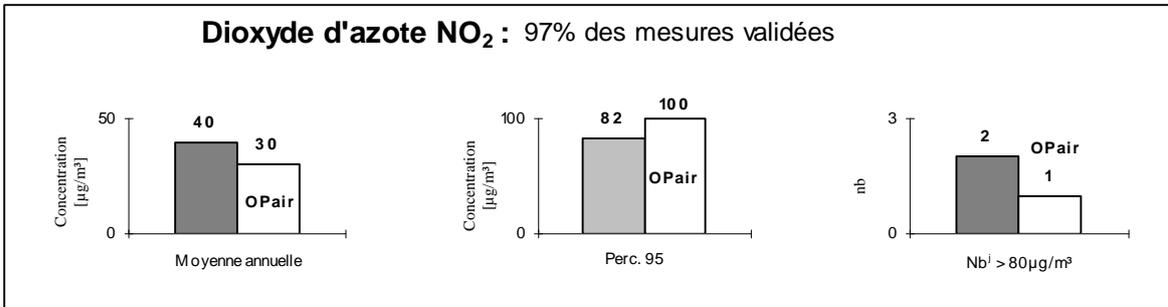
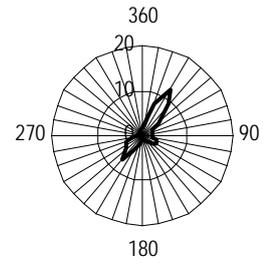


Légendes et abréviations : Se reporter au paragraphe 4.1.

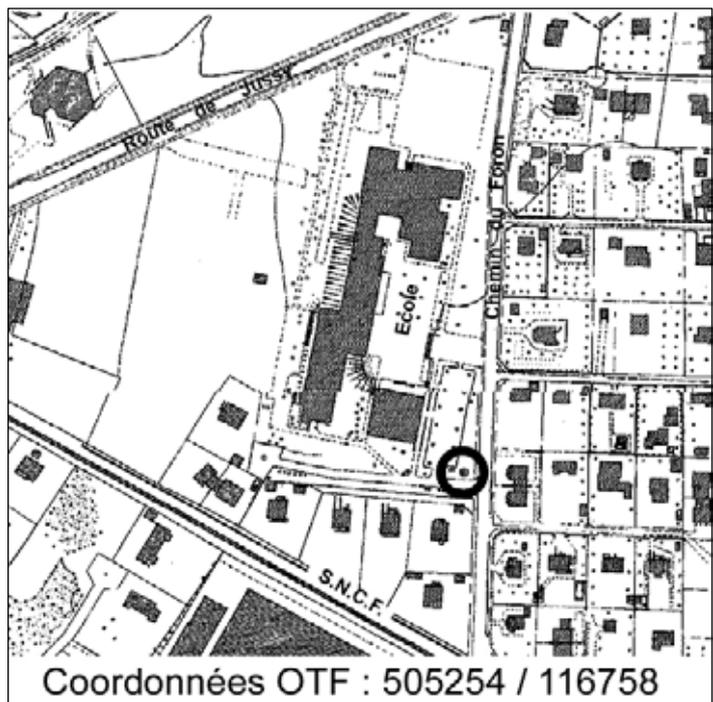
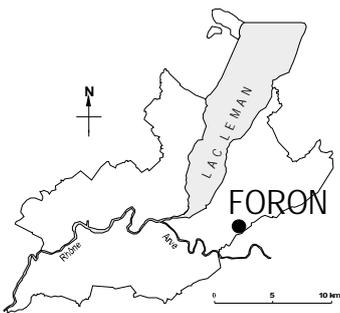


Milieu urbain

WILSON

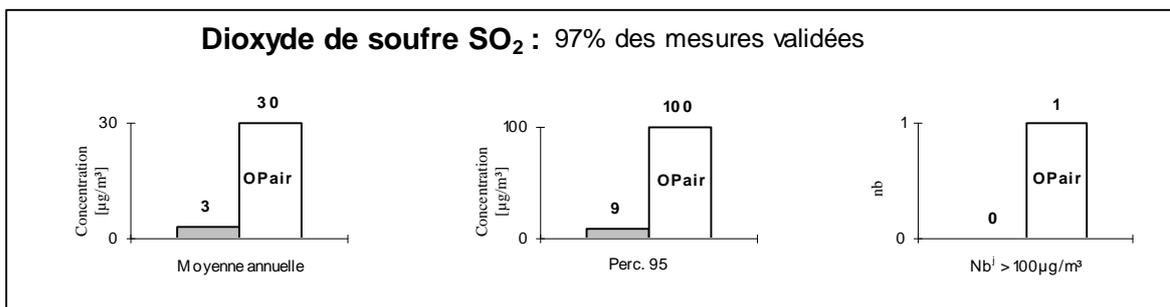
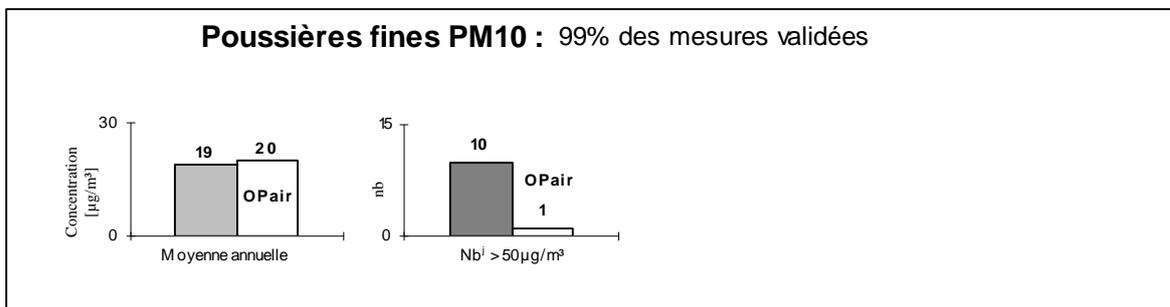
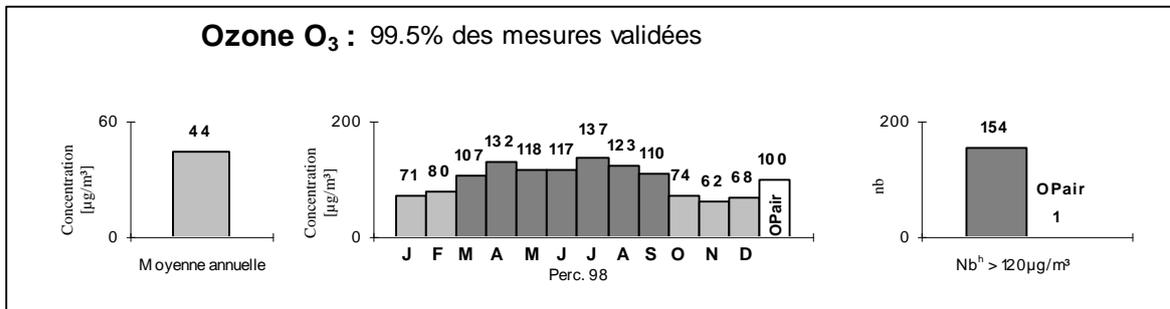
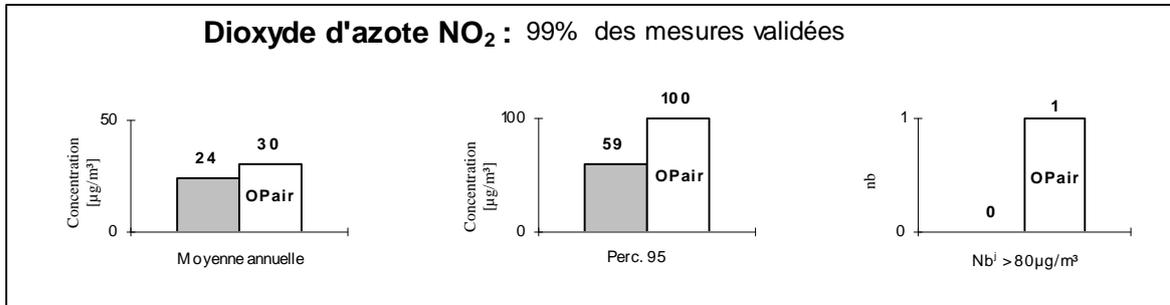
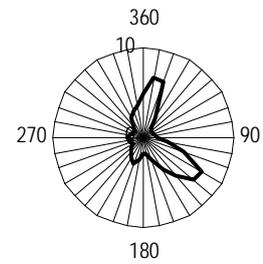


Légendes et abréviations : Se reporter au paragraphe 4.1.

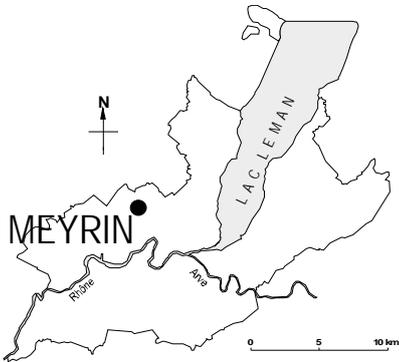


Milieu suburbain

FORON

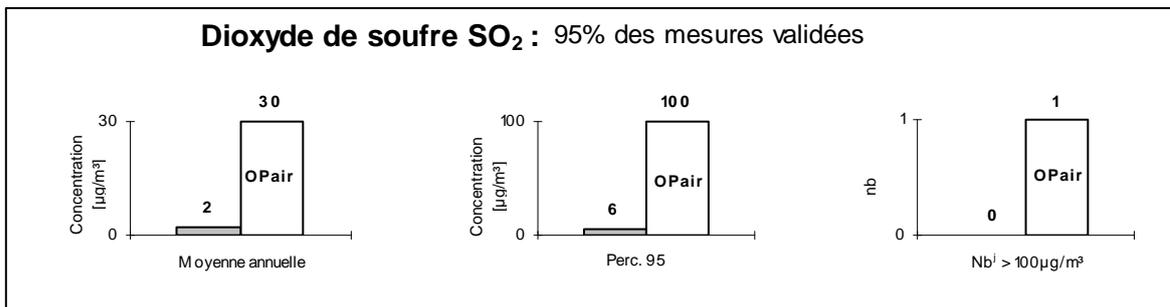
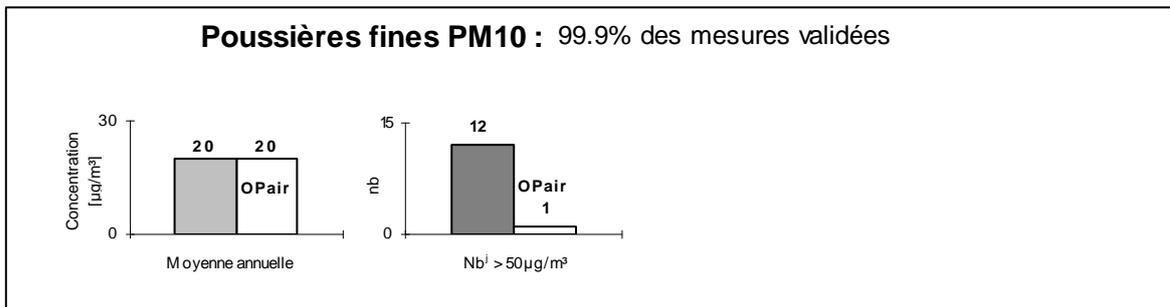
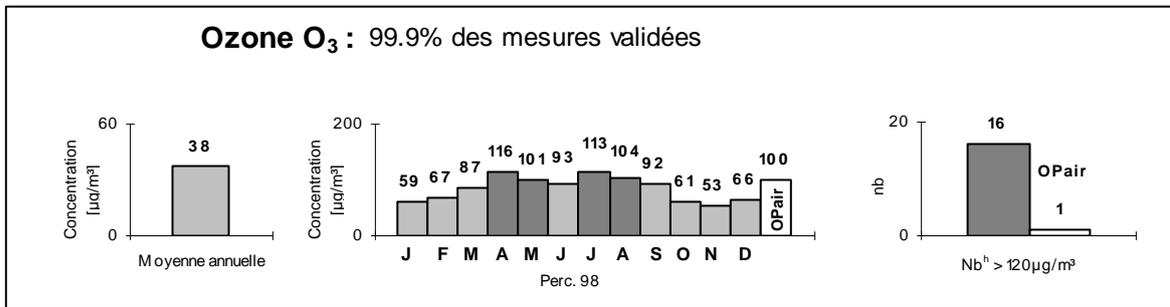
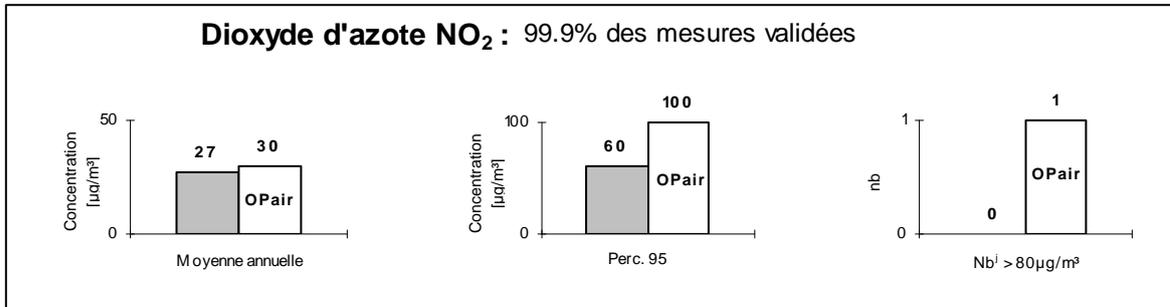
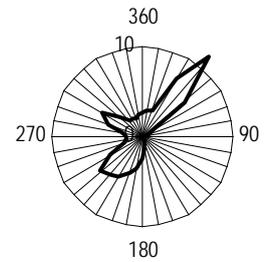


Légendes et abréviations : Se reporter au paragraphe 4.1.

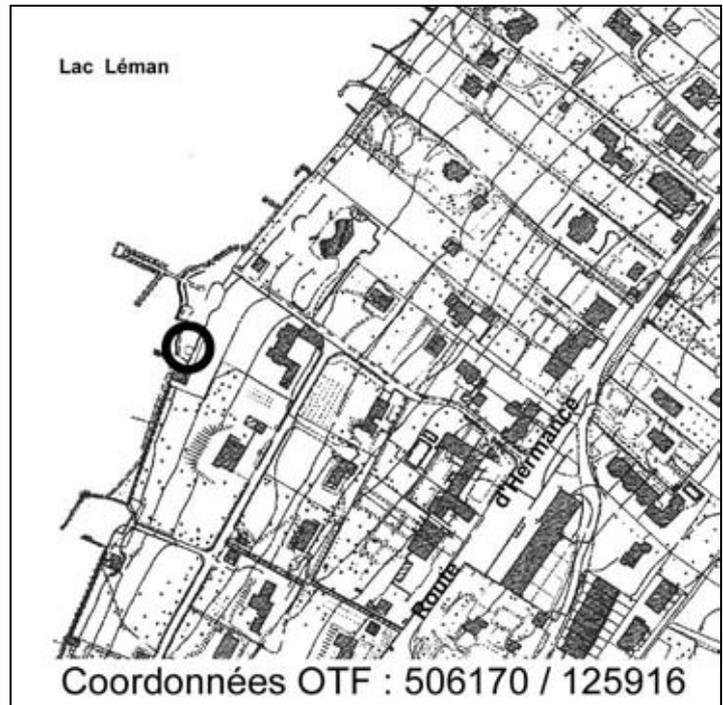
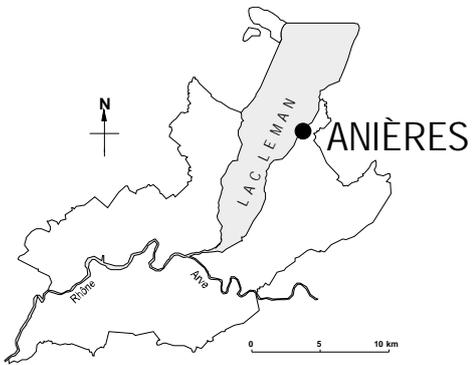


Milieu suburbain

MEYRIN

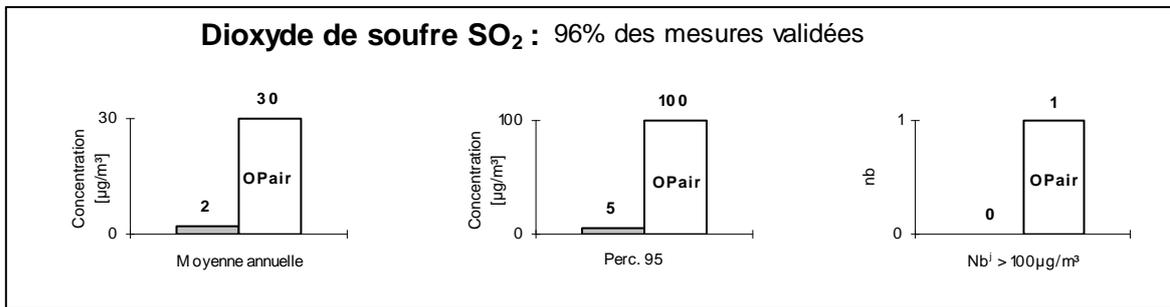
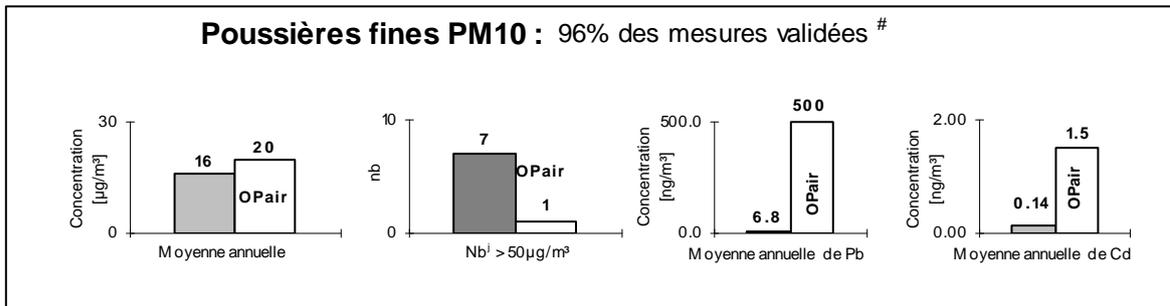
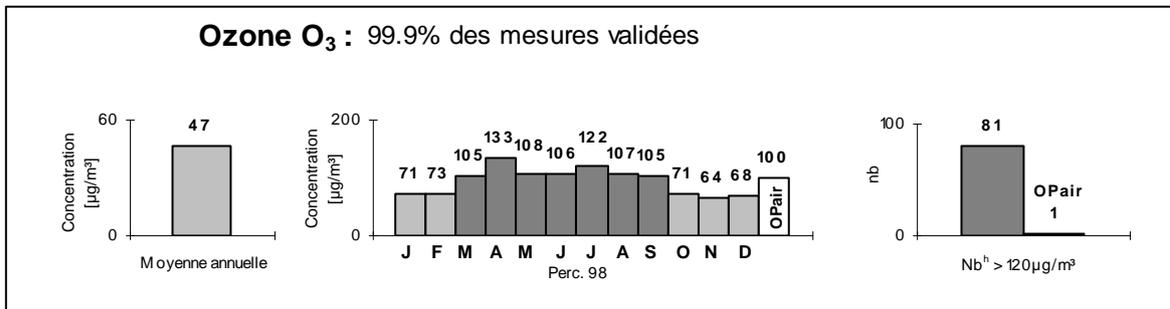
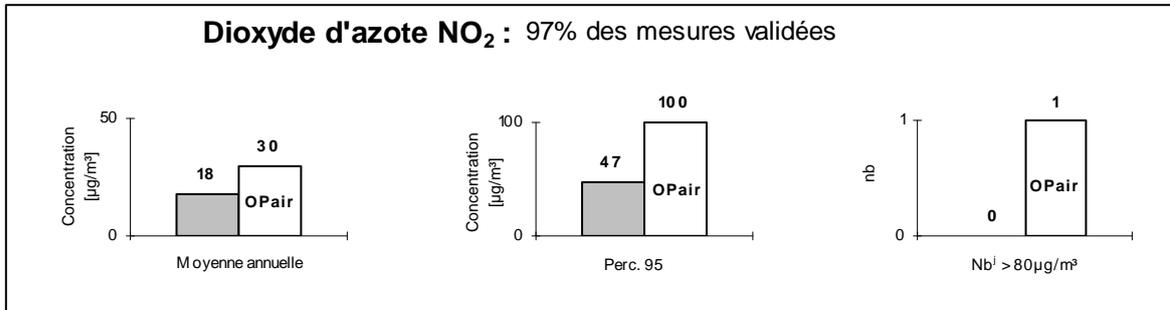
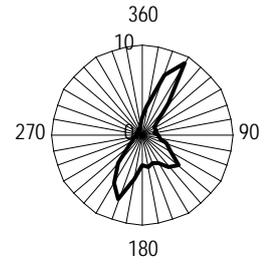


Légendes et abréviations : Se reporter au paragraphe 4.1.

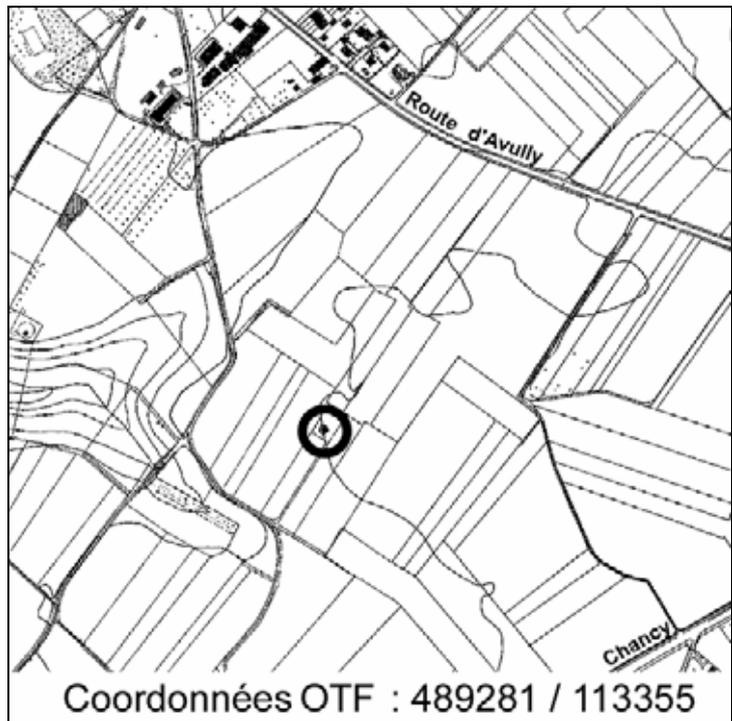
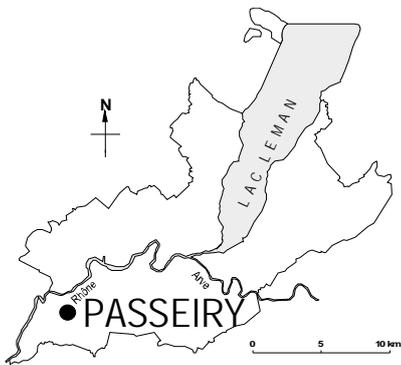


Milieu rural

ANIERES

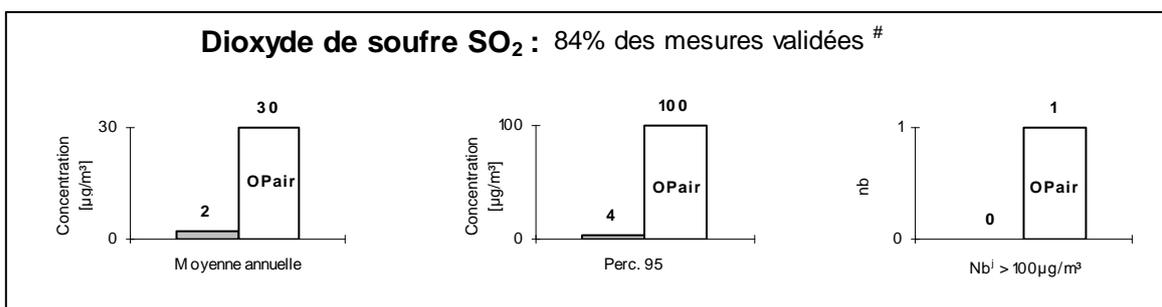
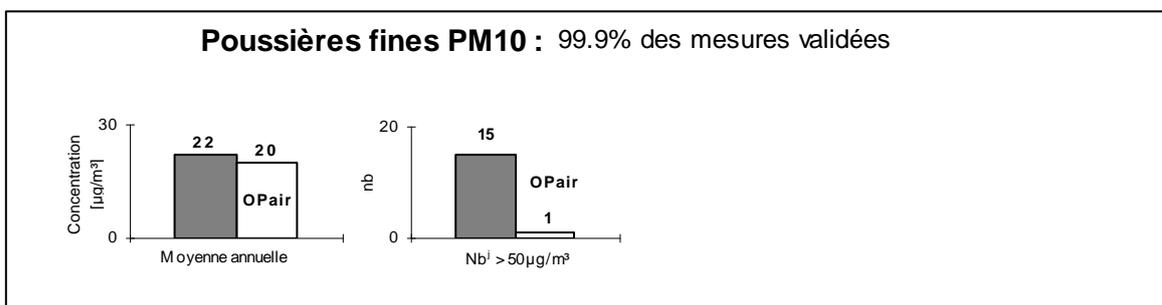
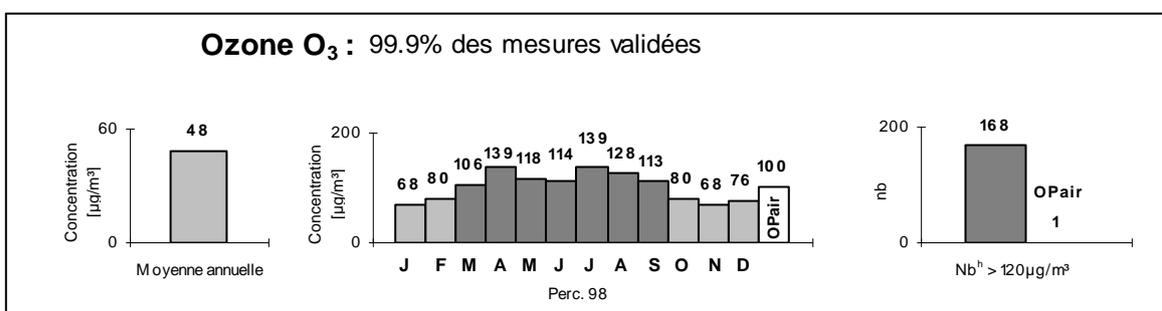
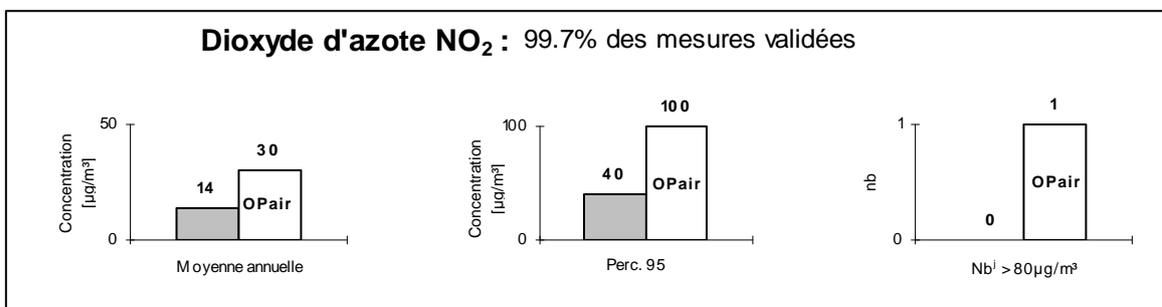
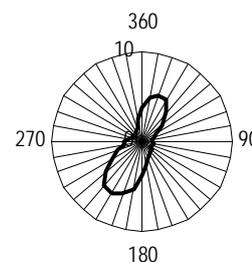


Légendes et abréviations : Se reporter au paragraphe 4.1.



Milieu rural

PASSEIRY



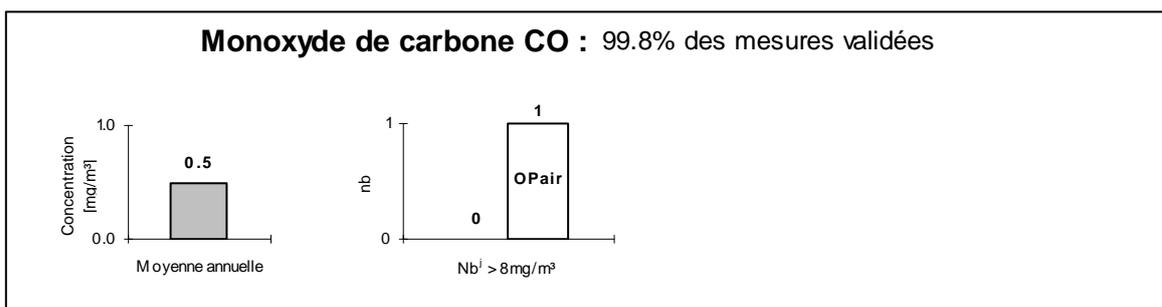
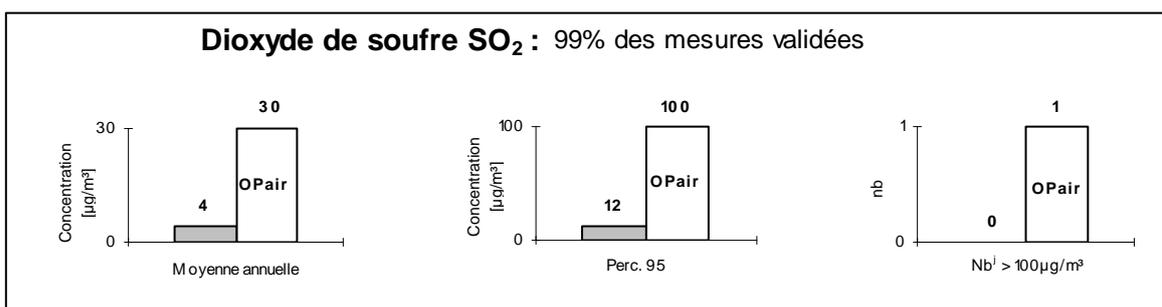
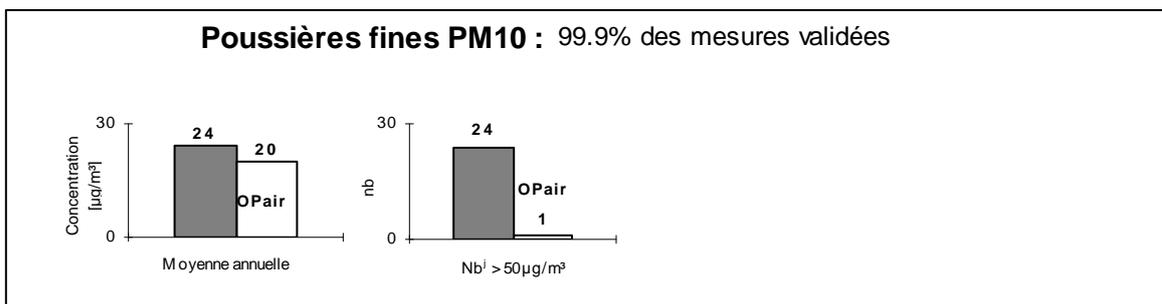
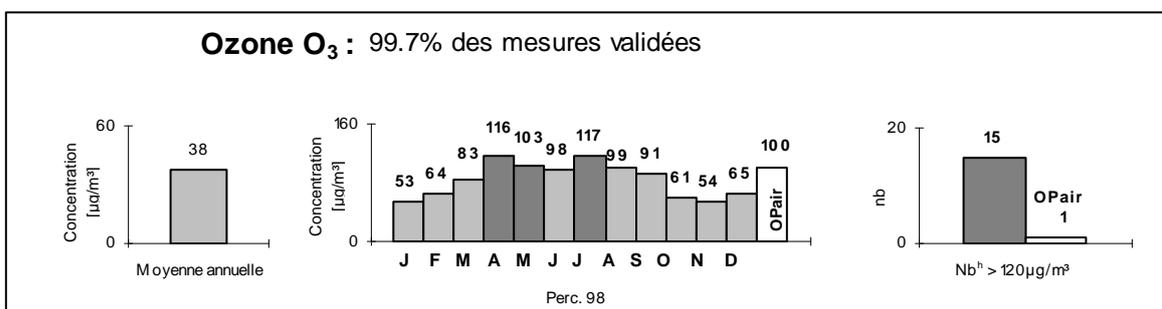
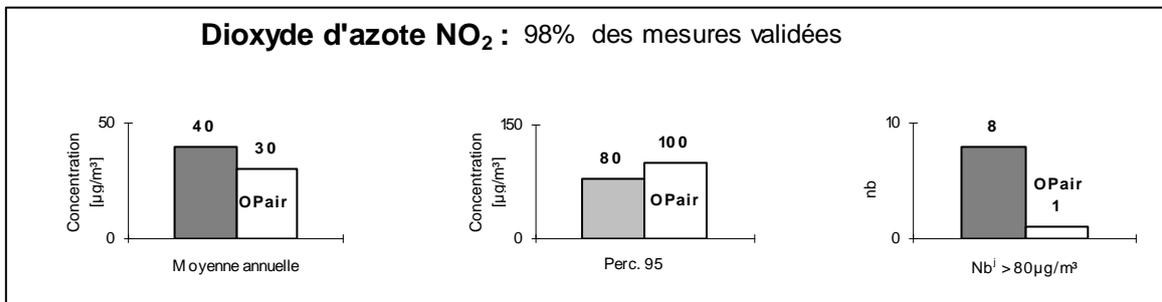
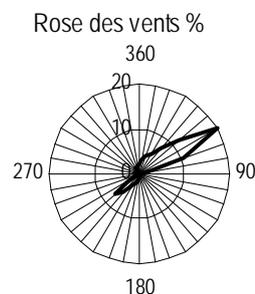
Légendes et abréviations : Se reporter au paragraphe 4.1.



Coordonnées OTF : 501515 / 117819

Station mobile (milieu urbain)

MONTCHOISY



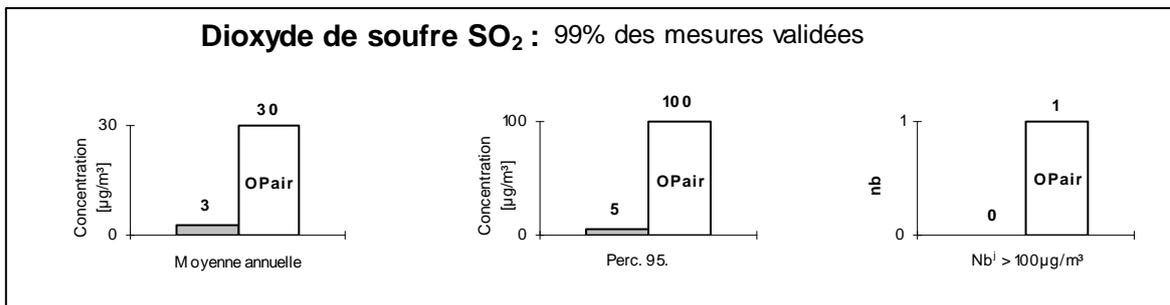
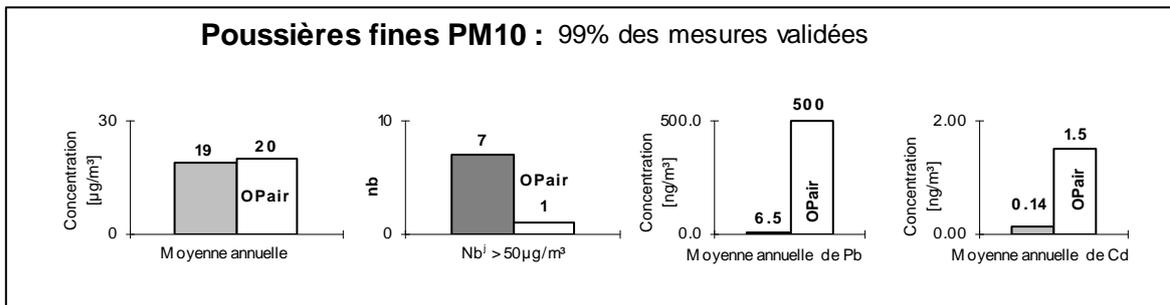
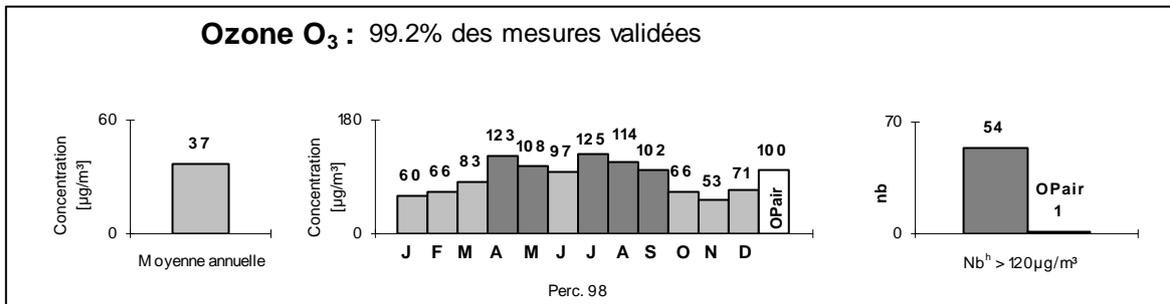
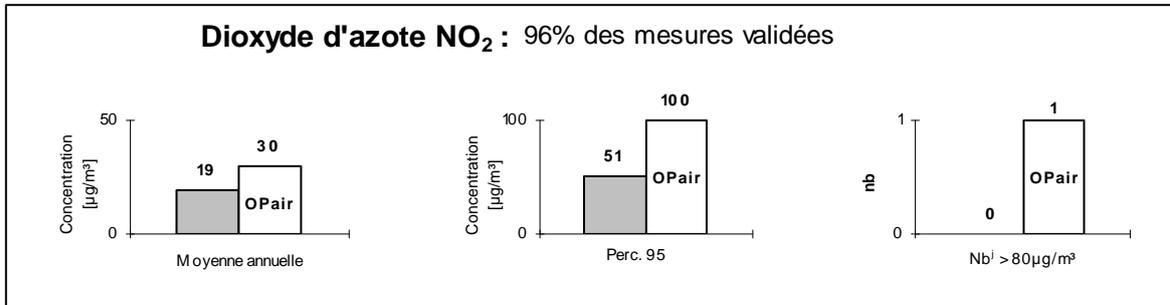
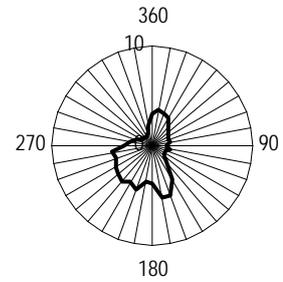
Abréviations : Se reporter au paragraphe 4.1.



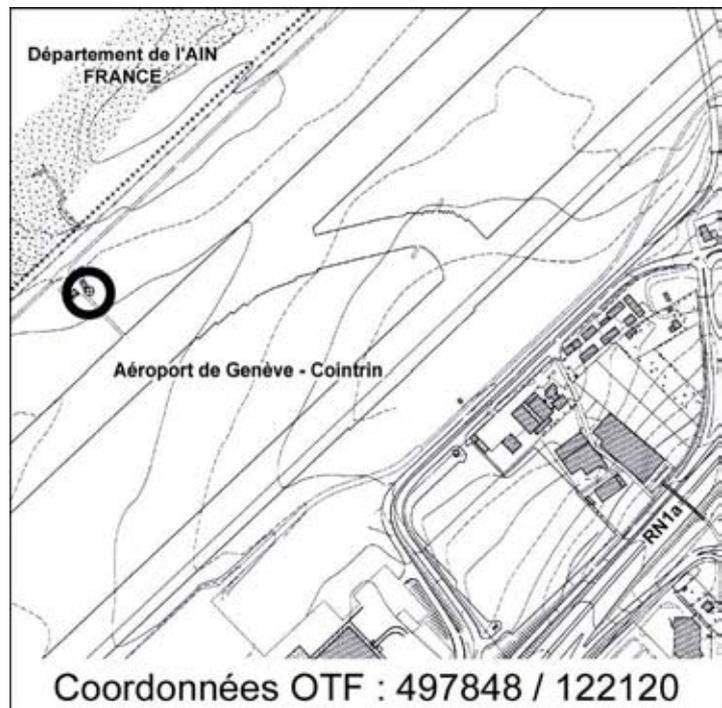
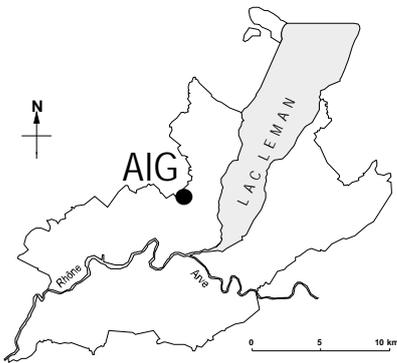
Coordonnées OTF : 492427 / 116640

Station mobile (milieu rural)

AIRE-LA-VILLE

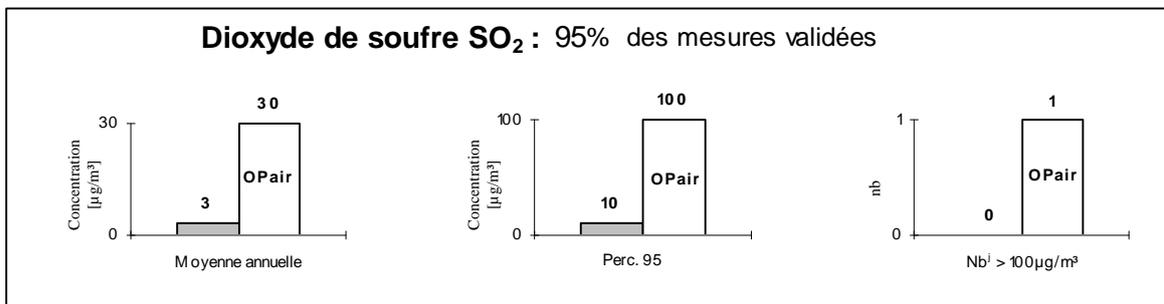
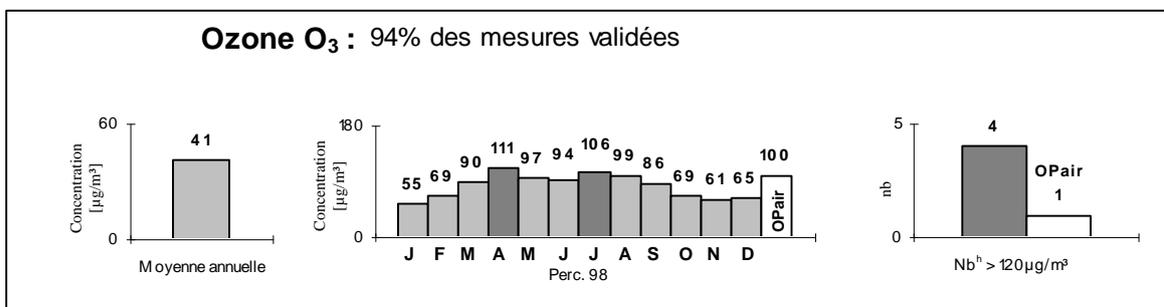
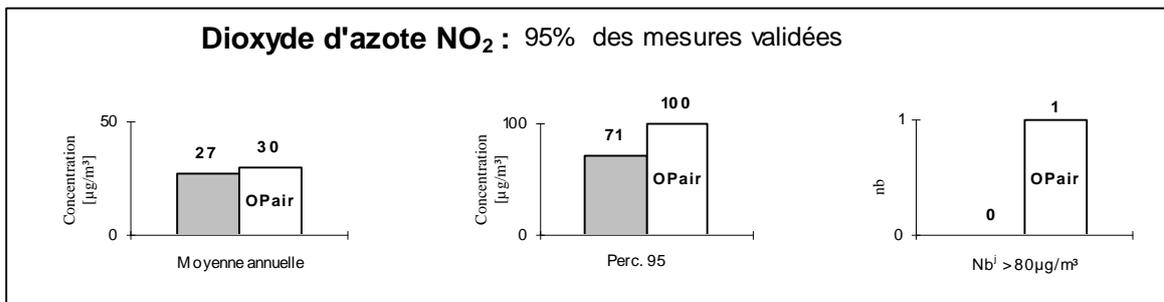
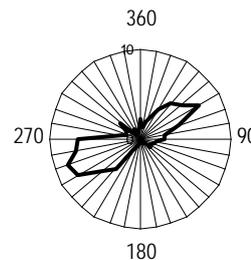


Abréviations : Se reporter au paragraphe 4.1.



AIG

(Aéroport International de Genève)



Légendes et abréviations : Se reporter au paragraphe 4.1.

4.3. Retombées de poussières

Les retombées de poussières et les hydrométéores (pluie, grêle, neige) sont recueillis chaque mois dans des récipients de verre, de forme cylindrique de 10 cm de diamètre, appelés "Bergerhoff". Après avoir éliminé l'eau par évaporation, on procède à la pesée du résidu sec ainsi qu'à la détermination des concentrations en plomb, cadmium et zinc de celui-ci.

Les relevés et les analyses sont effectués conformément à la norme allemande VDI 2119, qui en fixe le cadre et fait foi en Suisse.

Le tableau ci-après résume les résultats de l'année 2007.

Station	Concentration des retombées de poussières			
	Total [mg /	Plomb [µg / (m ² -d)]	Cadmium [µg / (m ² -d)]	Zinc [µg / (m ² -d)]
VLI OPair	200	100	2	400
ILE	79	35	0.14	205
STE-CLOTILDE	45	11	0.13	345
WILSON	48	10	0.09	305
FORON	24	3	0.02	102
ANIERES	45	2	0.03	8
PASSEIRY	34	4	0.05	9
Aire-la-Ville (stat. mobile)	31	3	0.08	23

Les concentrations demeurent en dessous des VLI OPair. Par rapport à l'année précédente, on constate une relative stabilisation des concentrations.

** d : day

5. Evolution de la qualité de l'air

5.1. Dioxyde d'azote (NO₂)

5.1.1. Généralités

Les oxydes d'azote (NO_x), terme qui comprend le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO₂), résultent de la décomposition et de la recombinaison, à haute température, de l'azote et de l'oxygène présents dans l'air. Ils sont issus principalement des processus de combustion (carburants dans les moteurs de voitures et combustibles dans les chaufferies) et d'incinération.

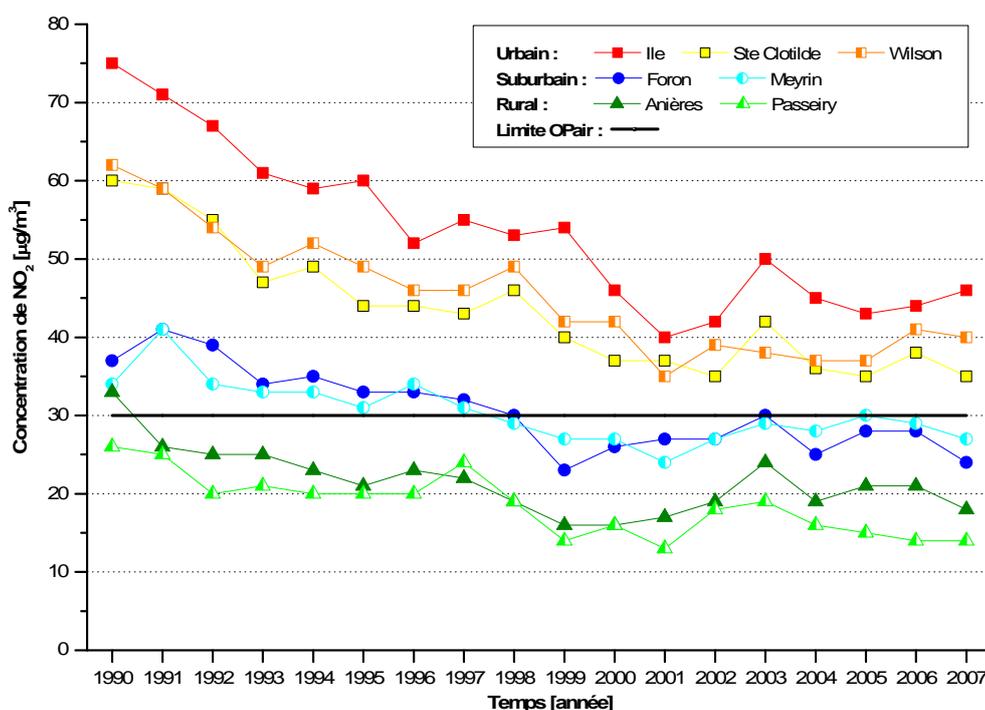
L'obligation depuis 1986 d'équiper les nouvelles voitures à essence de catalyseurs, ainsi que différents procédés industriels, ont permis de faire baisser la pollution au NO₂. Cependant, avec l'augmentation du nombre de véhicules et des kilomètres parcourus, de la demande énergétique, ainsi que du volume des déchets incinérés, cette tendance s'est inversée dans le canton de Genève depuis le début des années 2000.

Le NO₂ est un gaz particulièrement oxydant. Des études en laboratoire montrent qu'avec les concentrations rencontrées en atmosphère polluée, les personnes souffrant d'asthme peuvent subir une augmentation des réactions bronchiques; pour les sujets sains, le seuil se situe beaucoup plus haut. Le NO₂ est associé à toute une série de maux dont le plus important serait l'augmentation des décès anticipés par affections cardio-vasculaire et respiratoire.

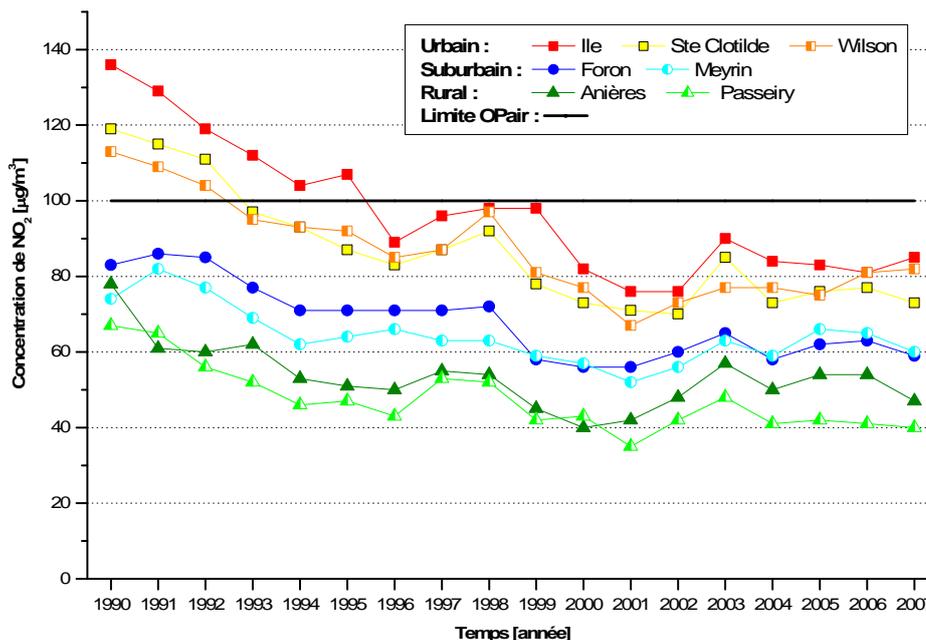
Outre l'effet d'acidification et d'eutrophisation des milieux, les NO_x modifient la biodiversité au détriment des plantes peu adaptées aux substrats azotés.

Les NO_x en tant qu'éléments d'acidification des pluies, participent à la corrosion des matériaux - comme la pierre calcaire - et dégradent les vitrages et les vitraux.

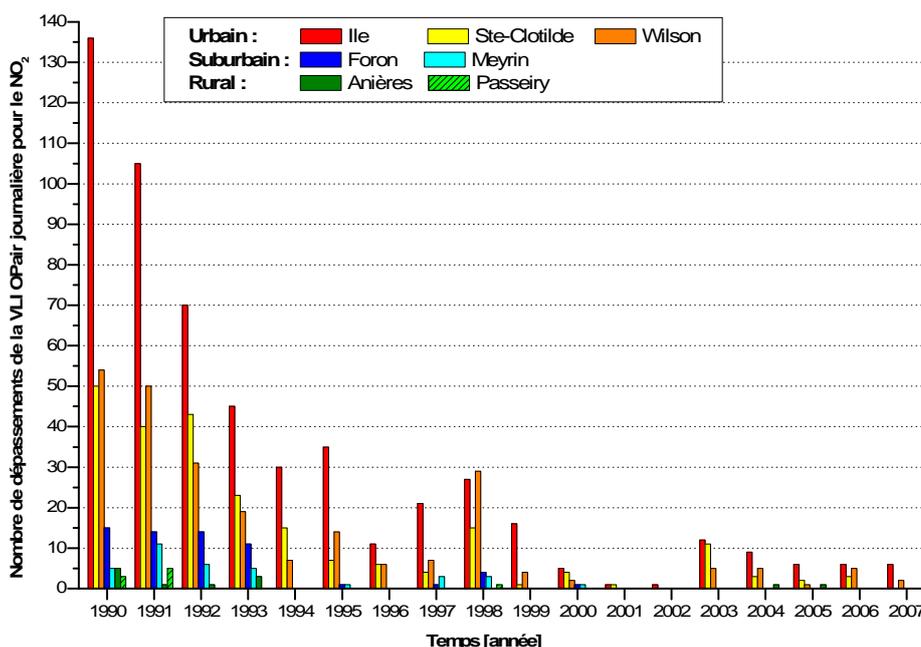
5.1.2. Moyenne annuelle



5.1.3. Percentile 95 des moyennes semi-horaires annuelles



5.1.4. Nombre de dépassements de la VLI OPair journalière



5.1.5. Bilan

Après une longue période d'amélioration durant les années 1990, l'année 2007 confirme la relative stabilisation des concentrations moyennes annuelles de NO₂ depuis 2000-2001. Pour les stations rurales et suburbaines, ces concentrations se situent au-dessous de la VLI OPair annuelle, celle-ci étant approchée dans le cas suburbain. Dans le cas des stations urbaines, les moyennes annuelles continuent à dépasser la VLI OPair annuelle.

La très nette diminution du nombre de dépassements de la valeur limite journalière constatée sur la période allant de 1990 à 2000 s'est elle aussi ralentie pendant la période 2000-2007.

5.2. Ozone (O₃)

5.2.1. Généralités

L'ozone est une molécule très réactive qui est naturellement présente dans l'air ambiant à de très faibles concentrations. La pollution d'origine anthropique perturbe l'équilibre fragile des processus qui créent et détruisent l'ozone. Ce «mauvais» ozone doit être distingué de la couche de «bon» ozone qui, à haute altitude (10-50 km), nous protège du rayonnement ultraviolet du soleil et qu'il faut absolument préserver.

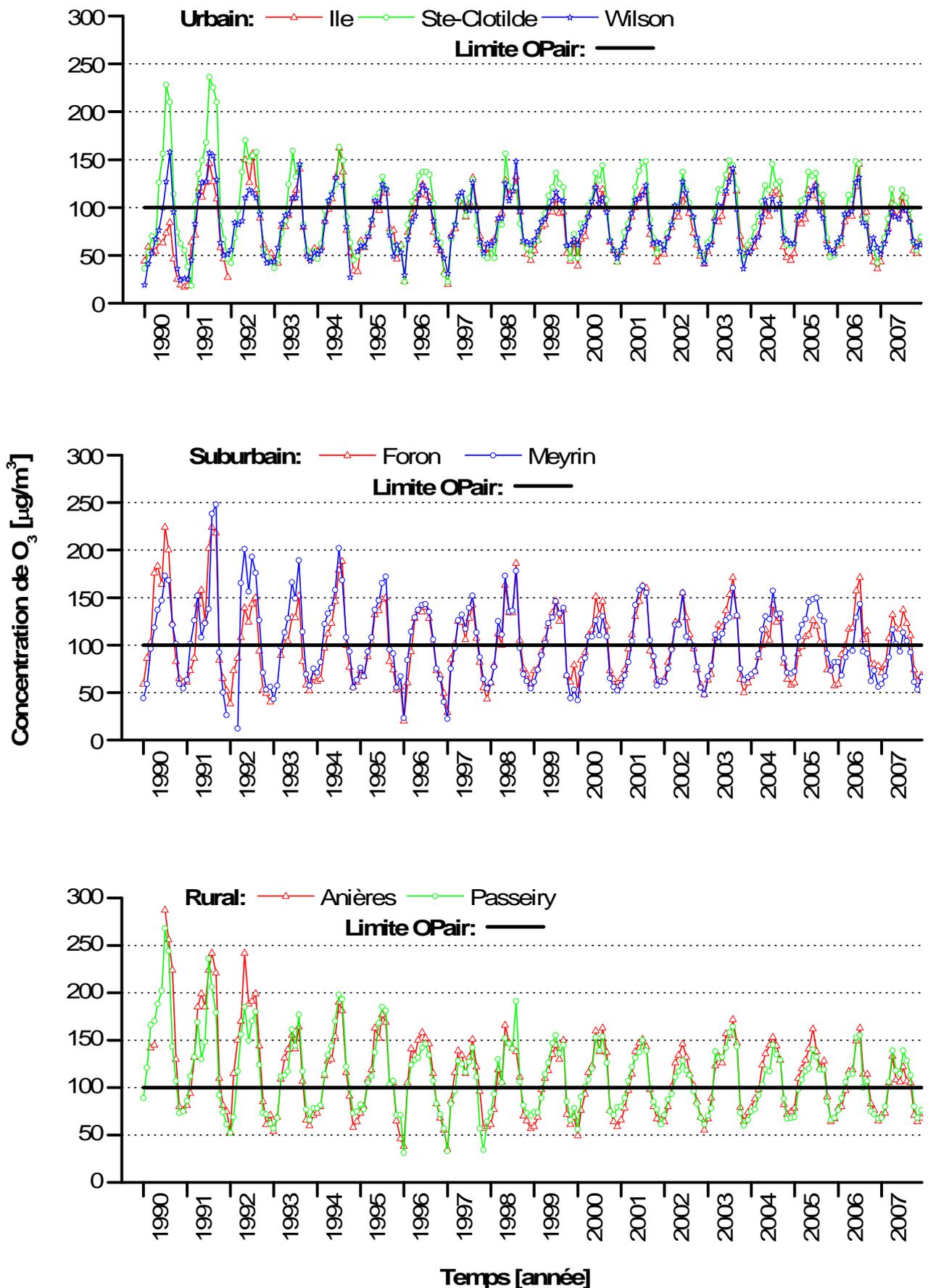
Près du sol, certains gaz polluants - qualifiés de « primaires » ou « précurseurs » - provenant du trafic routier ou des chauffages (oxydes d'azote - NO_x) ainsi que des émanations de solvants ou de carburants (composés organiques volatils - COV) contribuent à la formation d'ozone sous l'effet du soleil. En ce sens, l'ozone est différent des autres polluants car il n'est pas directement émis mais formé à partir de précurseurs : on parle alors de polluant secondaire. Au-delà d'une certaine concentration, l'ozone proche du sol nuit à la santé et à l'environnement. La pollution à l'ozone est souvent plus élevée à la campagne qu'en ville, surtout en périphérie d'une grande ville ou d'une zone industrielle. Ceci est dû au fait que les polluants primaires contribuent à la fois à former et à détruire l'ozone.

L'ozone a la propriété de pénétrer profondément dans les poumons, jusque dans les alvéoles. C'est un puissant oxydant qui a pour effet de diminuer la capacité respiratoire et d'augmenter la réactivité des bronches. Pour certaines personnes, ces effets se traduisent par des difficultés respiratoires plus ou moins fortes, suivant leur sensibilité, la concentration du polluant, la durée d'exposition et l'intensité de leur activité physique. Outre le système respiratoire, l'ozone peut causer des irritations oculaires. De plus, il existe une relation significative entre les niveaux élevés d'ozone et la surmortalité, ainsi que l'augmentation du nombre d'hospitalisations pour cause d'affections cardio-vasculaire et, surtout, respiratoire.

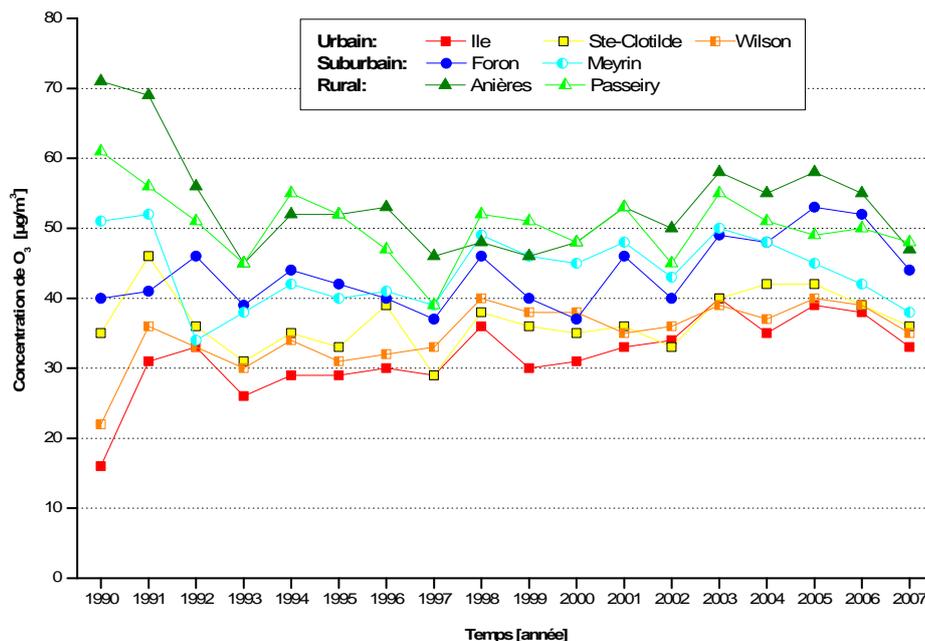
L'effet de l'ozone sur les végétaux reste variable et dépend de l'espèce. Il perturbe entre autre le cycle photosynthétique de la plante, la rendant sensible aux sécheresses et déséquilibrant son cycle nutritif ce qui induit des nécroses et/ou des baisses de rendement pour les cultures. L'ozone serait aussi à l'origine des modifications du peuplement floristique, défavorisant les espèces plus sensibles à cette pollution. L'ozone participe aussi à l'acidification des milieux : en raison de son fort pouvoir oxydant, il augmente la rapidité de transformation des oxydes de soufre en sulfates et des oxydes d'azote en nitrates.

L'ozone n'a pas d'effet connu sur la pierre. Pour d'autres matériaux, tels que certains plastiques ou les papiers, il provoque un vieillissement prématuré et efface la couleur de certaines encres.

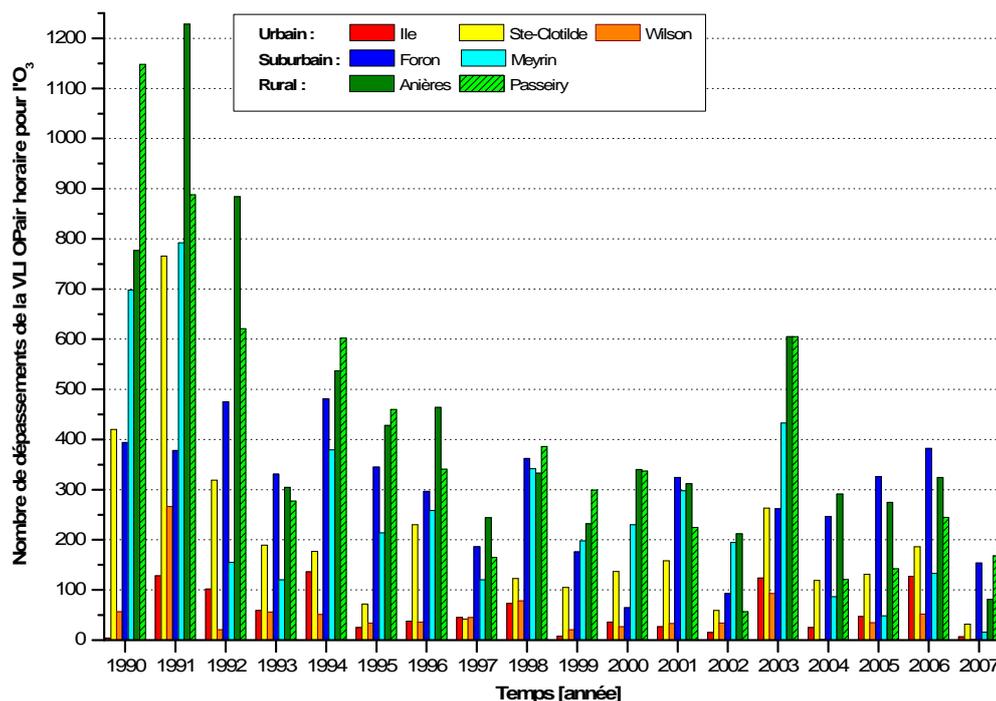
5.2.2. Percentile 98 des moyennes semi-horaires mensuelles



5.2.3. Moyenne annuelle^{††}



5.2.4. Nombre de dépassements de la VLI OPair horaire



5.2.5. Bilan

La pollution à l'ozone a connu en 2007 une amélioration, en grande partie imputable aux conditions météorologiques peu propices à la formation de ce polluant. Les immissions d'ozone sont cependant demeurées excessives pour toutes les stations.

^{††} La moyenne annuelle pour l'ozone n'est pas fixée dans l'OPair

5.3. Poussières fines (PM10)

5.3.1. Généralités

Ces poussières de natures diverses sont émises dans l'atmosphère par les processus de combustion (trafic routier, chauffage, incinération des déchets), par certains procédés industriels ou par des phénomènes de friction (usure des freins de véhicules tels que trains, automobiles, etc.). On peut distinguer les particules dites « primaires » qui sont émises directement, des particules « secondaires », formées par exemple par agrégation. Au niveau planétaire la majorité des émissions serait d'origine naturelle (environ 80 %) mais il faut préciser que la caractérisation des émissions de particules est très délicate. A l'échelle locale, dans les pays industrialisés, la part anthropique est importante.

La taille des poussières est déterminante quant aux effets qu'elles induisent sur la santé. Les poussières dont le diamètre est inférieur à 10 μm sont appelées PM10 (par analogie, les PM2.5 sont les poussières dont le diamètre est inférieur à 2.5 μm). Alors que les plus grosses (supérieures à 10 μm) sont arrêtées par les voies respiratoires supérieures, les particules fines ont un plus fort impact sur la santé humaine : elles peuvent pénétrer dans le système respiratoire, d'autant plus profondément qu'elles sont petites, et ce jusque dans les alvéoles pulmonaires. Certaines d'entre elles sont cancérigènes (les suies de diesel par exemple). Ces particules fines augmentent la sensibilité aux allergènes et plusieurs études les rendent responsables de l'augmentation du nombre des hospitalisations pour raison d'asthme ou de bronchite chronique, ainsi que de la mortalité par défaillance cardio-vasculaire.

Les particules induisent une baisse de croissance chez les végétaux ainsi qu'une nécrose végétale, notamment autour d'industries comme les cimenteries.

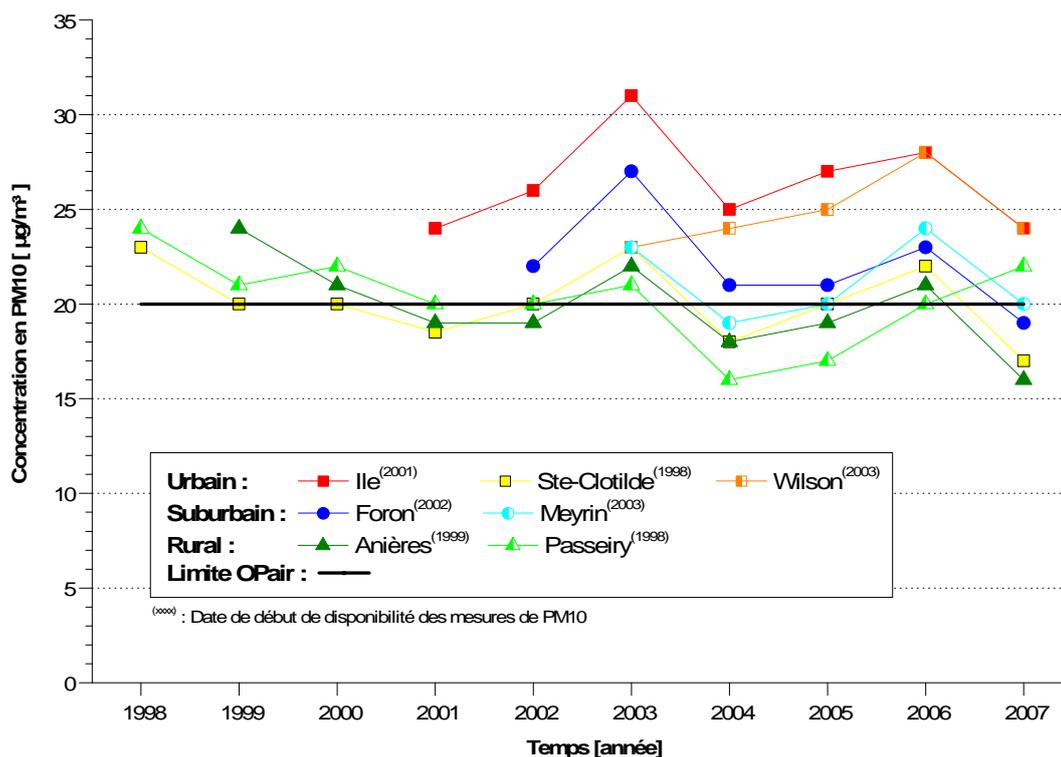
Elles participent à la détérioration des bâtiments en se déposant sur les pierres et se cimentent par la cristallisation des sels pour former une croûte noire sous laquelle la pierre se désagrège. Les propriétés superficielles des pierres sont modifiées, limitant le séchage et favorisant les éclatements.

Nota 1 : Avant 1998, ce sont les poussières en suspension totales (TSP^{††}) qui étaient mesurées. Suite à une modification de l'annexe 7 de l'OPair, en vigueur depuis le 1^{er} mars 1998, on ne mesure plus que les poussières en suspension dans l'air dont le diamètre aérodynamique est inférieur à 10 μm (PM10). Seul le paramètre PM10 a été représenté dans les figures ci-après.

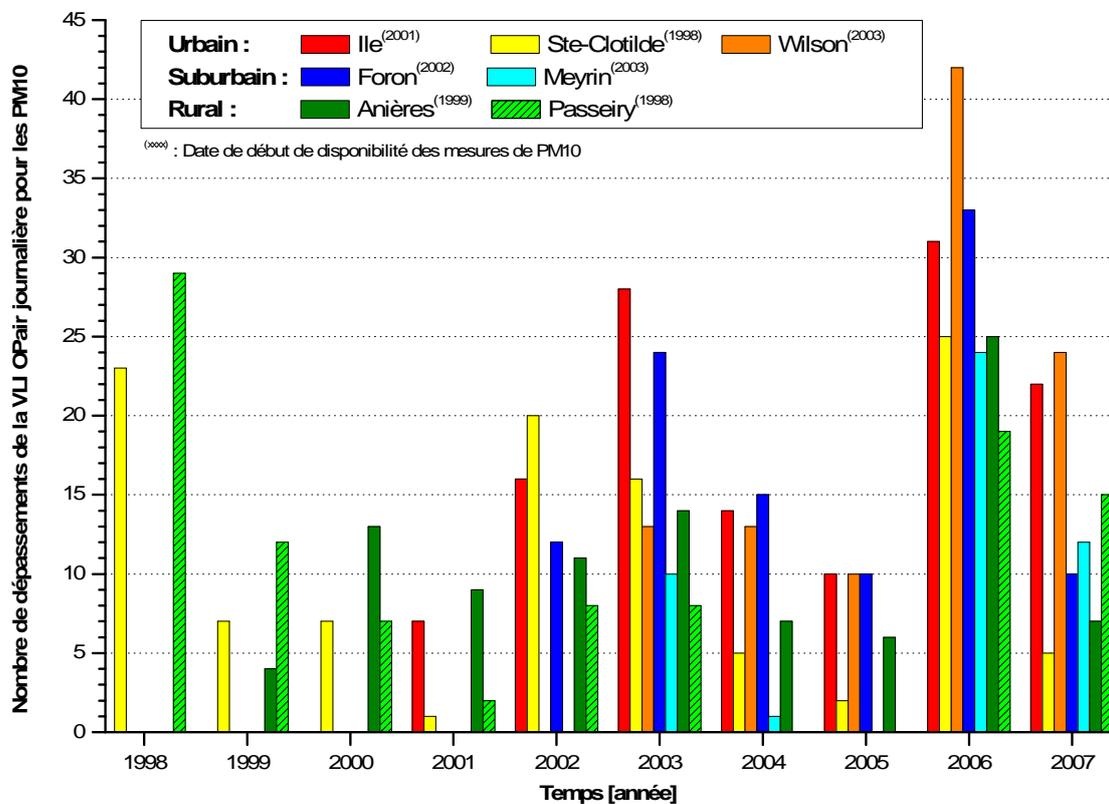
Nota 2 : Conformément aux recommandations de la Confédération et suivant le rapport de l'INFRAS "PM10 - umrechnungsmodelle für TEOM - und betameter - messreihen" de janvier 2005, nous avons appliqué un facteur de correction sur les mesures de PM10 effectuées au moyen d'un TEOM (station de l'Ile). Ceci peut expliquer des divergences avec les mesures présentées dans les précédents bilans annuels. A noter que, depuis la mi 2006, le TEOM de l'Ile a été équipé d'un système (FDMS) qui rend désormais caduque l'application de ce facteur.

^{††} TSP : Total suspended particulates

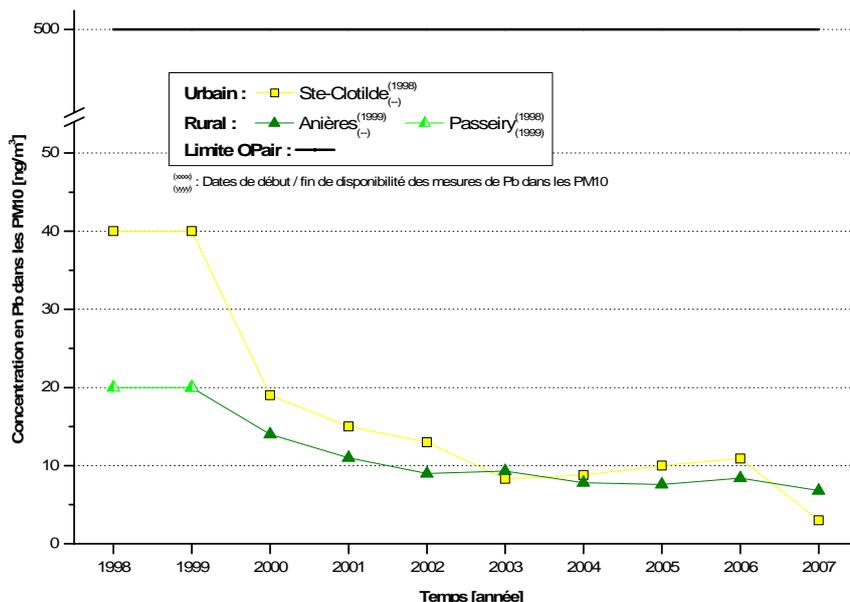
5.3.2. Moyenne annuelle



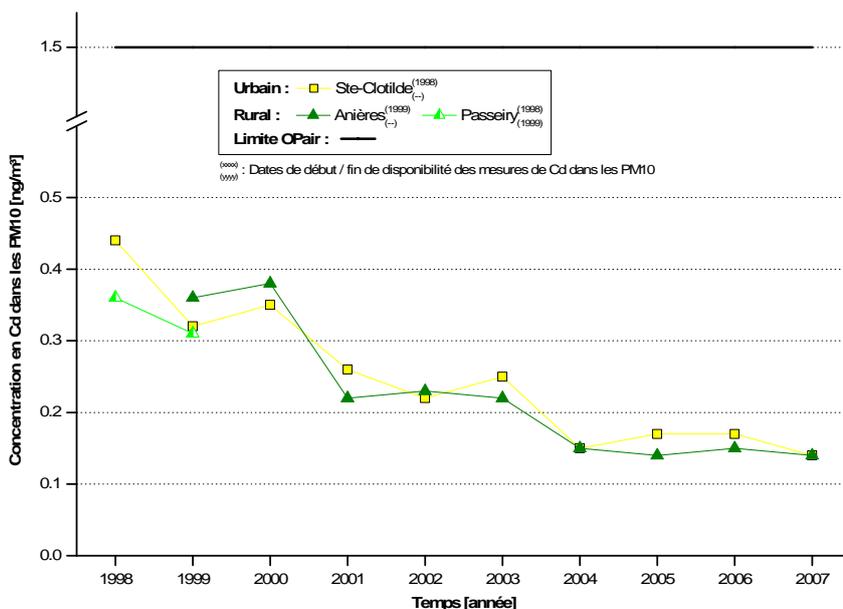
5.3.3. Nombre de dépassements de la VLI O'Pair journalière



5.3.4. Moyenne annuelle en plomb (Pb) dans les PM10



5.3.5. Moyenne annuelle en cadmium (Cd) dans les PM10



5.3.6. Bilan

Après une année 2006 qui a connu des épisodes de forte pollution aux particules fines^{§§}, l'année 2007 a retrouvé un niveau plus proche des années précédentes et a été, une fois de plus, caractérisée par des immissions de PM10 excessives à toutes les stations de mesure. La forte fluctuation des concentrations d'une année à l'autre rend la tendance difficile à définir, mais il ne semble pas qu'on puisse parler d'une amélioration de la situation.

Les moyennes annuelles pour le plomb et le cadmium dans les PM10 sont en dessous des VLI OPair depuis de nombreuses années.

^{§§} Pour mémoire, l'année 2006 a été marquée par des concentrations encore jamais enregistrées depuis le début des mesures des PM10 en 1998

5.4. Dioxyde de soufre (SO₂)

5.4.1. Généralités

Le SO₂ provient principalement de procédés de combustion utilisant des combustibles fossiles soufrés (fiouls industriels et domestiques, diesel, charbon). D'autres procédés industriels tels que le raffinage des hydrocarbures, la fabrication de la pâte à papier, de l'acide sulfurique, de matériaux réfractaires, de tuiles, de briques, sont des émetteurs de SO₂.

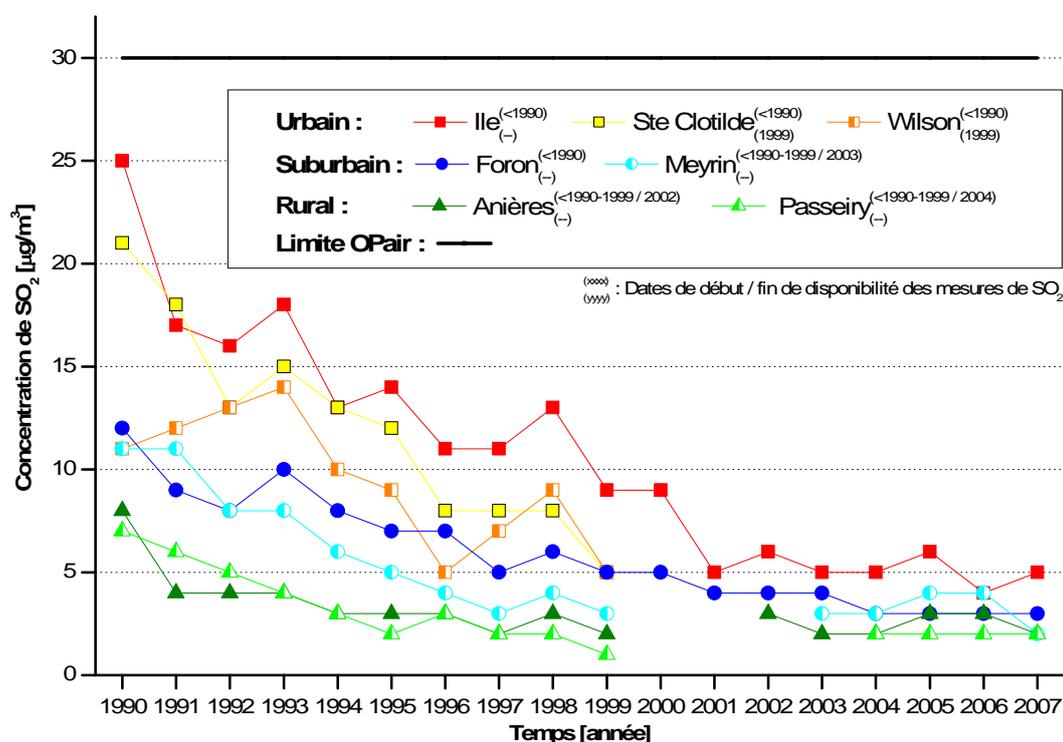
Depuis le 1^{er} janvier 2005 et en accord avec les normes européennes, les normes en vigueur imposent une teneur en soufre maximale de 50 ppm pour l'essence et le diesel. A partir du 1^{er} janvier 2009, cette teneur passera à 10 ppm.

Le SO₂ ne pénètre pas très profondément dans les poumons, hormis durant un effort, car il est arrêté à 90 % au niveau du nez et de la gorge. Il peut induire une plus grande sensibilité aux allergènes et favoriser les crises d'asthme.

Le SO₂, lorsqu'il se dépose, participe à l'acidification des milieux et cause des dommages aux plantes et aux écosystèmes fragiles, entraînant une baisse de la biodiversité.

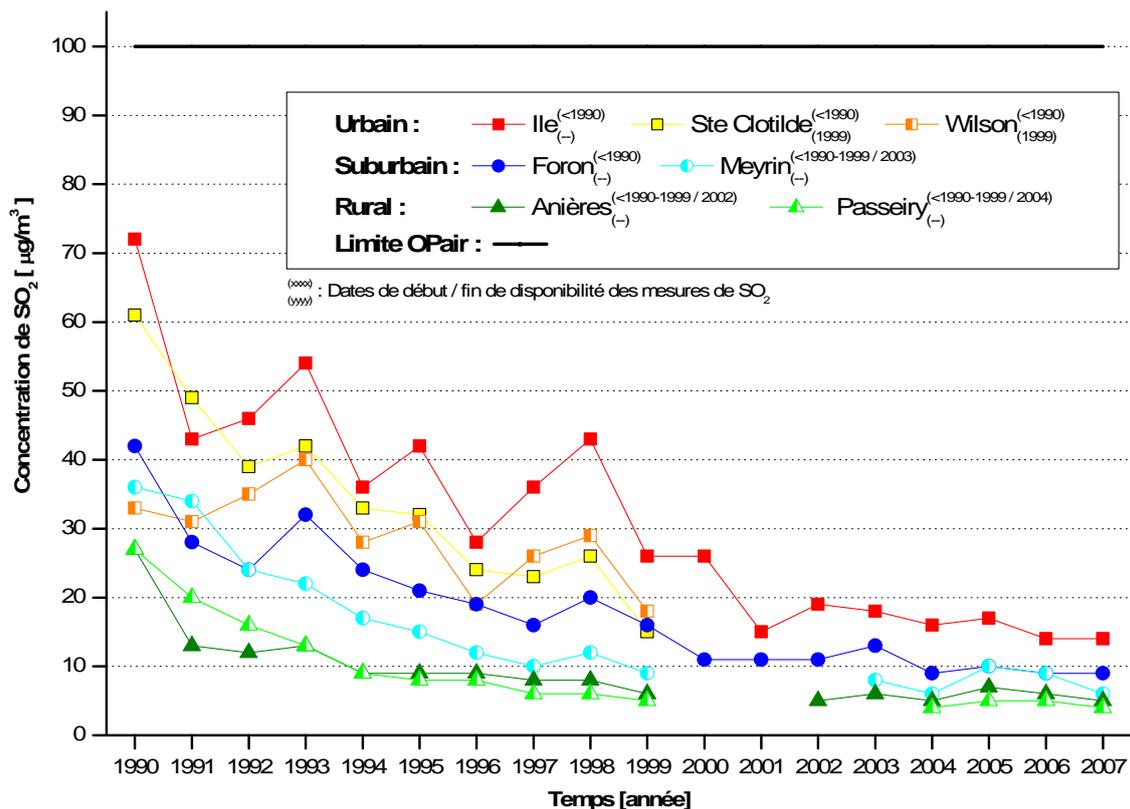
Le SO₂, associé à des poussières ou en phase gazeuse, forme du SO₃. Combinée avec d'autres éléments cette substance en solution transite à travers les pierres poreuses et, à terme, peut les endommager en les faisant éclater.

5.4.2. Moyenne annuelle



Nota: Le SO₂ n'étant plus un polluant problématique, sa mesure à l'aide d'appareils classiques n'a plus été faite de manière systématique dans chaque station depuis l'année 2000. Deux stations, l'Ile et Foron, ont continué à mesurer ce polluant au moyen de la technique DOAS (donne la mesure simultanée de NO₂, O₃ et SO₂). L'introduction progressive de la mesure par des systèmes DOAS permet actuellement de connaître la concentration en SO₂ aux stations de l'Ile et Foron mais aussi de Passeiry, Anières et Meyrin.

5.4.3. Percentile 95 des moyennes semi-horaires annuelles



5.4.4. Nombre de dépassements de la VLI OPAir journalière

Depuis 1990, il n'y a eu que deux dépassements de la VLI OPAir journalière (100 µg/m³), à la station de l'Ile en 1990.

5.4.5. Bilan

En 2007, les immissions de SO₂ sont restées au niveau de celles de 2006. Elles se situent bien en dessous des VLI OPAir.

5.5. Monoxyde de carbone (CO)

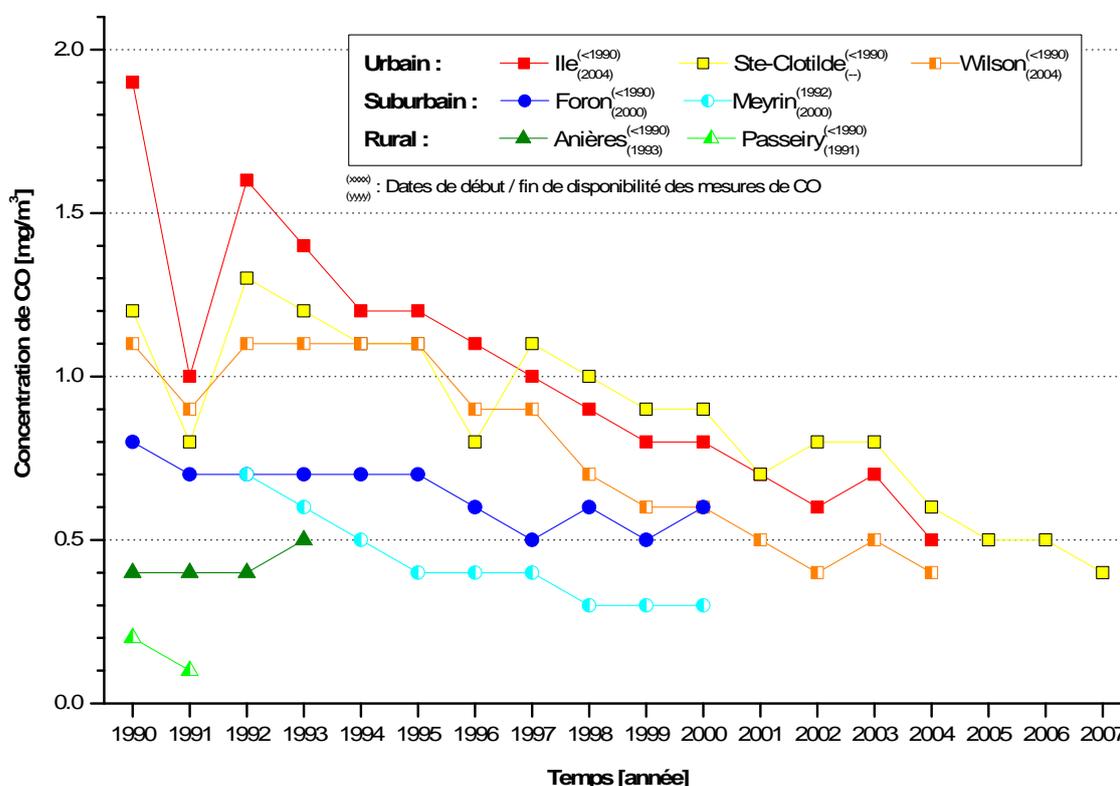
5.5.1. Généralités

Le CO - qui se forme lors de combustions incomplètes, principalement dues à un déficit d'oxygène - est un rejet typique d'une installation (moteur, chauffage, ...) défectueuse ou mal réglée.

De par ses propriétés (densité proche de l'air, incolore, inodore) le CO représente un réel danger à l'intérieur des bâtiments. Le CO se fixe à la place de l'oxygène sur l'hémoglobine et conduit à un manque d'oxygénation des tissus. A des niveaux importants, qui peuvent parfois se rencontrer en milieu urbain, le CO favorise les infarctus et les décès dus à des pathologies cardio-vasculaires***.

Ce polluant produit aussi un effet sur les plantes dont il peut limiter la croissance et, dans certains cas, entraîner la chute des feuilles et la dessiccation.

5.5.2. Moyenne annuelle^{†††}



5.5.3. Nombre de dépassements de la VLI OPair journalière

Au moins depuis 1990, il n'y a pas eu de dépassements de la VLI OPair journalière (8 mg/m³) sur l'ensemble des stations du ROPAG.

5.5.4. Bilan

Les concentrations en CO restent faibles et diminuent régulièrement d'année en année.

*** A des concentrations très élevées (bien au-delà de celles observées dans l'air ambiant) le CO entraîne une mort rapide

††† La moyenne annuelle pour le monoxyde de carbone n'est pas fixée dans l'OPair

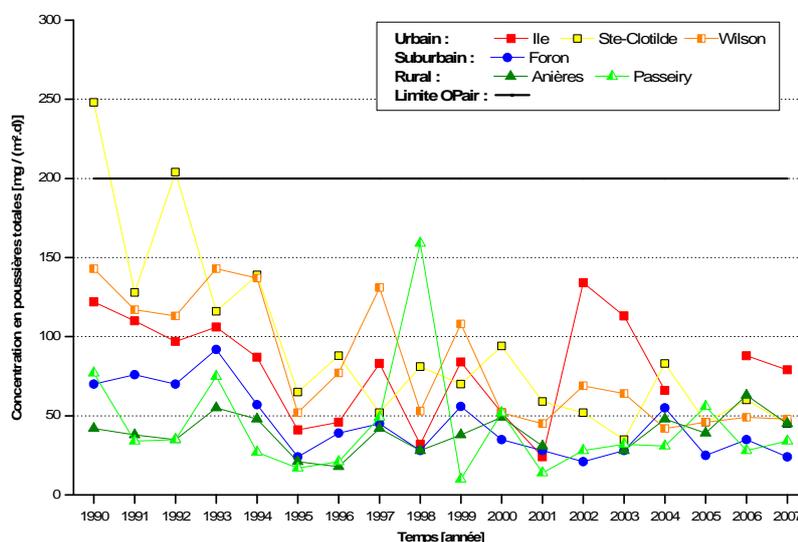
5.6. Retombées de poussières

5.6.1. Généralités

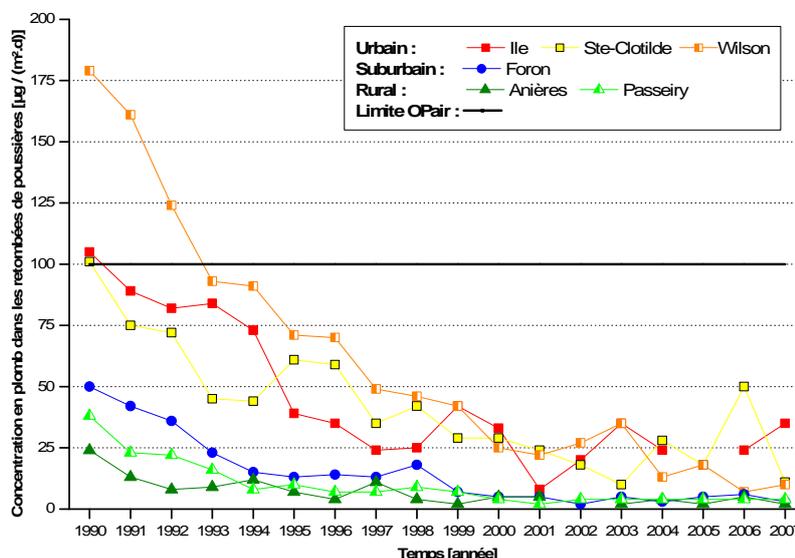
A la différence des PM10, poussières en suspension dans l'air dont le diamètre est inférieur à 10 µm, les retombées de poussières concernent les grosses particules qui, de par leur masse, ne restent pas en suspension dans l'air et tombent au sol.

Les PM10 représentent un danger en tant qu'éléments respirables car elles peuvent pénétrer profondément dans les poumons, en particulier celles dont le diamètre est inférieur à 2.5 µm. Les retombées de poussières, normalement retenues au niveau du nez ou des voies respiratoires supérieures chez l'homme, constituent avant tout une charge polluante pour les sols et les plantes. L'homme peut alors être affecté à nouveau par le biais de la chaîne alimentaire.

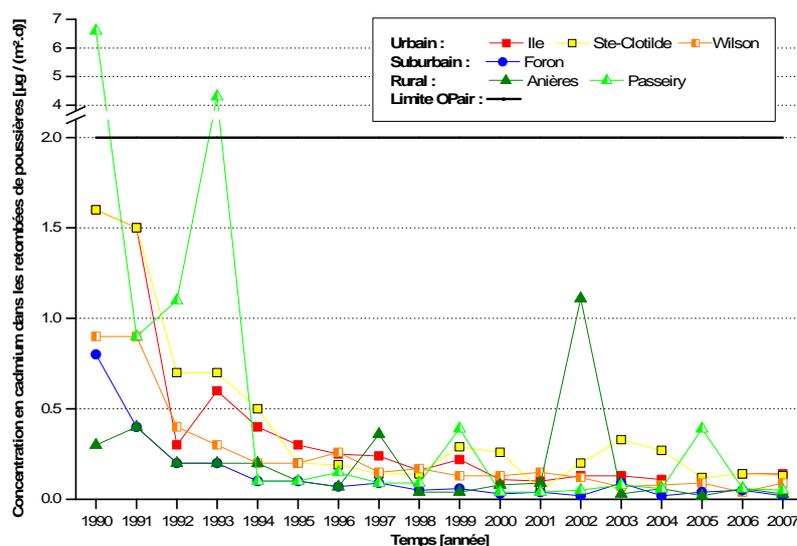
5.6.2. Moyenne annuelle totale



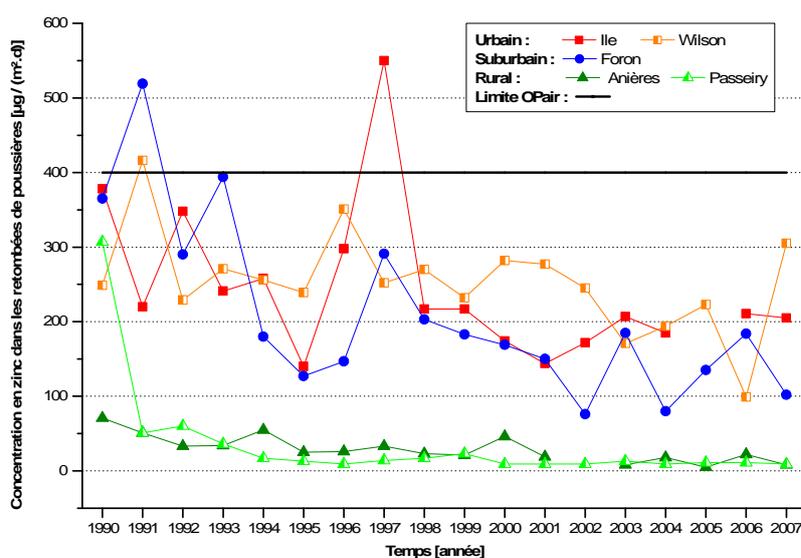
5.6.3. Moyenne annuelle pour le plomb (Pb) dans les retombées de poussières



5.6.4. Moyenne annuelle pour le cadmium (Cd) dans les retombées de poussières



5.6.5. Moyenne annuelle pour le zinc (Zn) dans les retombées de poussières



5.6.6. Bilan

Les concentrations en retombées de poussières restent faibles et stationnaires, en dessous des VLI OPair depuis de nombreuses années.

6. Capteurs passifs : Campagne NO₂

6.1. Introduction

Depuis 1995, un réseau de capteurs passifs mesure les concentrations de NO₂ dans l'agglomération genevoise. En 2007, ce réseau comptait 89 points de mesure, répartis selon un maillage kilométrique.

Cette méthode, validée en Suisse par l'OFEV ainsi que par Cercl'Air (Société suisse des responsables de l'hygiène de l'air), permet de constituer un cadastre des immissions du dioxyde d'azote sur de vastes territoires. L'interpolation de l'ensemble des mesures permet de tracer des cartes d'égalité de concentrations qui servent à vérifier la pertinence des modèles de calcul des immissions à partir des sources d'émissions connues.

6.2. Méthodologie

Généralités

Un capteur passif est un tube fermé à une extrémité, au fond duquel sont placées des grilles métalliques imprégnées d'une substance - la triéthanolamine (TEA) - qui absorbe le NO₂. Cette absorption crée à l'intérieur du tube une diffusion du NO₂ due à la différence de concentration produite. L'analyse permet de mesurer la valeur de NO₂ qui a été accumulée par la substance absorbante et d'en déduire la concentration correspondante pendant une période donnée.

Préparation et analyse

Se référer à l'annexe 1.

6.3. Emplacements - valeurs 2007

Afin d'être suffisamment représentatifs des concentrations moyennes d'exposition de la population au NO₂, les capteurs ne sont pas placés à proximité immédiate des sources d'émissions.

Jusqu'à la fin 2001, les mesures correspondaient chaque année à un quart du réseau total, avec, à chaque fois, une partie de recouvrement commune. Le réseau total était ainsi couvert au terme de 4 ans. Depuis 2002, l'ensemble du réseau est relevé. La zone couverte par le réseau de capteurs passifs représente une partie mixte ville – campagne qui englobe l'agglomération genevoise et ses abords.

Le tableau ci-après donne les emplacements des 89 boîtiers contenant les capteurs passifs de NO₂ ainsi que les concentrations correspondantes pour l'année 2007.

Emplacements	Coordonnées OTF		C*(NO ₂) [µg/m ³]	Emplacements	Coordonnées OTF		C*(NO ₂) [µg/m ³]
	X	Y	2007		X	Y	2007
Rte de Prévessin	495434	122459	15.6	Prom. de St-Antoine	500625	117354	31.5
Av. A.F. Dubois	496167	122239	21.9	R. Ernest-Block	501601	117679	30.3
Aéroport/Bois Perdriaux	497311	121917	15.2	Ch. Frank-Thomas	502577	117676	30.3
Voie des Traz/Voirie	498508	122206	31.8	Ch. de Grange-Falquet	503537	117370	24.4
Ch. de Valérie	499642	122465	21.6	Ch. des Meures	504351	117353	18.4
Ch. des Cornillons	500381	121771	18.8	Ch. des Mouilles/Rte de Loex	495432	116476	20.6
Rue des Lattes	494859	121649	13.8	Av. des Grandes-Communes	496623	116383	21.4
Ch. du Marais Long	496066	121357	15.6	Avenue des Morgines	497505	116313	29.3
Ch. de la Colombelle	498418	121303	25.6	Chemin de Surville	498567	116452	23.8
Ch. Palud	499533	121453	19.0	Route des Acacias	499483	116474	28.8
Ch. de Trémessaz	504503	121517	17.5	Rue Alcide Jentzer	500338	116377	27.9
Rue de la Golette	494903	120668	17.7	Avenue Eugène Pittard	501446	116397	29.6
Ch. de Perrault	496128	120714	19.5	Ch. des Bougeries	502516	116397	24.0
Ch. Riant- Bosquet	497356	120549	36.6	Rte de Malagnou	503437	116216	23.5
Ch. du Pommier	498549	120537	28.6	Av. Adrien Jeandin	504447	116080	28.3
CICR	499639	120470	21.6	Ch. de Gambay	495495	115519	19.2
Ch. de l'Impératrice	500280	120510	17.7	Ch. de l'Auberge	496476	115504	31.4
Ch. du Nant d'Argent	503528	120559	24.3	Chemin de Gilly	497509	115488	16.1
Ch. Marclay	504550	120480	16.2	Avenue Eugène Lance	498395	115407	27.5
Ch. Deley	494991	119512	25.2	Place de Sardaigne	499595	115526	34.7
Rte de Vernier	496020	119503	31.3	Rue Daniel Gevril	500324	115543	26.6
Les Avanchets	497464	119556	27.6	Stade de Vessy	501477	115313	19.4
Chemin des Crêts	498593	119634	27.4	Ch de Rogou	502672	115457	22.5
Square de Mesmes	499572	119482	26.8	Ch. de la Béraille	503517	115497	20.7
Pl. de Châteaubriand	500608	119022	30.0	Ch. des Marais	495507	114443	21.9
Ch. de Bellefontaine	502706	119023	19.8	Ch. des Charrotons	496630	114520	16.8
Ch. de la Fraidieu	503575	119495	19.1	Ch. du Nant-Boret	497479	114577	18.5
Ch. des Peutets	504633	119446	17.0	Ch. des Pontets	498453	114509	26.0
Ch. du Progrès	494847	118566	22.2	Ch. de Grange-Collomb	499554	114581	24.3
Ch. du Moulin des Frères	496211	118576	16.3	Plateau de Pinchat	500589	114548	22.6
Chemin du Croissant	497613	118465	23.3	Ch. de Place-Verte	501384	114587	25.8
Rue de Bourgogne	498407	118497	26.3	Rte du Stand-de-Veyrier	502559	114595	29.8
R. Eberhardt	499569	118593	29.9	Ch. des Bis	495345	113245	16.4
Rue de Berne	500359	118689	35.2	Rte. de Base	496382	113561	23.9
Débarcadère CGN	501515	118301	25.1	Rte. de Bardonnex	497502	113486	25.2
Ch du Port-Noir	502249	118475	21.5	Ch. de Vers/Ch. Vandel	498496	113569	20.8
Ch. des Falquets	503690	118427	15.4	Ch. Massenet	499522	113616	16.7
Ch. de la Seymaz	504615	118371	20.0	Ch. Sous-le-Crêt	500545	113597	18.1
Ch. des Blanchards (ferme)	495519	117561	18.0	Ch. des Marais	501463	113324	21.4
Ch. Nicolas-Bogueret	496434	117488	18.5	Ch. des Rasses	502625	113507	23.5
Ferme de St-Georges	497453	117199	20.0	Rte d'Annecy	499658	112529	20.5
Dépôt TPG	498667	117460	23.6	Rte de Pierre-Grand	500509	112646	18.5
R. de la Synagogue	499619	117621	35.9	Ch. de la Contonnière	501320	112441	24.8
				Ch. de Tatte-Simon	502579	112999	23.5

Tableau 1. Emplacements et concentrations correspondantes des capteurs passifs NO₂ pour l'année 2007

Légendes et abréviations :

C*(NO₂) : Concentration moyenne annuelle pour le NO₂.



: Dépassement de la VLI OPair.

6.4. Résultats

Une carte (ci-dessous) des mesures du réseau de capteurs passifs présente les immissions de dioxyde d'azote en moyennes annuelles pour l'année 2007, calculées par interpolation^{###} des résultats obtenus sur les 89 points de prélèvement, ainsi que ceux donnés par les stations du ROPAG.

On peut y reconnaître les zones soumises à des immissions excessives, dont la moyenne annuelle est supérieure à la VLI OPair ($30 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Les couleurs vert à jaune correspondent aux parties du territoire conformes à la VLI OPair annuelle pour le NO_2 alors que les couleurs saumon à rouge-brun représentent des périmètres non-conformes.

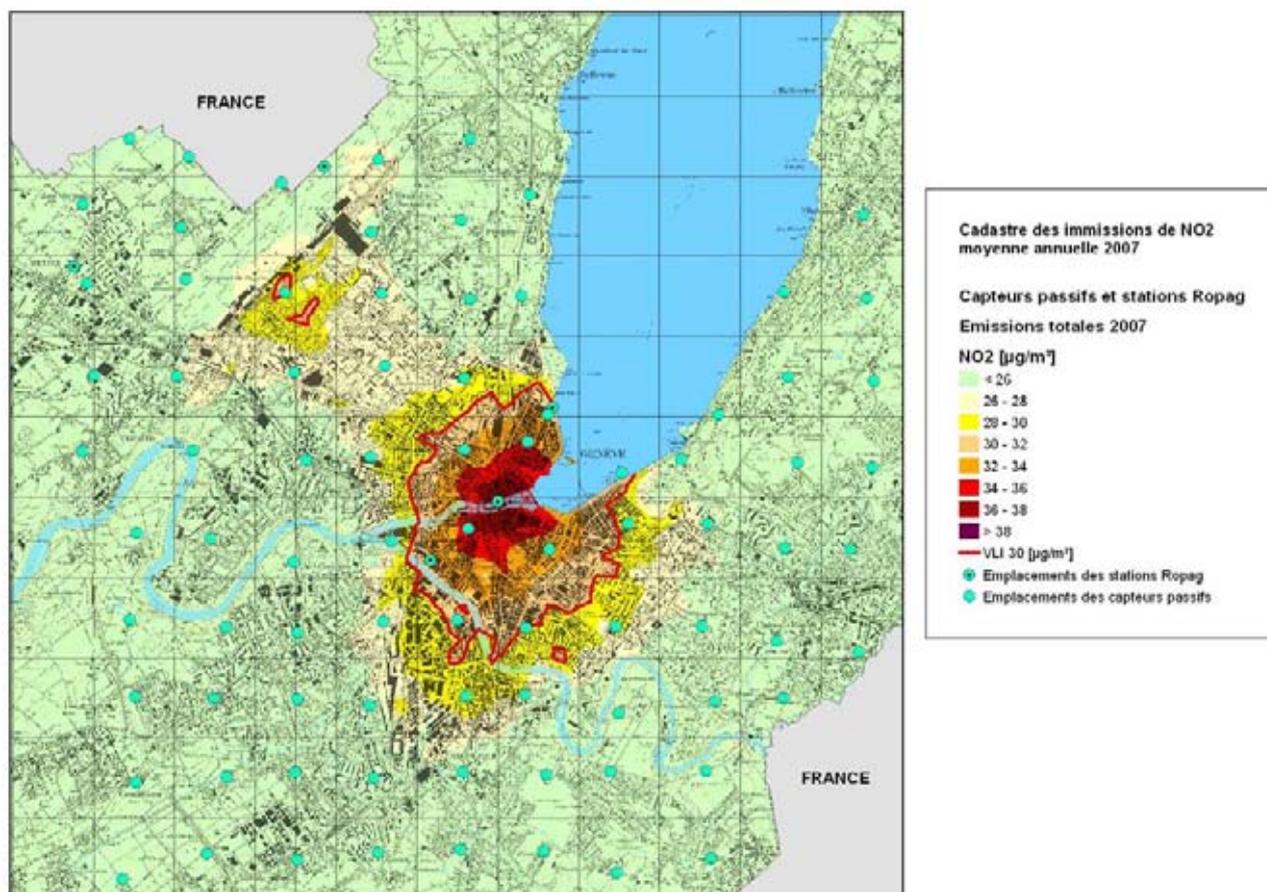


Figure 1. Cartes des immissions de NO_2 sur l'agglomération genevoise pour l'année 2007

La carte ci-après permet de rendre compte, d'une manière résumée, de l'étendue de la zone à immissions de NO_2 sur l'agglomération genevoise pour les années 2002 à 2007. Les courbes de couleur indiquent la limite extérieure de la zone à immissions excessives (endroit où les concentrations dépassent la VLI OPair annuelle de $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Hormis les fluctuations annuelles dues principalement à des facteurs climatiques (régime des vents, précipitations, inversions thermiques), un examen comparé des cartes de la pollution au NO_2 entre 2002 et 2007 montre que le périmètre touché par les immissions excessives ne connaît qu'une faible évolution pendant cette période. Les années 2004 et 2007 sont marquées

^{###} selon la méthode du co-krigeage: l'annexe 2 explique plus en détail la méthode du co-krigeage

par une zone non conforme à l'OPair plus réduite, les années 2002, 2003, 2005 et 2006 par des périmètres plus larges et relativement stables – 2003 présentant la surface la plus étendue.

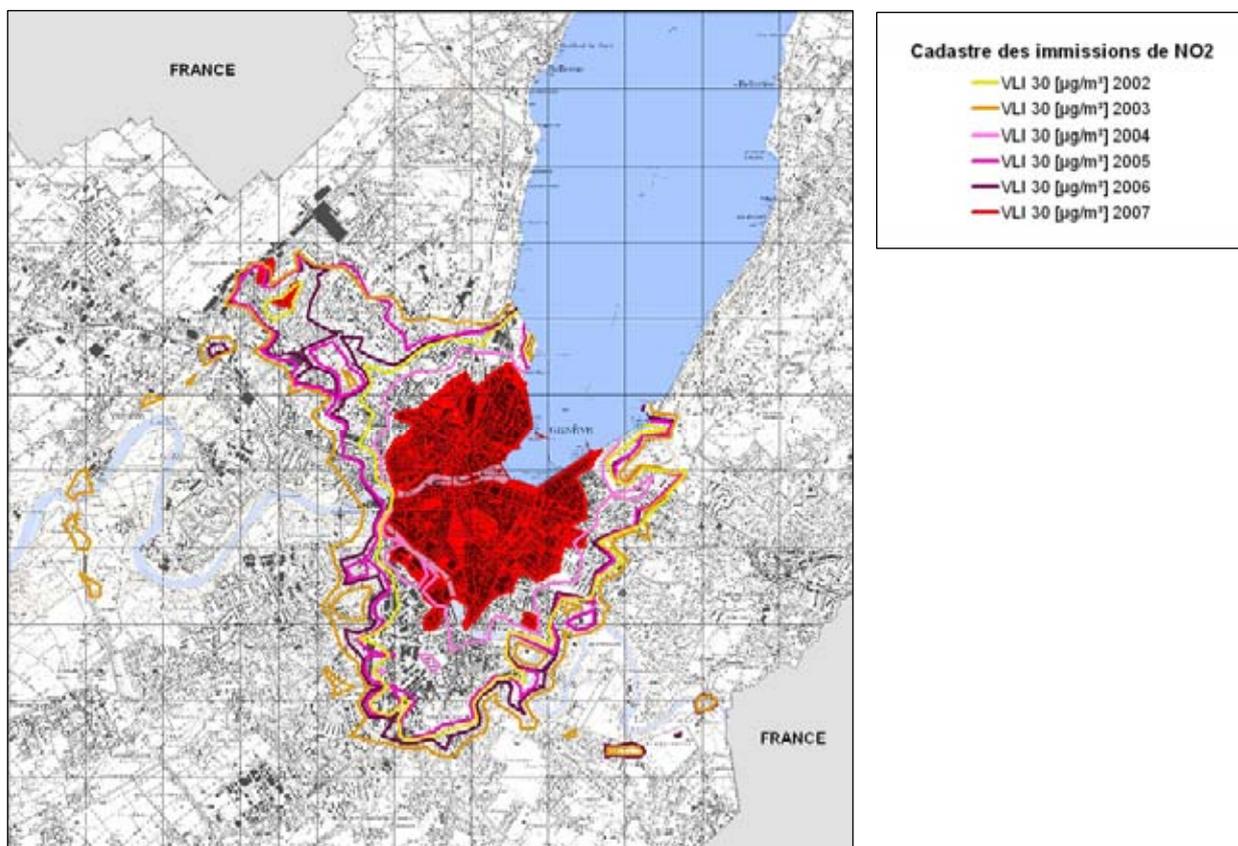


Figure 2. Carte comparée des immissions de NO₂ sur l'agglomération genevoise pour les années 2002 à 2007

De plus, on peut établir les constatations suivantes :

- un périmètre de la zone non conforme à l'OPair est relativement stable au cœur de l'agglomération, avec une situation peu satisfaisante dans le centre-ville – quais, Pâquis, Saint-Gervais, Plainpalais et Rive
- selon les années, un élargissement de la zone dépassant la VLI OPair dans les quartiers au sud de l'aéroport, vers Carouge et, dans une moindre mesure, dans la zone des Eaux-Vives et de Champel-Malagnou.

7. Synthèse

Durant l'année 2007, la météorologie a connu nombre de particularités : un hiver 2006-2007 très doux, un printemps qui fut le plus chaud jamais mesuré, un été avec des records de précipitations et un automne plutôt doux.

Pendant la période hivernale, aucune phase prolongée d'inversion de la température n'a eu lieu, ce qui a permis d'abaisser quelque peu la charge en NO₂ et en PM10. De plus, l'été très pluvieux explique que les valeurs en ozone ont été plus faibles que d'habitude. Néanmoins, force est de constater que les valeurs limites d'immission (VLI) fixées par l'Ordonnance fédérale sur la protection de l'air (OPair) pour les polluants NO₂, O₃ et PM10 ne sont toujours pas respectées dans certaines parties du canton, en particulier dans le centre de l'agglomération, là où vit et travaille une bonne part de la population genevoise.

NO₂ (dioxyde d'azote)

En 2007, les zones à immissions excessives (niveaux supérieurs à la VLI OPair annuelle de 30 µg/m³) couvrent toujours principalement la ville de Genève ainsi qu'une partie de l'agglomération genevoise. Ces zones sont plus restreintes que celles de l'année 2006.

O₃ (ozone)

Due en grande partie à des conditions météorologiques peu propices à la formation de l'ozone, la situation en 2007 a connu une petite amélioration par rapport aux années précédentes. Tous les sites de mesures ont cependant été soumis à des immissions excessives de ce polluant.

PM10 (particules fines)

L'année 2007 a connu des immissions excessives de PM10 à toutes les stations de mesures, avec des concentrations généralement plus importantes sur les sites urbains et suburbains. La situation a cependant été meilleure qu'en 2006.

CO (monoxyde de carbone), SO₂ (dioxyde de soufre)

Les concentrations en monoxyde de carbone et en dioxyde de soufre sont faibles et n'ont pas dépassé les VLI OPair depuis au moins une dizaine d'années. Elles restent stables, voire en légère décroissance.

Retombées de poussières

Les concentrations en retombées de poussières restent faibles et stationnaires, en dessous des VLI OPair.

8. Qualité de l'air sur l'Internet

Site de l'Etat de Genève

Depuis 1999, les informations sur la qualité de l'air du canton sont disponibles sur <http://www.geneve.ch/air>

Les données, récoltées dans les différentes stations fixes et mobiles du ROPAG, sont mises à jour automatiquement, de manière régulière par un programme informatique qui permet de relever, de calculer et de valider 5'000 données journalières, puis de les intégrer et de les publier en ligne.

Ce site Internet permet à tout un chacun de prendre connaissance de la qualité de l'air dans le canton de Genève. Les informations suivantes sont ainsi disponibles sur ce site :

- Les dernières nouvelles relatives à la qualité de l'air.
- Un relevé des dernières mesures effectuées.
- Un plan des stations de mesure avec l'accès aux données les concernant.
- Des cartes et des graphes concernant l'évolution des polluants (ozone, dioxyde d'azote et poussières fines).
- Des généralités sur la qualité de l'air et les polluants (leur mesure, leurs effets).
- Des informations sur les actions de lutte contre la pollution de l'air.
- Un espace de téléchargement des publications relatives à la qualité de l'air à Genève.
- Un glossaire détaillé.

Par ailleurs, pendant l'été 2007, une prévision de la concentration maximale d'ozone pour le lendemain, ainsi que des recommandations à la population, ont été diffusées.

Autres sites

Pour tout renseignement complémentaire :

<http://www.geneve.ch/environnement-info>

Site du service de l'information et de la communication (SIC) du département du territoire.

Voici une liste d'adresses de sites Internet, non exhaustive, qui dispensent une **information en relation avec la qualité de l'air** :

<http://www.admin.ch/ch/f/rs>

Législation suisse.

<http://www.environnement-suisse.ch/>

Office fédéral de l'environnement (OFEV).

<http://www.metas.ch>

Office fédéral de métrologie et d'accréditation suisse.

<http://www.who.int/fr>

Organisation mondiale de la santé.

<http://www.unep.org/>

Site du programme des Nations Unies pour l'environnement. Il est consacré aux pollutions dans tous les pays du monde.

<http://europa.eu.int/comm/environment/air>

Rubrique spécifique à la pollution de l'air du site de l'union européenne.

<http://europa.eu.int/eur-lex/fr>

Législation en vigueur, et en préparation, dans l'union européenne.

<http://www.ademe.fr/>

Agence (française) de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie.

Adresses d'autres réseaux de mesure de la qualité de l'air :

<http://www.ne.ch>

SCPE - Service de la protection de l'environnement (canton de Neuchâtel).

<http://www.vd.ch>

SEVEN – Service de l'environnement et de l'énergie (canton de Vaud).

<http://www.vs.ch>

RESIVAL – Réseau de mesure des immissions du canton du Valais.

<http://www.be.ch>

OFIAMT, division protection de l'environnement.

<http://www.fr.ch>

SEN – Service de l'environnement. Division protection de l'air (canton de Fribourg).

<http://www.atmo-rhonealpes.org>

APS - L'air de l'Ain et des Pays de Savoie.

<http://www.atmo-rhonealpes.org>

ASCOPARG – Association pour le contrôle et la préservation de l'air dans la région grenobloise.

<http://www.atmo-rhonealpes.org>

COPARLY - Comité de Coordination pour le Contrôle de la pollution Atmosphérique dans la Région Lyonnaise.

<http://www.asqab.asso.fr>

ASQAB – Association de la surveillance de la qualité de l'air dans l'agglomération bisontine et le sud Franche-Comté.

<http://www.arpam.asso.fr>

ARPAM – Réseau de surveillance de la Qualité de l'air dans le nord – Franche-Comté.

<http://www.atmo-alsace.net>

ASPA – Association pour la surveillance et l'étude de la pollution atmosphérique en Alsace.

<http://www.buldair.org/>

Regroupe des informations de la qualité de l'air des réseaux de mesure français.

9. Annexe 1 : Préparation et analyse des capteurs passifs NO₂

Préparation

Les tubes à diffusion en polypropylène (PP) sont préparés dans le laboratoire du SCPA. Ils sont munis de deux grilles en acier inoxydable, et de deux bouchons en polyéthylène (PE).

Les grilles en acier inox sont traitées aux ultrasons dans du Metex 5 % à 60°C, puis rincées à l'eau. Elles subissent ensuite un traitement de passivation à l'acide sulfurique 5 % à 60°C, puis des rinçages à l'eau Milli-Q. Elles sont enfin séchées à l'étuve à 120°C. Ce traitement a pour but d'améliorer la mouillabilité de l'acier inox lors du dépôt de la TEA sur les grilles.

Chaque capteur reçoit deux grilles en acier inox traitées et est obturé à une extrémité par un bouchon en PE. A l'aide d'une micro pipette, 30 µl d'une solution composée de TEA 20 % sont déposés sur les grilles. Afin d'éviter toute contamination due au NO₂ atmosphérique ambiant, l'extrémité ouverte est immédiatement obturée au moyen d'un bouchon en PE.

Pose - dépose

Les capteurs sont ensuite installés sur les sites de mesure, par lots de 3 dans des boîtiers en PP, et exposés à l'air ambiant pendant 28 jours, en enlevant les bouchons inférieurs.

Les tubes contenant les capteurs sont alors collectés et refermés avant d'être analysés dans le laboratoire du SCPA.

La figure ci-après montre le schéma de principe de montage des capteurs passifs.

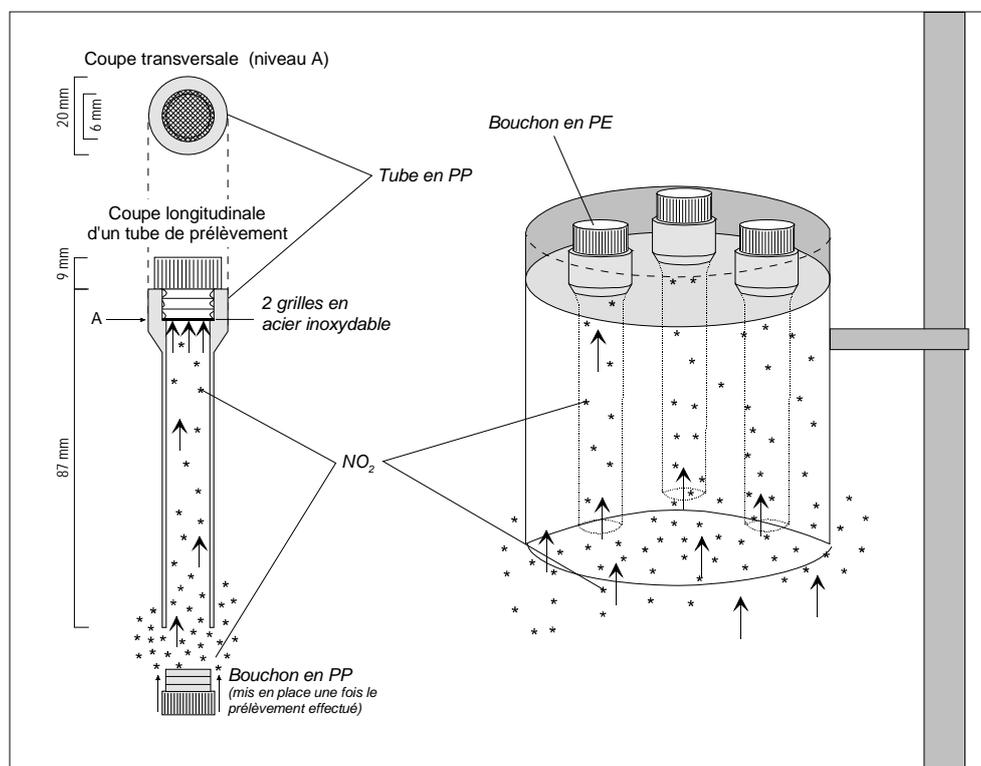


Figure 1. Principe de montage des capteurs passifs de NO₂

Analyse

Chaque tube reçoit 2 ml d'eau Milli-Q et 2 ml de réactif combiné (composé de sulfanilamide, d'acide ortho-phosphorique, de dichlorohydrate de naphthyléthylènediamine et d'eau). Après 15 minutes, l'absorbance à 540 nm de chaque tube est déterminée par colorimétrie à l'aide d'un spectrophotomètre.

Un blanc et des standards de 50, 150 et 450 $\mu\text{g/l}$ de NaNO_2 (nitrite de sodium) contenant 0.3 ml de TEA / 100 ml de standard sont mesurés pour déterminer une droite d'étalonnage. Ceci permet d'établir la concentration dans les tubes analysés.

10. Annexe 2 : Cartographie des mesures de NO₂

10.1. Problématique

Dans le cadre de la protection de l'environnement et de l'observation des principes du développement durable en Suisse, des moyens ont été mis en place afin d'améliorer la qualité de l'air. Introduite en 1985, l'Ordonnance fédérale sur la protection de l'air (OPair) prévoit qu'en cas de dépassements répétés des valeurs limites d'immission (VLI) de polluants, un plan de mesures d'assainissement de l'air doit être mis en place par l'autorité cantonale concernée. Dans le canton de Genève, qui connaît des dépassements des VLI pour les particules fines (PM10), le NO₂ et l'ozone depuis de nombreuses années, le service cantonal de protection de l'air (SCPA) est chargé d'établir ledit plan de mesures à l'intention du Conseil d'Etat. Il effectue aussi les mesurages des différents polluants présents dans l'air et informe les autorités ainsi que la population de ses résultats.

En complément des stations de mesure de la qualité de l'air, le SCPA dispose d'un réseau de près de 90 emplacements de capteurs passifs sur une zone mixte ville - campagne qui englobe toute l'agglomération genevoise et ses abords. Ce réseau de capteurs passifs permet d'obtenir, une fois par mois (deux fois par mois avant avril 2007), les valeurs moyennes d'immissions de NO₂. Afin d'être représentatifs de la pollution moyenne à laquelle la population est exposée dans une zone, et non des émissions directes des véhicules, les stations de mesure ainsi que les capteurs passifs ne sont pas placés aux bords de voies à fort trafic.

Sur la base de ces données, la moyenne annuelle point par point est calculée et une représentation cartographique des immissions est finalement effectuée au moyen d'un calcul mathématique.

C'est sur cet aspect mathématique qu'un travail a été entrepris dans le but de mieux rendre compte de la réalité de la pollution de l'air.

10.2. Méthodes d'interpolation

Lorsque l'on dispose d'un nombre limité de points de mesure pour représenter un phénomène de nature continue, comme par exemple la pollution de l'air, on a recours à des méthodes d'interpolation pour « remplir » les espaces entre les points de mesure. Une interpolation permet de déterminer la valeur d'un « nœud » à partir d'un nombre limité de points d'échantillonnage. Il existe deux groupes principaux de méthodes d'interpolation :

- les méthodes déterministes, qui utilisent des fonctions mathématiques ;
- les méthodes géostatistiques, qui combinent des fonctions mathématiques et des données géo-référencées pour calculer les surfaces.

10.2.1. IDW (interpolation déterministe)

La méthode dite de l'« Inverse Distance Weighted » (IDW : pondération par l'inverse des distances) a été utilisée jusqu'à présent par le SCPA pour cartographier les concentrations en NO₂ issues du réseau de capteurs passifs. Elle suppose que l'influence de la variable cartographiée décroît avec la distance qui la sépare de son emplacement d'échantillonnage. Certains paramètres peuvent être modifiés, pour rendre compte au mieux de la nature du phénomène à représenter :

- **paramètre « puissance »** : Il permet de contrôler l'importance des points connus sur les nœuds interpolés en déterminant une puissance à la distance (distance au carré, au cube, etc.). Ainsi, une puissance élevée privilégiera les points à proximité (surface

obtenue caractérisée par un plus grand niveau de détails, « moins lisse ») alors qu'une puissance plus faible donnera davantage d'influence aux points plus éloignés (surface « plus lisse ») ;

- **paramètre « nombre de voisins »** : Il sert à définir le nombre de voisins à prendre en considération dans le calcul. Pour cela, on peut déterminer un nombre de voisins minimum, maximum, ou déterminer un rayon de recherche (fixe ou variable).

La figure ci-après montre une vue 3D effectuée avec cette méthode. Il en ressort la problématique des pics et des puits à l'endroit des points de mesure.

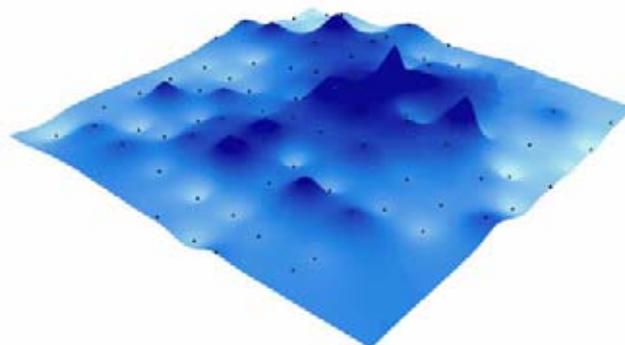


Figure 1. Vue 3D d'une surface, interpolée par IDW

10.2.2. Limites de la méthode IDW

La figure ci-dessous montre une carte (année 2003) obtenue avec la méthode IDW.

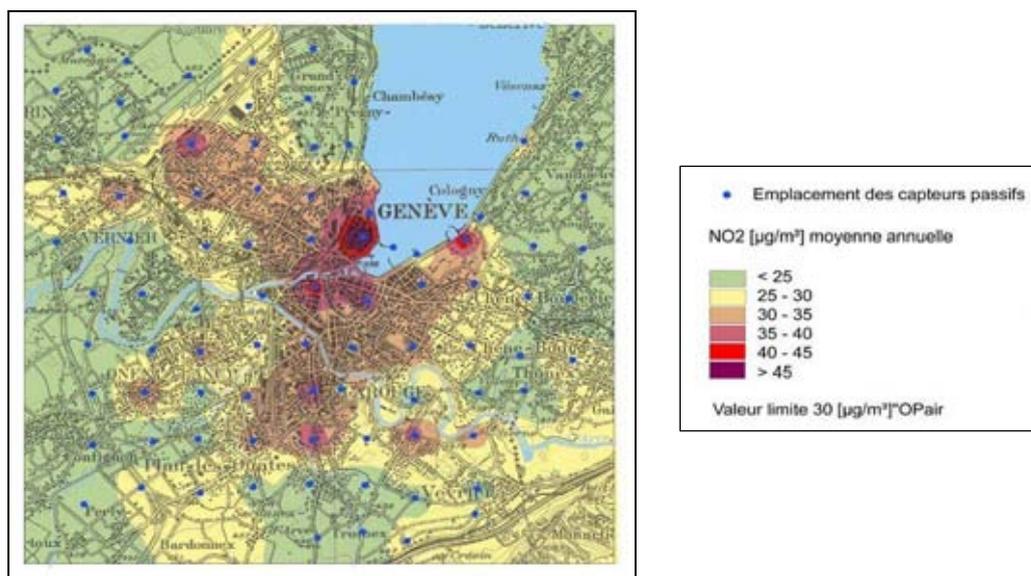


Figure 2. Concentration en NO₂ pour l'année 2003 (méthode IDW)

Avec cette méthode, le poids affecté aux données voisines les unes des autres est proportionnel à l'inverse de la distance entre le « nœud » et la donnée considérée. Plus la donnée est proche du « nœud », plus son poids augmente. Inversement, plus la donnée est éloignée, moins elle aura de poids dans le calcul. Cette méthode est d'autant plus performante que la densité des points de mesure est importante.

La méthode IDW souffre cependant d'inconvénients majeurs :

- l'inconvénient principal est que la cartographie montre une surface où les points de mesure dont la concentration en polluants est localement plus élevée ou plus basse que les alentours immédiats apparaissent sous la forme de « pics » ou de « puits » de pollution. On voit alors des « bulles » autour de certains capteurs, qui représentent vraisemblablement une réalité déformée par la méthode mathématique utilisée pour

élaborer la carte, mais probablement pas la pollution de fond ;

- malgré le nombre élevé de points de mesure, on remarque que certaines zones où on pourrait s'attendre à une concentration élevée ne sont pas du tout ou irrégulièrement représentées. C'est par exemple le cas pour les régions proches des axes routiers. La méthode IDW ne permet pas de résoudre ce problème, à moins d'augmenter considérablement le nombre de capteurs passifs.

La méthode IDW, et les cartes de pollution qui en découlent, présentent certaines difficultés lorsqu'on souhaite représenter les zones où les concentrations en polluants sont relativement semblables :

- d'une part, il faut rendre compte du caractère continu de la pollution de l'air, en évitant de mettre en évidence des valeurs qui ne sont pas représentatives de la pollution moyenne dans une zone ;
- d'autre part, il faut intégrer les informations dont on dispose concernant les émissions de NO_x , qui sont susceptibles d'engendrer des concentrations de NO_2 localement plus élevées ou plus basses que les concentrations mesurées les plus proches.

Les limites de la méthode IDW et les contraintes fixées pour l'élaboration des cartes ont motivé la recherche d'autres méthodes d'interpolation, exposées ci-dessous.

10.2.3. Krigeage (interpolation géostatistique)

La géostatistique est une science de plus en plus utilisée pour cartographier la pollution de l'air. Une des méthodes géostatistiques est le « krigeage », qui a pour avantage de restituer la continuité spatiale du polluant dans l'expression cartographique.

Le krigeage est comparable à l'IDW dans la mesure où il déduit, par pondération des points connus, des valeurs en tous lieux afin de rendre compte de l'aspect continu de la pollution de l'air.

La différence fondamentale entre les deux méthodes se situe au niveau du calcul de la pondération, celui du krigeage étant beaucoup plus sophistiqué. Il tient compte non seulement de la distance entre les points mesurés, mais aussi de la corrélation de leurs valeurs et de l'emplacement de la prévision. On utilise pour cela des fonctions de semi-variogramme et de covariance.

Le calcul se fait en deux étapes :

- on calcule tout d'abord les paramètres de l'entourage et la dépendance statistique des mesures. Ceci détermine la pondération λ de chaque point pour chaque nœud de la carte ;
- on calcule ensuite une prévision pour chaque nœud.

Cette méthode utilise donc les données à deux reprises. La figure ci-après montre une vue 3D effectuée avec cette méthode. On voit que les effets de pics et de puits ont été grandement atténués.

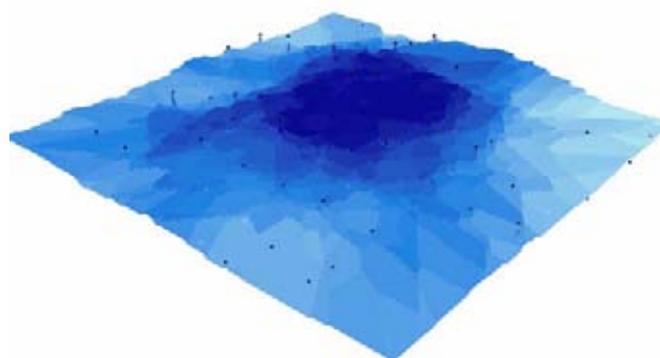


Figure 3. Vue 3D d'une surface, interpolée par krigeage

Cette méthode ne peut néanmoins pas apporter une information pertinente dans les zones peu couvertes. Ce manque est en partie comblé par la méthode ci-après qui effectue les calculs au moyen de sources d'informations complémentaires.

10.2.4. Krigeage avec dérive externe et co-krigeage (interpolation géostatistique avec intégration d'informations indirectes)

Afin d'améliorer la carte d'estimation, surtout dans les zones où la densité des données est la plus faible, la géostatistique peut permettre d'intégrer des informations apportées par des variables externes, liées à la concentration du polluant (comme les émissions du trafic, des activités industrielles ou des informations ayant trait aux conditions météorologiques). Les renseignements provenant de ces variables externes, appelées aussi variables « auxiliaires », permettent de compenser le manque d'information sur le polluant lui-même aux endroits non mesurés :

- lorsque la variable auxiliaire suit la forme générale du phénomène (comme la densité de population), on utilise la technique du « krigeage avec dérive externe ». On modélise la forme de la dérive externe, fondée sur la variable auxiliaire, puis on insère cette dérive externe dans le système du krigeage ;
- lorsqu'il existe un lien direct entre la variable auxiliaire et le polluant, ce lien peut être pris en compte avec la technique du co-krigeage. Cela consiste à utiliser une grille de pondération spécifique à la problématique du NO₂ qui donne des informations supplémentaires sur le comportement spatial du phénomène.

Le SCPA utilise les sources d'émissions de NO_x comme variable auxiliaire, connaissant la relation : NO_x = NO + NO₂. Pour mettre en œuvre le co-krigeage, il faut modéliser les semi-variogrammes de la variable auxiliaire et du polluant. Le variogramme croisé mesure la corrélation des paires d'emplacement entre le polluant et la variable auxiliaire. Les poids optimaux à affecter aux données mesurées sont ainsi déterminés pour tous les nœuds, en tenant compte des deux types d'informations utilisées.

Par ailleurs, la géostatistique permet d'établir une carte de prédiction de l'incertitude de l'estimation. On constate sans surprise que la fiabilité des prédictions aux nœuds dépend de la densité des points de mesure situés autour d'eux.

En résumé, l'utilisation du co-krigeage proposée part du même principe qu'une pondération IDW mais, en plus de considérer la distance comme information extérieure, elle prend en compte l'emplacement du point de prédiction et l'agencement des points de mesure. Par ailleurs, le co-krigeage permet d'introduire, en plus de la variable principale (les mesures d'immission de NO₂), une variable secondaire (les émissions de NO_x) pour laquelle ces mêmes facteurs de distance et d'agencement sont calculés.

10.3. Résultats

Les figures présentées ci-dessous montrent, pour l'année 2006, une comparaison entre les cartes des immissions de NO₂ générées par les méthodes IDW et co-krigeage.

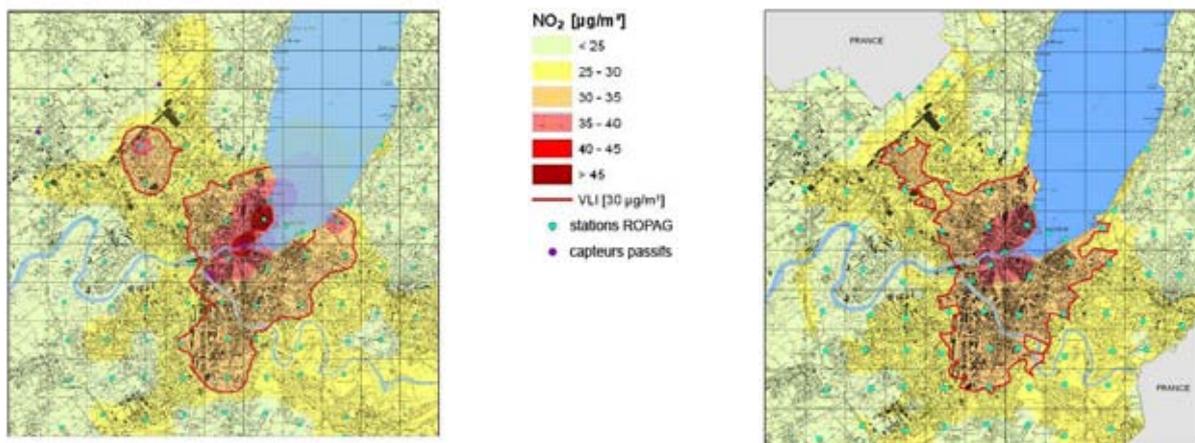


Figure 4. Comparaison pour l'année 2006 des cartes élaborées avec la méthode IDW (à gauche) et la méthode co-krigeage (à droite)

On remarquera que l'aspect général des cartes élaborées par chacune des deux méthodes est similaire. Le passage à la méthode du co-krigeage permet cependant de minimiser les problèmes induits par la méthode IDW (pics et puits, information manquante), afin de mieux rendre compte de l'aspect continu de la pollution de l'air.

La méthode du co-krigeage permettant d'obtenir des représentations plus proches de la réalité à partir des données livrées par le réseau de capteurs passifs, les cartes pour les années à venir seront élaborées exclusivement avec cette méthode.

De plus, cette méthode est suffisamment précise pour que l'on puisse utiliser une échelle plus fine que précédemment (pas de $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ au lieu de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Ceci permet, notamment, d'avoir une meilleure représentation des zones où les immissions sont proches de la VLI OPair annuelle de $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$, comme le montre la figure de droite ci-dessous.

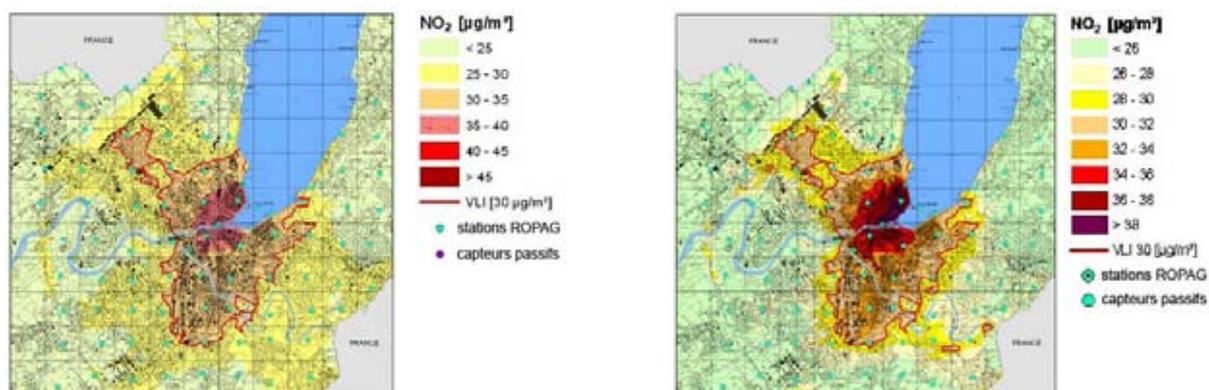


Figure 5. Comparaison pour l'année 2006 des cartes élaborées avec la méthode co-krigeage, avec un pas de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (à gauche) et un pas plus fin de $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (à droite)

11. Annexe 3 : Glossaire

A

Absorption

Phénomène par lequel un rayonnement traversant une matière cède à celle-ci une partie ou la totalité de son énergie.

Absorption β

On mesure l'absorption, par le composé, d'un rayonnement β produit par une source radioactive. Cette méthode est utilisée pour les poussières.

Absorption IR

On mesure l'absorption, par le composé, d'un rayonnement IR produit par une lampe infrarouge. Cette méthode est utilisée pour le monoxyde de carbone.

Absorption UV

On mesure l'absorption, par le composé, d'un rayonnement UV produit par une lampe ultraviolet. Cette méthode est utilisée pour l'ozone.

Albédomètre

L'albédo représente la fraction de radiation réfléchie par le sol par rapport à la radiation incidente.

L'albédomètre est formé de deux pyranomètres identiques opposés: un dirigé vers le haut (ciel) l'autre vers le bas (terre). Le pyranomètre dirigé vers le haut mesure le rayonnement global (direct + diffus) incident sur le terrain, tandis que celui dirigé vers le bas mesure le rayonnement global réfléchi par le terrain.

Ammoniac (NH₃)

L'ammoniac sert à la fabrication des engrais ainsi que des fibres synthétiques et plastiques.

Sources principales

- Agriculture (engrais azotés).
- Elevages industriels.

Effets

- Brûlures des muqueuses, maux de tête, toux.
- Cytolytique intense qui entrave la croissance végétale.
- Acidification des sols.

Anémomètre

L'anémomètre est un instrument qui permet de mesurer la vitesse du vent.

Le principe le plus communément employé pour mesurer le vent horizontal est le suivant : un moulinet de trois coupelles se met à tourner sous l'effet du vent. La vitesse de rotation de ce moulinet est proportionnelle à la vitesse du vent horizontal. Couplé à une girouette, on peut alors mesurer la vitesse du

vent et sa direction en 2 dimensions (dans le plan horizontal).

Les anémomètres à ultrasons permettent de mesurer, en utilisant l'effet Doppler, la vitesse du vent et sa direction en 3 dimensions.

B

Bergerhoff

Cette méthode permet de faire l'analyse des retombées de poussières.

Les relevés ainsi que les analyses sont effectués conformément à la norme VDI 2119. Dans le cadre de l'OPair, les concentrations en plomb, cadmium et zinc sont déterminées.

C

Cadmium

Cf. *Métaux lourds*.

Combustibles - Carburants

Les combustibles concernent tous les corps utilisés pour produire de la chaleur.

Par exemple le bois, les huiles, le charbon, le gaz.

Les carburants sont les combustibles qui, mélangés à l'air, peuvent être utilisés dans un moteur à explosion. Ils sont par conséquent intimement liés au domaine des transports.

Par exemple l'essence, le diesel, le kérosène.

Chimiluminescence

Se dit du phénomène par lequel certaines molécules portées à un état excité, par un apport d'énergie venant d'une réaction chimique, retournent à l'état fondamental en restituant une partie de l'énergie sous forme de lumière.

Dans l'analyse de la qualité de l'air, ce phénomène est utilisé pour mesurer des concentrations de NO_x.

Suite à la réaction entre NO et O₃ (qui est rapide et complète en présence d'un excès de O₃) une molécule de NO₂ excitée est formée. Cette molécule va se désexciter en émettant un rayonnement dans le proche infrarouge.

L'intensité de ce rayonnement est proportionnel à la quantité de NO présent dans l'air et permet alors d'en déduire la concentration.

Si l'on veut mesurer une concentration en NO₂, il faut en premier lieu former du NO grâce à un catalyseur,

puis lui faire subir la réaction de chimiluminescence (ou faire une réaction de chimiluminescence entre le NO₂ et le luminol).

Composés organiques volatils (COV)

Sous ce nom générique, on regroupe des milliers de composés aux caractéristiques très variables. Ce sont des molécules constituées principalement d'atomes de carbone et d'hydrogène. Ils sont multiples et s'évaporent relativement facilement.

Ils ne comprennent pas le méthane et les CFC.

Ils sont émis lors de l'évaporation de solvants (dans les peintures, les encres, les produits de nettoyage et de vitrification des sols, etc.), de carburants (lors du transvasement de produits pétroliers ou d'hydrocarbure pour les véhicules à moteur) et lors d'une combustion incomplète.

Sources principales :

- Trafic routier.
- Industrie, artisanat.

Effets :

- Certains composés sont inoffensifs, d'autres hautement toxiques et cancérigènes (par ex. le benzène).
- Ils vont de la simple gêne olfactive, à une irritation ou à la diminution de la capacité respiratoire, jusqu'à des risques d'effets cancérigènes.
- Combinés aux oxydes d'azote, ce sont d'importants précurseurs d'oxydants photochimiques (ozone / smog estival)

Composition de l'atmosphère

L'atmosphère (au niveau du sol) est composée de molécules et de différentes particules en suspension.

Molécules :

Azote (N₂) : 78.1%

Oxygène (O₂) : 20.9%

Argon (Ar) : 0.9%

Dioxyde de carbone (CO₂) : 0.03%

Et

Vapeur d'eau (H₂O) : hautement variable

Ozone (O₃), Dioxyde d'azote (NO₂), Dioxyde de soufre (SO₂), : ppb

Particules

Poussières de toutes sortes, aérosols, ...

D

Dioxyde d'azote (NO₂)

Cf. Oxydes d'azote (NO_x).

Dioxyde de carbone (CO₂)

Il est émis lors de toute combustion.

Sources principales :

- Chauffages industriels et domestiques.
- Véhicules à moteur (trafic routier et autres).

Effets

Dans les concentrations actuelles, le CO₂ ne présente pas un danger pour la santé mais pour le climat, car étant l'un des principaux gaz à effet de serre.

Dioxyde de soufre (SO₂)

Synonyme : Anhydride sulfureux.

Il est émis lors de la combustion de combustibles fossiles contenant du soufre (fioul, charbon). L'émission du dioxyde de soufre dépend directement de la teneur en soufre du combustible.

Sources principales :

Chauffages industriels et domestiques.

Effets :

- Maladies respiratoires.
- Dommages divers aux plantes et aux écosystèmes fragiles.
- Corrosion des métaux et altération des matériaux de construction.
- Importants précurseurs de pluies acides et de poussières fines.

Direction (- horizontale - du vent)

La direction est une des deux grandeurs qui, avec la force, caractérise le vent horizontal.

En météorologie, on donne toujours la direction d'où vient le vent repérée par rapport aux points cardinaux (nord, est, sud, ouest) ou par l'angle de cette direction par rapport au Nord.

Par exemple, un vent de sud sera de secteur 180°, un vent d'ouest sera de secteur 270°.

DOAS

Acronyme pour « Differential Optical Absorption Spectroscopy », c.-à-d. « absorption spectrophotométrique différentielle ».

Cette technique est basée sur les propriétés d'absorption d'un faisceau lumineux par les molécules étudiées.

Une des différences fondamentales par rapport à un analyseur ponctuel « classique » est que la mesure donnée par un DOAS est intégrée sur un chemin optique.

E

Emissions

Polluants rejetés dans l'environnement par les installations, les véhicules ou les produits.

Ils sont mesurés à la source de leur rejet alors qu'ils ne sont pas encore dilués dans l'atmosphère.

F

FID

Acronyme pour « Flame Ionisation Detector », traduit par « Détecteur à ionisation de flamme ».

Si l'on injecte dans une flamme air-hydrogène des molécules contenant des atomes de carbone, on obtient des ions. En les faisant passer entre des électrodes chargées, un courant est produit. Celui-ci est proportionnel au nombre d'atomes de carbone présents dans la flamme, ce qui permet d'en mesurer la concentration.

Le coefficient de proportionnalité dépend de la "famille" des molécules : hydrocarbures (env. 1), alcools, cétones, solvants chlorés (env. 0) ...

On peut considérer que la réponse est pratiquement spécifique des hydrocarbures présents dans l'air ambiant (les autres molécules contenant du carbone, comme CO₂, ne contribuant pas à cette réponse) et celle-ci est proportionnelle à la quantité d'hydrocarbures présents.

Par ailleurs, le méthane étant un constituant naturellement présent dans l'air ambiant (méthane anthropogénique), il peut être intéressant de le séparer des autres hydrocarbures dus à l'activité humaine. On peut donc soit doser les "hydrocarbures totaux" si l'air ambiant est directement envoyé dans le brûleur, soit les hydrocarbures "non-méthaniques", en plus des hydrocarbures totaux et du méthane obtenu par différence, par des techniques de séparation des hydrocarbures (en général méthane - autres hydrocarbures) à l'aide d'une cartouche de charbon actif, ou d'une colonne de chromatographie en phase gazeuse, ou encore par destruction sélective des hydrocarbures non-méthaniques à l'aide d'une colonne d'hopcalite chauffée à 260° C.

FUV

Acronyme pour « Fluorescence UV ».

Lorsqu'elles sont soumises à un rayonnement UV qui va les porter dans un état excité, certaines molécules (comme par exemple le SO₂) peuvent céder ce supplément d'énergie par fluorescence.

Ce rayonnement de fluorescence peut être capté par un photo détecteur et est proportionnel à la concentration du gaz analysé.

G

Gravimétrie

En chimie, se dit d'une méthode d'analyse par pesée. Cette méthode est utilisée dans la mesure des concentrations des PM10 dans l'air ambiant. Au ROPAG deux types de mesures sont utilisées : par *pesée* et par *micro-balance*.

Pesée

On aspire, après une sélection de la taille des particules à étudier par un impacteur, un volume de 720 m³ d'air extérieur à analyser en 24 h à travers un filtre en fibre de quartz de 15 cm de diamètre.

La différence entre les pesées avant et après l'accumulation permet de recouvrer la concentration.

Cette méthode de référence répond à la norme EN 12341.

Micro-balance

On aspire, après une sélection de la taille des particules à étudier par un impacteur, un volume d'air extérieur à analyser à travers un filtre. Celui-ci repose sur la tête d'une tige vibrante, et la masse des particules accumulées va alors modifier la fréquence de vibration. Cela permet alors de recouvrer la concentration.

H

Humidité relative

Cette unité donne la teneur en vapeur d'eau de l'air.

On raisonne souvent avec l'humidité relative, qui exprime la quantité de vapeur d'eau en pourcentage par rapport à l'état de saturation.

D'autres unités permettent de donner la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air, comme le rapport de mélange, qui est la masse de vapeur d'eau par kilogramme d'air sec.

Hydrocarbures totaux (HCT)

Cf. FID.

Hygromètre

L'hygromètre est un instrument destiné à mesurer l'humidité relative de l'air.

Les hygromètres traditionnels utilisent les propriétés des cheveux qui s'allongent quand l'humidité s'accroît. D'autres types d'hygromètres sont électroniques, basés sur le principe de la variation de capacité d'un condensateur avec l'humidité

I

Immissions

Pollution atmosphérique à l'endroit où elle déploie ses effets sur l'homme, les animaux, les plantes, le sol et les biens matériels.

Les polluants sont émis dans l'atmosphère et subissent un certain nombre de dilutions et transformations chimiques. Il s'agit d'une pollution "ambiante" en suspension dans l'atmosphère.

Les immissions sont mesurées par prise d'échantillon dans l'air qui nous entoure.

L

LPE

Acronyme pour « Loi sur la protection de l'environnement ».

Cette loi fédérale a été adoptée à l'unanimité le 7 octobre 1983 et est entrée en vigueur le 1^{er} février 1985.

Dixit l'article énonçant le but de la LPE, art. premier, 1^{er} al. : « La présente loi a pour but de protéger les hommes, les animaux et les plantes, leurs biocénoses et leurs biotopes des atteintes nuisibles ou incommodes, et de conserver la fertilité du sol ».

M

Métaux lourds

Se dit des éléments chimiques dont la masse spécifique est supérieure à 5'000 kg/m³. Leur abondance naturelle est généralement inférieure à 0.1 % , c.a.d. 1000 ppm : on parle de « trace ».

Dans l'atmosphère ces métaux se rencontrent le plus souvent incorporés aux particules fines en suspension.

Pour l'être humain, ces particules peuvent alors pénétrer dans les poumons, et ce d'autant plus profondément qu'elles sont petites.

Dans la nature il y a un phénomène d'accumulation, notamment du fait que ces métaux ne sont pas dégradables (que ce soit biologiquement ou chimiquement).

Plomb

Sources principales

- Traitement des déchets métalliques.
- Batteries.
- Secteur du bâtiment.
- Combustion de l'essence au plomb (source qui a fortement diminué depuis l'introduction de l'essence sans plomb).

Effets

- Entrave la formation de l'hémoglobine et provoque des modifications de la composition du sang.
- Neurotoxique.
- Effets toxiques sur les systèmes cardio-vasculaires et nerveux.
- S'accumule dans les chaînes alimentaires.

Cadmium

Sources principales

- Traitement de surface des métaux.
- Stabilisateur des plastiques.
- Combustion de produits cadmiés (couleurs, produits artificiels).
- Pigmentations (interdit en Europe depuis 1991).
- Batteries, accumulateurs.
- Incinérations : métaux, ordures ménagères.

Effets

- Cancérogène.
- Perturbations des reins et du foie.
- Poison pour les végétaux.
- S'accumule dans les chaînes alimentaires.

Zinc

Sources principales

- Industrie (traitement des métaux par ex.).
- Combustion de carburants.
- Usines d'incinération.
- Usure des pneus, des chaussées.

Effets

Oligo-élément essentiel pour l'homme et les plantes, il devient très toxique à forte concentration.

Thallium

Source principale

Industrie du ciment.

Effets

- Élément très persistant dans les sols, il peut alors être absorbé par le biais de la chaîne alimentaire.
- Effets néfastes déjà à de très petites concentrations.

Méthane (CH₄)

Cf. FID.

Il est émis lors de la dégradation microbienne de substances organiques, notamment dans l'élevage de bovins et dans les décharges.

Il est inoffensif pour l'homme et l'animal dans les concentrations d'immissions normales.

Il participe à l'effet de serre ainsi qu'à la formation de l'ozone dans la troposphère.

Monoxyde d'azote (NO)

Cf. Oxydes d'azote (NO_x).

Monoxyde de carbone (CO)

Le monoxyde de carbone est émis lors de combustion incomplète de carburants et de combustibles.

Sources principales :

- Véhicules à moteur (trafic routier).
- Chauffages domestiques et industriels.
- Feux de forêt.

Effets :

- Inhalé à doses importantes et répétées, c'est un poison pour l'homme et les animaux à sang chaud (il bloque l'apport d'oxygène dans le sang).
- Intervient dans la formation de l'ozone troposphérique.

La moyenne journalière est exprimée en milligramme par mètre cube (mg/m³) contrairement aux autres polluants dont l'unité de mesure est le microgramme par mètre cube (µg/m³).

Moyennes

Moyenne semi-horaire

Chaque demi-heure, la moyenne des valeurs enregistrées est calculée.

Moyenne horaire maximale

La moyenne horaire se calcule à partir de la moyenne des 2 valeurs semi-horaires. La moyenne horaire maximale est donc le chiffre maximum des moyennes obtenues durant la journée. Sur une heure il y a deux moyennes semi-horaires.

Moyenne journalière

La moyenne journalière se calcule à partir des moyennes semi-horaires d'une journée. Pour calculer la moyenne journalière, il faut au moins 36 moyennes semi-horaires.

Moyenne annuelle

Elle se calcule à partir des moyennes semi-horaires d'une année. Pour calculer la moyenne annuelle, il faut au moins 13'140 moyennes semi-horaires.

Moyenne annuelle glissante

Elle se calcule à partir des moyennes semi-horaires effectuées durant les 365 jours précédents. Elle est recalculée quotidiennement. Pour calculer la moyenne annuelle glissante, il faut au moins 13'140 moyennes semi-horaires.

Percentile 95

95% des moyennes semi-horaires d'une année doivent être inférieures à la valeur fixée x.

Ce qui veut dire que sur 100 moyennes, 95 d'entre elles doivent être inférieures à la valeur fixée x. Seules 5 valeurs peuvent être supérieures.

Percentile 98

98% des moyennes semi-horaires d'un mois doivent être inférieures à la valeur fixée x.

Donc, sur 100 moyennes, 98 d'entre elles doivent être inférieures à la valeur fixée x. Seules 2 valeurs peuvent être supérieures.

O

OPair

Acronyme pour « Ordonnance (fédérale) sur la protection de l'air ».

Elle a pour but « de protéger l'homme, les animaux et les plantes, leurs biotopes et biocénoses, ainsi que le sol, des pollutions atmosphériques nuisibles ou incommodes ».

La 1^{ère} version date du 16 décembre 1985, et découle de la LPE – Loi sur la protection de l'environnement du 12 octobre 1983.

Cette ordonnance a été renforcée plusieurs fois depuis, la dernière datant du 12 octobre 1999.

Oxydes d'azote (NO_x)

Les oxydes d'azote sont émis lors de la combustion, que ce soit de la transformation de l'azote contenu dans le combustible, ou le carburant, ou de l'oxydation de l'azote amené par l'air.

Etant donné que le NO s'oxyde rapidement en NO₂, la totalité des émissions est exprimée en dioxyde d'azote.

Le terme "Oxydes d'azote" (NO_x), recouvre le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO₂) :



En combinaison avec les composés organiques volatils, et sous l'action de l'énergie solaire, les NO_x interviennent dans la formation de l'ozone troposphérique.

Sources principales :

- Véhicules à moteur (trafic routier et autres machines).
- Installations de combustion.

Effets :

- Maladies respiratoires.
- Dommages divers aux plantes et aux écosystèmes fragiles lorsqu'ils sont combinés à d'autres polluants.
- Fertilisation excessive des écosystèmes.
- Importants précurseurs de pluies acides et de poussières fines.

Oxydes de carbone

Cf. *Monoxyde de carbone (CO)*, *Dioxyde de carbone (CO₂)*.

Les oxydes de carbone sont émis lors de la combustion des combustibles ou des carburants, qui contiennent du carbone.

Lorsque la combustion est incomplète, celle-ci génère une quantité importante de monoxyde de carbone. C'est le cas, par exemple, d'un moteur de véhicule mal réglé.

Ozone (O₃)

L'ozone est un constituant naturel de l'atmosphère qui se forme soit :

- dans la stratosphère, par un processus photochimique, et qui parvient à la troposphère par des processus d'échange.
- par une transformation photochimique due à la présence naturelle de NO_x, COV et CO.

D'après des mesures effectuées au début du siècle dernier, époque à laquelle on peut supposer que les émissions anthropiques étaient faibles, on estime que la concentration naturelle en ozone était de 10 à 15 ppb au niveau du sol.

A cela s'ajoute l'ozone résultant de l'activité humaine. Pour illustrer ceci, voici un exemple tiré d'un rapport de l'OFEV du 3 février 1995.

« Une charge estivale en ozone de 200 µg/m³, mesurée dans une agglomération du nord des Alpes, se compose aujourd'hui comme suit :

- 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ($\pm 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) : Ozone naturel.
- 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ($\pm 20 \mu\text{g}/\text{m}^3$) : Concentration de fond (dictée par les émissions de toute l'Europe).
- 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ($\pm 60 \mu\text{g}/\text{m}^3$) : Réservoir d'ozone (dicté par les polluants émis dans un rayon de 500 à 1000 km).
- 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ($\pm 20 \mu\text{g}/\text{m}^3$) : Ozone produit localement (dicté par les émissions produites dans un rayon de 50 km). »

Contrairement aux autres polluants, l'ozone n'est pas émis directement par une source particulière. L'ozone proche du sol est un polluant secondaire qui se forme par réaction chimique dans la troposphère à partir d'oxydes d'azote et de composés organiques volatils sous l'action de la lumière du soleil.

Sources principales :

- Trafic
- Industrie et artisanat

Effets :

L'effet néfaste de l'ozone vient de sa très grande réactivité.

- Irritation des muqueuses, des voies respiratoires.
- Irritations oculaires.
- Provoque des sensations d'oppression.
- Diminue la fonction pulmonaire.
- Endommage les plantes.

Les effets sont augmentés lors d'exercices physiques et sont variables selon les individus.

P

Percentile 95, Percentile 98

Cf. Moyenne.

Plomb

Cf. Métaux lourds.

Poussières - PM 10 - PM 2.5

Les poussières parviennent dans l'atmosphère par le biais des procédés industriels ou de combustion, mais aussi de processus naturels et de l'agriculture.

Les poussières, dont le diamètre aérodynamique est inférieur à 10 μm (resp. 2.5 μm), sont appelées PM10 (resp. PM2.5). Ce sont ces poussières fines qui ont un impact sur la santé humaine car elles peuvent pénétrer dans les alvéoles pulmonaires.

Sources principales

- Trafic routier : émissions, abrasions diverses.
- Industrie : chauffages, chantiers, incinérations.
- Agriculture
- Particuliers : chauffages, jardinage.

Effets

- Affection des voies respiratoires (irritation, infection).
- Crises d'étouffement, toux.

- Charge du sol en métaux.
- Pollution des bâtiments et des installations.

Polluants primaires et secondaires

Polluant primaire

C'est un composé chimique qui est émis à la source.

Polluant secondaire

Sous l'action de nombreux paramètres - lumière, humidité, catalyseurs (poussières, métaux), recombinaison, etc. - les polluants primaires subissent des transformations chimiques et donnent naissance à des polluants secondaires.

Pt – 100

Capteur utilisé pour la mesure de la température.

Son principe de fonctionnement repose sur la variation de la résistance d'un fil de platine en fonction de la température. La mesure de cette résistance étant réalisée à l'aide d'un pont de Wheatstone.

Son utilisation s'étend de 13,81 K (point triple de l'hydrogène) à 903,89 K (point de solidification de l'antimoine).

Pression

La pression est une force par unité de surface. La pression atmosphérique (poids de l'atmosphère par unité de surface) est l'une des quantités utilisées par les météorologistes (comme la température) pour caractériser le temps qu'il fait. Pour comparer entre elles les pressions atmosphériques mesurées à des endroits d'altitudes différentes, on calcule une pression fictive qui serait celle qu'on mesurerait au niveau de la mer à cet endroit : c'est la pression au niveau de la mer.

La pression est exprimée en hecto-Pascal (hPa), le Pascal étant très petit (1 Bar=100000 Pascal). Elle varie dans le temps et dans l'espace beaucoup plus rapidement selon la verticale que dans le plan horizontal, où sa répartition se décrit en terme d'anticyclones, de dépressions, de dorsales, de thalwegs...

Pyranomètre

Il permet de mesurer l'éclairement énergétique global, ainsi que l'éclairement énergétique diffus par adjonction d'un dispositif d'occultation du disque solaire.

L'élément sensible (thermopile) du pyranomètre est une série de thermocouples exposés au rayonnement solaire, dont les soudures froides sont maintenues à la température de l'air par conduction et qui délivre une différence de potentiel proportionnelle au flux incident.

R

Rayonnement solaire

Rayonnement diffus: éclairage énergétique solaire dirigé vers le sol reçu par une surface horizontale, provenant de tout l'hémisphère à l'exception de l'angle solide limité au disque solaire.

Rayonnement global (direct et diffus): éclairage énergétique solaire reçu par une surface horizontale à partir d'un angle solide de 2π sr.

Répartition des stations du ROPAG sur le canton

Milieu urbain :

Zone comprenant les stations situées au centre de la ville (Sainte-Clotilde, Ile, Wilson).

Milieu suburbain :

Zone comprenant les stations situées dans l'agglomération, en périphérie du centre (Meyrin, Le Foron).

Milieu rural :

Zone comprenant les stations situées dans ou proches d'une zone agricole (Anières, Passeiry).

Milieu forestier :

Station située en forêt, dans les bois de Jussy.

S

Smog

Ce terme (anglo-saxon) est issu de la contraction de "smoke" et de "fog" (fumée et brouillard).

En hiver, ce phénomène se rencontre lors d'inversion de température : dans des conditions anticycloniques, l'air proche du sol se refroidit plus vite que l'air des couches supérieures et les vents sont faibles. De ce fait, les polluants ne peuvent plus se diluer dans l'atmosphère. C'est ce qu'on appelle le smog hivernal.

En été, sous l'action de l'énergie du soleil, des réactions photochimiques donnent naissance, à partir de précurseurs (oxydes d'azote et composés organiques volatils) à de l'ozone ainsi qu'à des composés chimiques dispersés sous forme de fumée. C'est ce qu'on appelle le smog estival, ou smog photochimique.

T

Température

La température de l'air en un lieu donné est la quantité qui caractérise la sensation de chaleur ou de froid que l'on y éprouve et dont la mesure objective est fournie par le thermomètre. On mesure la température en degrés Celsius. Dans la troposphère,

c'est-à-dire du sol jusqu'à environ 10km d'altitude, la température décroît quand l'altitude augmente.

Thallium

Cf. *Métaux lourds*.

U

Unités de mesure

Le microgramme (μg) est 1000 fois plus petit que le milligramme (mg).

Le microgramme par mètre cube ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) est une des unités utilisées pour la mesure de concentrations.

Le milligramme par mètre cube (mg/m^3) est 1000 fois plus grand que le microgramme par mètre cube ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). C'est l'unité communément utilisée pour les concentrations de CO.

Les résultats peuvent aussi être exprimés en :

- parts par milliard : ppb ("b" pour billion en anglais).
- parts par million : ppm.

Une relation existe entre les $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et les ppb. Celle-ci dépend de la température et de la pression auxquelles on fait la mesure.

V

Valeurs limites d'immersion (VLI)

Elles répondent aux critères de la Loi sur la Protection de l'Environnement (LPE), selon lesquels l'homme, les animaux, les plantes, leurs biocénoses et leurs biotopes doivent être protégés contre les atteintes nocives ou inconfortables, et la fertilité du sol préservée.

VLI à court terme :

Elles sont fixées de façon à bannir les épisodes de pollution aiguës.

Les périodes d'évaluation sont le jour (limite journalière), l'heure (limite horaire), ou la demi-heure (limite semi-horaire) selon les polluants.

Elles ne peuvent être dépassées plus d'une fois par année.

VLI à long terme :

Elles ont pour but d'éviter le développement de maladies dues à l'effet d'un taux de pollution relativement faible mais sur une longue durée d'exposition.

La période d'évaluation est l'année (VLI annuelle).

Elles ne doivent pas être dépassées.

Vent

C'est un déplacement de l'air.

En météorologie, on caractérise le vent par sa vitesse et la direction d'où il souffle.

Z**Zinc**

Cf. *Métaux lourds*.

Pour obtenir des informations complémentaires :



**Service de l'information
et de la communication**

6, chemin de la gravière
1227 Genève

Tél. 022 327 47 11

www.geneve.ch/environnement

Accueil: 9h-12h 14h-17h

Accès TPG: lignes 2, 10, 19, 20 et 22 arrêt Batie,
Ligne 11 arrêt Queue d'Arve

Service cantonal de protection de l'air

23, avenue de Sainte-Clotilde
1205 Genève

Tél. 022 388 80 50

Fax. 022 388 80 09

Document disponible en pdf sur internet : www.ge.ch/air