

Qualité de l'air

2020



REPUBLIQUE
ET CANTON
DE GENEVE

POST TENEBRAS LUX

SERVICE DE L'AIR, DU BRUIT ET DES
RAYONNEMENTS NON IONISANTS

Qualité de l'air 2020



**SERVICE DE L'AIR, DU BRUIT ET DES
RAYONNEMENTS NON IONISANTS**
mai 2021

Imprimé sur papier recyclé

Sommaire

1. L'essentiel en bref	7
2. La mesure de la qualité de l'air à Genève : le ROPAG.....	8
2.1. <i>Introduction</i>	8
2.2. <i>Présentation des stations du ROPAG</i>	9
3. Récapitulatifs de l'année 2020.....	10
3.1. <i>Tableau résumé des mesures</i>	10
3.2. <i>Variation journalière de l'IPC</i>	11
4. Evolution de la qualité de l'air	12
4.1. <i>Dioxyde d'azote (NO₂)</i>	12
4.2. <i>Ozone (O₃)</i>	14
4.3. <i>Poussières fines (PM10 et PM2.5)</i>	16
4.4. <i>Dioxyde de soufre (SO₂)</i>	19
4.5. <i>Monoxyde de carbone (CO)</i>	20
4.6. <i>Retombées de poussières</i>	21
5. Capteurs passifs : mesure du NO ₂	24
5.1. <i>Introduction</i>	24
5.2. <i>Méthodologie</i>	24
5.3. <i>Emplacements - valeurs 2020</i>	24
5.4. <i>Cartographie</i>	26
Annexes.....	28
<i>Annexe 1 : Mesure des immissions</i>	29
<i>Annexe 2 : Stations du ROPAG</i>	31
<i>Annexe 3 : Résultats détaillés des mesures par station</i>	36
<i>Annexe 4 : Généralités sur les différents polluants</i>	49
<i>Annexe 5 : Focus sur les particules fines</i>	52
<i>Annexe 6 : Préparation et analyse des capteurs passifs NO₂</i>	57
<i>Annexe 7 : Covid-19 et semi-confinement: les impacts sur la qualité de l'air à Genève</i> .	59
<i>Annexe 8 : Information sur la qualité de l'air</i>	68
<i>Annexe 9 : Glossaire</i>	70

Les données contenues dans ce rapport sont publiques. Néanmoins, leur utilisation nécessite d'en citer la source : SABRA – DT – Etat de Genève

1. L'essentiel en bref

Le présent document fournit une synthèse des milliers de mesures effectuées dans le canton de Genève en 2020 par le réseau d'observation de la pollution atmosphérique à Genève (ROPAG) ainsi que l'évolution de la situation durant les dernières années.

Ce rapport montre notamment que la qualité de l'air mesurée pour l'année 2020 s'inscrit dans l'évolution positive observée ces dernières années, en étant par ailleurs marquée par une situation sanitaire exceptionnelle qui a contribué à la baisse des émissions polluantes liées à nos activités. Il en résulte un impact sur la qualité de l'air et une analyse circonstanciée est présentée à l'annexe 7.

L'ensemble des exigences légales ne sont toutefois pas satisfaites, en particulier pour les particules fines (PM2.5) en milieu urbain, et l'ozone sur l'ensemble du territoire cantonal. De plus, notre territoire a connu un pic de particules fines en début d'année qui a justifié une première activation du dispositif anti-smog, renforcé en 2019 par notre canton avec l'intégration de la mesure de circulation différenciée unique en Suisse (Stick'AIR).

Dioxyde d'azote (NO₂)

Les concentrations de NO₂ mesurées poursuivent leur diminution sur l'ensemble du territoire avec une nette tendance à la baisse en 2020, notamment en raison de la réduction des émissions d'oxydes d'azote durant le semi-confinement du printemps. En effet, en 2020, à l'exception de la station Necker, située dans l'hyper-centre de la ville de Genève, la valeur limite d'immission (VLI) annuelle de l'ordonnance sur la protection de l'air (OPair) est respectée dans toutes les stations de mesures et à tous les emplacements des capteurs passifs. Comme c'est le cas depuis plusieurs années, la VLI OPair journalière est respectée sur tout le canton.

Ozone (O₃)

Comme les années précédentes, des concentrations excessives d'O₃ ont été mesurées sur l'ensemble du canton en 2020, les plus faibles valeurs ayant été enregistrées en milieu urbain. Tous les dépassements de la VLI OPair horaire ont été mesurés entre avril et septembre. Malgré deux épisodes caniculaires, le nombre de dépassements comptabilisés en 2020 est inférieur à celui des années 2018 et 2019.

Poussières fines (PM10 et PM2.5)

L'année 2020 confirme la baisse des concentrations en PM10 observées ces dernières années. La VLI OPair annuelle est respectée à tous les emplacements des stations de mesures fixes du ROPAG pour la cinquième année consécutive. De plus, les moyennes annuelles ont été proches de celles mesurées en 2018 et 2019, étant ainsi parmi les niveaux enregistrés les plus faibles depuis le début des mesures en 1998. Seule une station de mesure suburbaine a connu, pendant un seul jour, un dépassement de la VLI OPair journalière. Ainsi, le critère de trois dépassements de cette VLI journalière tolérés par an est respecté.

Par ailleurs, comme c'est le cas depuis de nombreuses années, les concentrations de métaux lourds – plomb et cadmium – dans les PM10 respectent largement les VLI OPair annuelles. Ainsi, toutes les exigences légales pour les PM10 ont été respectées en 2020.

Les concentrations en PM2.5 – mesurées depuis 2020 dans toutes les stations de mesures fixes – respectent la VLI OPair annuelle pour les milieux suburbain et rural, mais la dépasse légèrement en milieu urbain.

Dioxyde de soufre (SO₂), monoxyde de carbone (CO), retombées de poussières

Les concentrations de SO₂, de CO, du total des retombées de poussières ainsi que des métaux lourds (plomb, cadmium, zinc et thallium) dans les retombées de poussières respectent les VLI OPair qui leurs sont associées sur tous les sites de mesure et ceci, depuis de nombreuses années.

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

2.1. 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 cette ordonnance, 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.

Dans le canton de Genève, c'est le *Réseau d'Observation de la Pollution Atmosphérique à Genève* (ROPAG) du *Service de l'air, du bruit et des rayonnements non ionisants* (SABRA) qui, depuis bientôt cinquante ans, a pour missions d'analyser la qualité de l'air, d'en suivre l'évolution et d'informer la population.

Afin de faciliter la lisibilité et l'interprétation des résultats, un caractère uniforme a été donné aux représentations des mesures des polluants atmosphériques, ainsi que l'indication systématique des VLI pour permettre d'effectuer les comparaisons avec celles-ci. La pollution à court terme (aiguë, objectivée par exemple grâce aux moyennes horaires ou journalières), mais aussi celle à long terme (chronique, avec par exemple les moyennes annuelles), sont exposées.

Ces mesurages permettent de connaître la situation de la qualité de l'air sur le territoire genevois (état actuel et évolution) et de déterminer si les VLI OPair sont respectées. Si celles-ci sont dépassées, les autorités cantonales doivent alors mettre en place un plan de mesures d'assainissement de l'air¹, selon les articles 31 à 34 de l'OPair et avec pour objectif de respecter les valeurs légales.

¹ Plan de mesures OPair 2018-2023, disponible sur <https://www.ge.ch/document/air-plan-mesures-opair-2018-2023-precedents-assainissement-qualite-air>

2.2. Présentation des stations du ROPAG

En 2020, quatre stations de mesure étaient en activité. Elles sont décrites dans l'annexe 2.

Les emplacements des stations de mesure 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 et locale

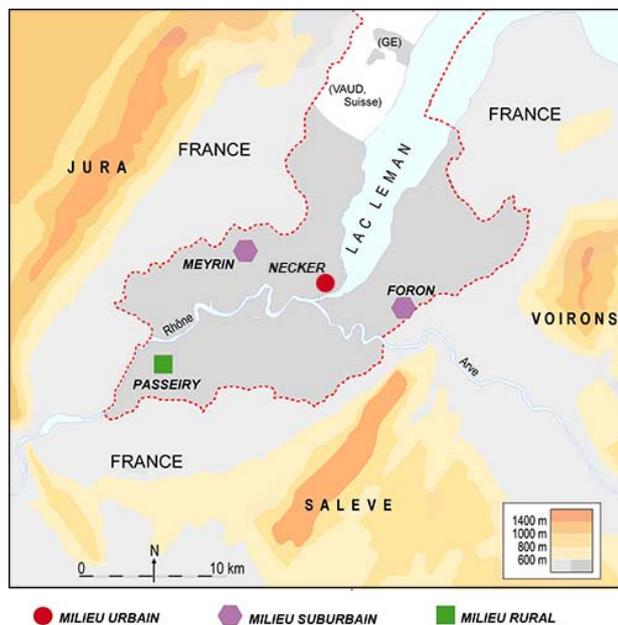


Figure 1. Emplacement des stations fixes du ROPAG

1. Milieu urbain - centre-ville

La station de **Necker** est située non loin de la gare Cornavin. Elle est représentative d'une zone d'urbanisation dense et est entourée de voies de circulation, dont la plus importante et proche se trouve à 40 mètres. Cette station est entrée en fonction au début de l'année 2014.

2. Milieu suburbain - périphérie

La station de **Meyrin** se trouve à proximité de la zone industrielle (ZIMEYSA) et de la cité de Meyrin, au nord-ouest de Genève.

La station du **Foron** est située à l'est de Genève sur la commune de Thônex dans une zone périphérique à forte densité d'habitations. Etant à proximité de la frontière française, elle peut aussi être, selon le régime des vents, sous l'influence de l'agglomération d'Annemasse.

3. Milieu rural - campagne

La station de **Passeiry** est située sur la commune d'Avully, au sud-ouest de Genève, dans une zone éloignée des sources importantes d'émissions polluantes. Elle permet notamment d'évaluer les apports des émissions de la ville lors de périodes de bise.

3. Récapitulatifs de l'année 2020

3.1. Tableau résumé des mesures

Substance	Paramètre	Unité	Stations de mesure				Valeur Limite d'Immission OPair	
			Urbaine	Suburbaines		Rurale		
			Necker	Foron	Meyrin	Passeiry		
NO ₂	Moy. ann.	µg/m ³	30.8	15.5	12.4	8.9	30 µg/m ³	
	Perc. 95	µg/m ³	62.0	43.0	34.8	26.8	100 µg/m ³	
	Nb>80 µg/m ³ (1Dép/an)	nb	0	0	0	0	80 µg/m ³	
O ₃	Moy. ann.	µg/m ³	44.1	52.4	51.7	53.6		
	Perc. 98	Janv.	µg/m ³	68	78	77	79	100 µg/m ³
		Fév.	µg/m ³	77	85	85	86	
		Mar.	µg/m ³	88	104	99	101	
		Avr.	µg/m ³	116	130	124	127	
		Mai.	µg/m ³	112	123	119	122	
		Juin.	µg/m ³	112	126	122	126	
		Juil.	µg/m ³	121	134	129	130	
		Aout.	µg/m ³	126	139	140	145	
		Sept.	µg/m ³	112	132	134	136	
		Oct.	µg/m ³	66	72	72	75	
Nov.	µg/m ³	55	64	65	71			
Déc.	µg/m ³	66	73	69	72			
Nb ^h >120 µg/m ³ (1Dép/an)	nb	57	250	190	228	120 µg/m ³		
PM 10	Total	Moy. ann.	µg/m ³	16.3	15.0	13.9	13.0	20 µg/m ³
		Nb ⁱ >50 µg/m ³ (3 Dép/an)	nb	0	1	0	0	50 µg/m ³
	Pb	Moy. ann.	ng/m ³	3.6	1.9	1.9	1.8	500 ng/m ³
	Cd	Moy. ann.	ng/m ³	0.11	0.06	0.09	0.19	15 ng/m ³
PM 2.5	Moy. ann.	µg/m ³	11.2	9.7	8.6	8.6	10 µg/m ³	
SO ₂	Moy. ann.	µg/m ³	18	-	-	-	30 µg/m ³	
	Perc. 95	µg/m ³	4.8	-	-	-	100 µg/m ³	
	Nb ⁱ >100 µg/m ³ (1Dép/an)	nb	0	-	-	-	100 µg/m ³	
CO	Moy. ann.	mg/m ³	0.3	-	-	-		
	Nb ⁱ >8 mg/m ³ (1Dép/an)	nb	0	-	-	-	8 mg/m ³	
Pouss.	Total	Moy. ann.	mg/(m ² ·j)	23	30	-	23	200 mg/(m ² ·d)
	Pb	Moy. ann.	µg/(m ² ·j)	4	1	-	1	100 µg/(m ² ·d)
	Cd	Moy. ann.	µg/(m ² ·j)	0.03	0.01	-	0.02	2 µg/(m ² ·d)
	Zn	Moy. ann.	µg/(m ² ·j)	37	10	-	7	400 µg/(m ² ·d)
	Tl	Moy. ann.	µg/(m ² ·j)	0.007	0.006	-	0.007	2 µg/(m ² ·d)

NO ₂ , PM10, O ₃	IPL		3	3	2	2	
--	-----	--	---	---	---	---	--

Légendes et abréviations :

 : Dépassement de la VLI OPair.

Moy. ann. : Moyenne annuelle.

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

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

Dép/an : Nombre de dépassements tolérés par an.

Nb^h : Nombre de moyennes horaires.

Nbⁱ : Nombre de moyennes journalières.

j : Jour.

Pouss. : Retombées de poussières.

IPL : Indice de Pollution à Long terme (cf. glossaire).

3.2. Variation journalière de l'IPC

L'indice suisse de pollution de l'air à court terme (IPC)² est un indicateur journalier déterminé à partir des concentrations de trois polluants : O₃, PM10 et NO₂. Il permet d'objectiver la pollution de l'air au moyen d'une seule valeur agrégée allant de 1 à 6. Un indice égal ou supérieur à 3 indique le dépassement d'au moins une des VLI OPair.

IPC	Charge polluante
6	très élevée
5	élevée
4	marquée
3	significative
2	modérée
1	faible
	mesures incomplètes

Basée sur l'IPC, l'illustration ci-dessous permet d'avoir une vue d'ensemble des variations journalières de la pollution de l'air au cours de l'année 2020 et selon le milieu considéré.

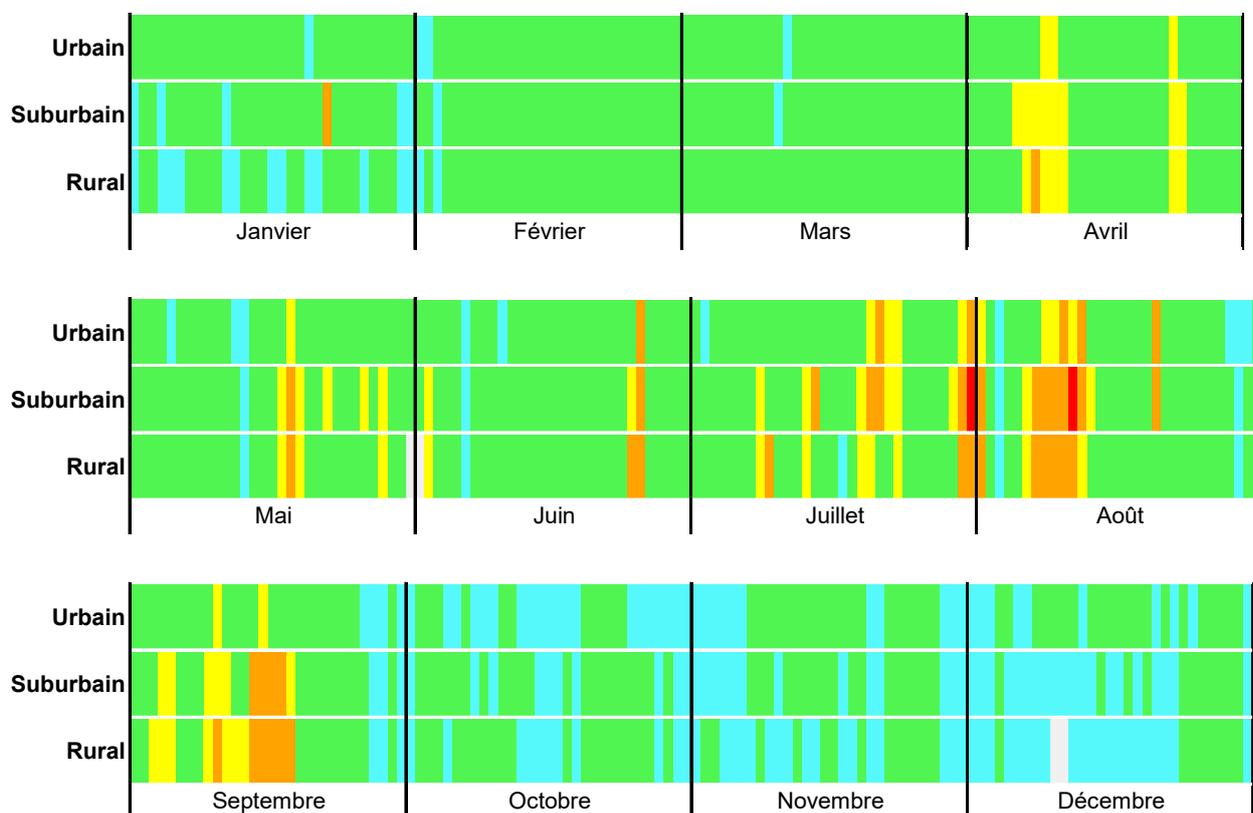


Figure 2. Variations journalières de l'IPC par milieu en 2020

² La méthode de calcul de cet indice, qui a été mise à jour en 2019, est disponible dans la recommandation 27a de Cercl'Air sur son site Internet : <https://cerclair.ch/fr/empfehlungen>

4. Evolution de la qualité de l'air

Les figures suivantes présentent l'évolution des concentrations des polluants atmosphériques mesurées par le ROPAG durant les 20 dernières années. Par ailleurs :

- L'annexe 2 donne des informations sur les stations de mesure et les périodes de mesurage.
- L'annexe 3 détaille les résultats de chacun des polluants pour chacune des stations.
- Les annexes 4 et 5 fournissent des informations détaillées sur les polluants (origines, effets, ...), avec un focus sur les particules fines.
- L'annexe 7 examine l'impact du semi-confinement sur la qualité de l'air en 2020.

4.1. Dioxyde d'azote (NO₂)

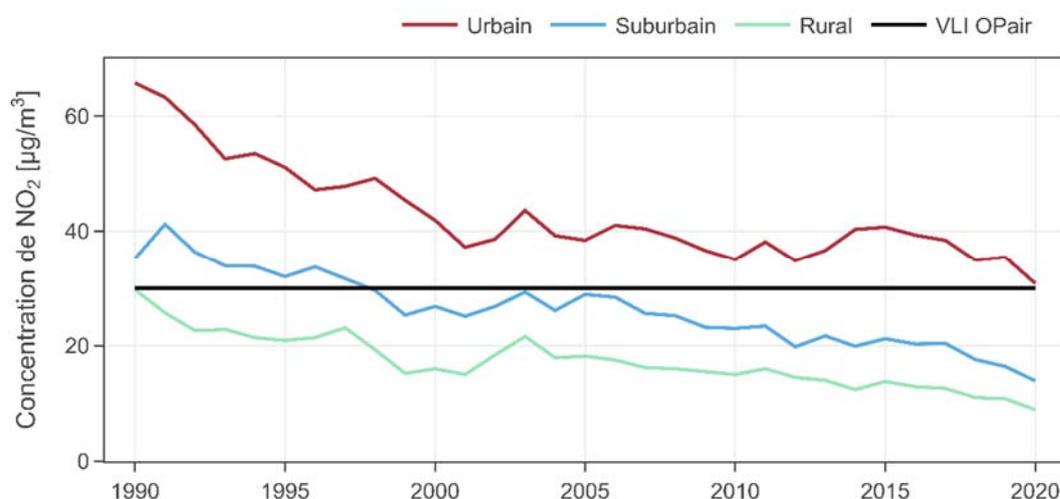


Figure 3. Concentration moyenne annuelle de NO₂

En milieu urbain, la moyenne annuelle dépasse légèrement la VLI OPair (30 µg/m³) en 2020 malgré une baisse significative par rapport à l'année 2019. En milieux suburbain et rural, les moyennes annuelles sont depuis longtemps en dessous de la VLI OPair et continuent de diminuer régulièrement.

De plus, les mesures effectuées au moyen de capteurs passifs confirment une diminution importante de la concentration de fond de ce polluant par rapport aux moyennes des dernières années (voir cartographie du chapitre 5).

La situation sanitaire (crise de la Covid-19) a eu un impact significatif sur les émissions de NO_x, en particulier celles issues du trafic routier et aérien. Cette baisse est analysée en détail dans l'annexe 7.

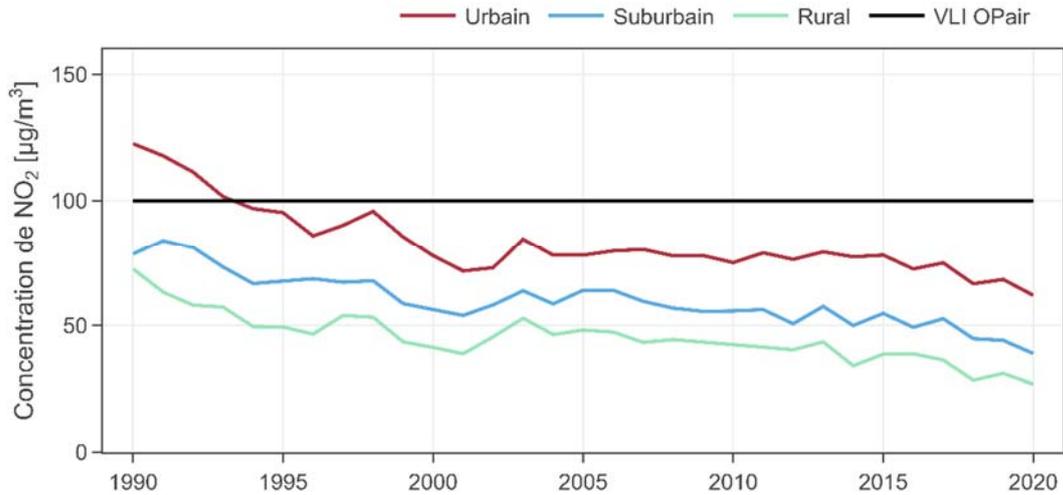


Figure 4. *Percentile 95 des moyennes semi-horaires annuelles de NO₂*

Les percentiles 95 (P95) se situent tous en dessous de la VLI OPair (100 µg/m³) depuis de nombreuses années sur tout le canton et continuent de suivre la tendance à la baisse dans tous les milieux.

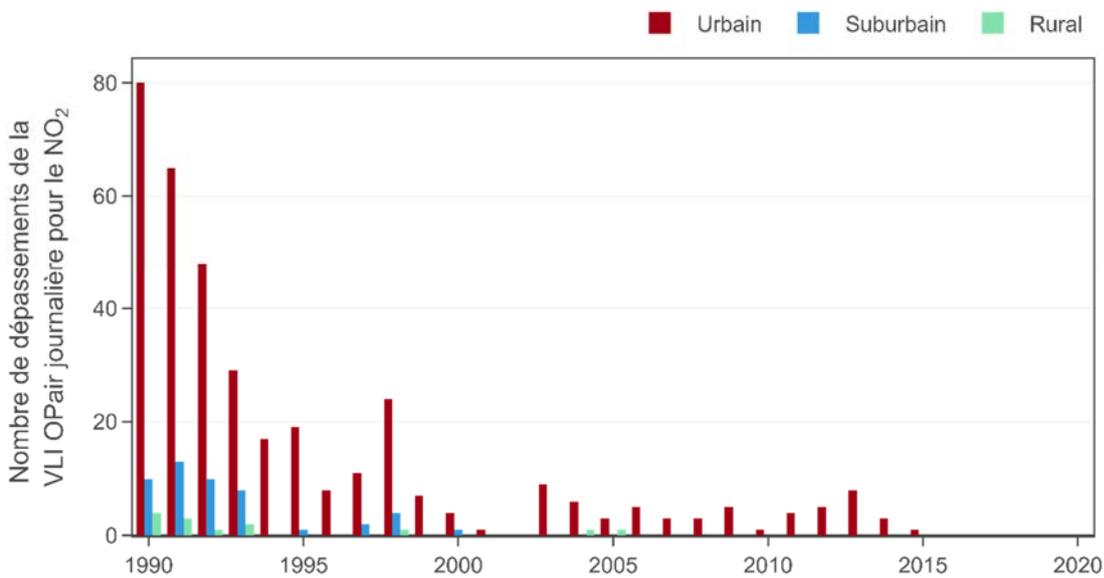


Figure 5. *Nombre de dépassements de la VLI OPair journalière pour le NO₂*

En 2020, la VLI OPair journalière pour le NO₂ (80 µg/m³) a été respectée toute l'année à toutes les stations. Le critère d'un dépassement autorisé par an est satisfait pour la sixième année consécutive. La moyenne journalière la plus élevée a atteint 70 µg/m³ à la station de Necker le 16 janvier 2020.

4.2. Ozone (O₃)

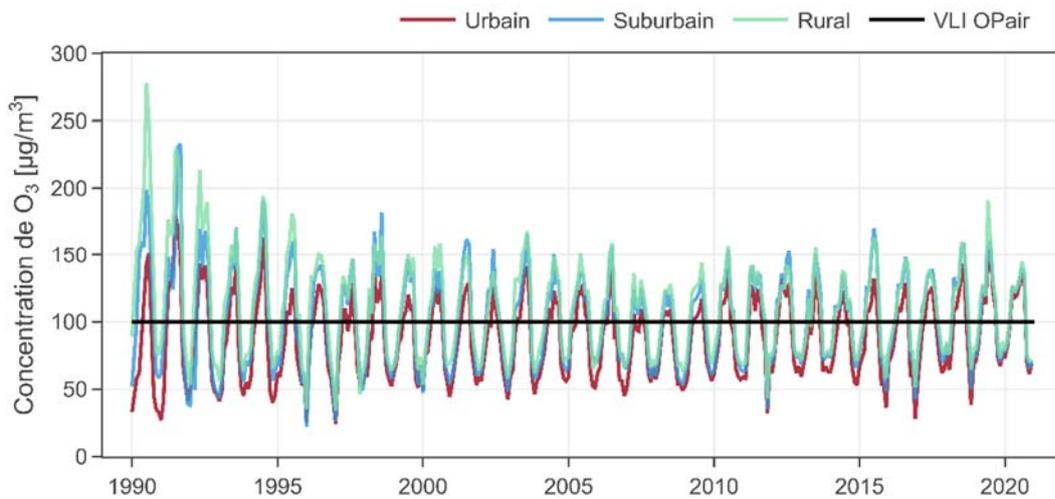


Figure 6. *Percentile 98 des moyennes semi-horaires mensuelles d'O₃*

En 2020, les percentiles 98 (P98) ont dépassé la VLI OPair (100 µg/m³) entre les mois de mars et septembre. Pendant cette période, la concentration d'ozone a augmenté progressivement pour atteindre un P98 maximum de 145 µg/m³ au mois d'août à la station de Passeiry.

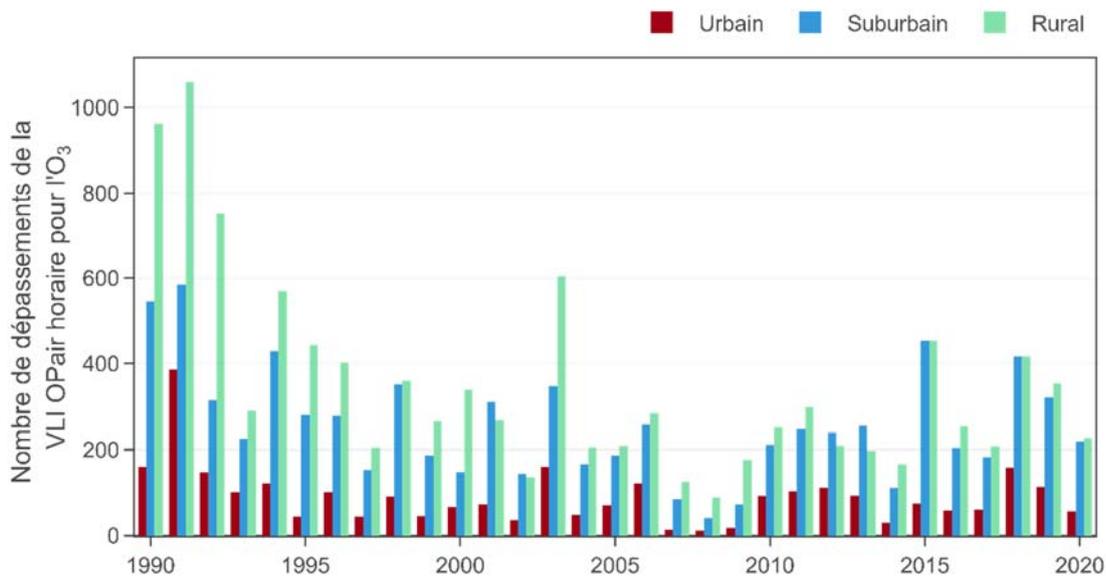


Figure 7. *Nombre de dépassements de la VLI OPair horaire pour l'O₃*

En 2020, les premiers dépassements de la VLI OPair horaire (120 µg/m³) ont été enregistrés, dans tous les milieux, durant un mois d'avril particulièrement chaud et ensoleillé. Ces dépassements ont perduré jusqu'au mois de septembre, mois caractérisé par une météorologie de plein été, pauvre en précipitations et ensoleillé.

Les dépassements observés ont été relativement moins nombreux qu'au cours des deux dernières années et sont dans la moyenne des deux dernières décennies. Les conditions météorologiques estivales – temps peu ensoleillé en juin et juillet – et la diminution de ses

polluants gazeux précurseurs (NO_x) ont limité la présence d'ozone dans l'atmosphère³. Toutefois, le mois d'août a connu une vague de chaleur assez intense, propice à l'accumulation d'ozone⁴.

La concentration horaire maximale de 202 µg/m³ a été enregistrée le 31 juillet à la station de Foron, lors d'une période chaude et ensoleillée. Par la suite, une situation anticyclonique durable a apporté de nombreuses journées estivales en septembre, qui a connu un nombre élevé de dépassements par rapport à l'accoutumée.

³ MétéoSuisse 2020 : Bulletin climatologique juin 2020 / Bulletin climatologique juillet 2020, Genève.

⁴ MétéoSuisse 2020 : Bulletin climatologique août 2020, Genève.

4.3. Poussières fines (PM10 et PM2.5)

PM10

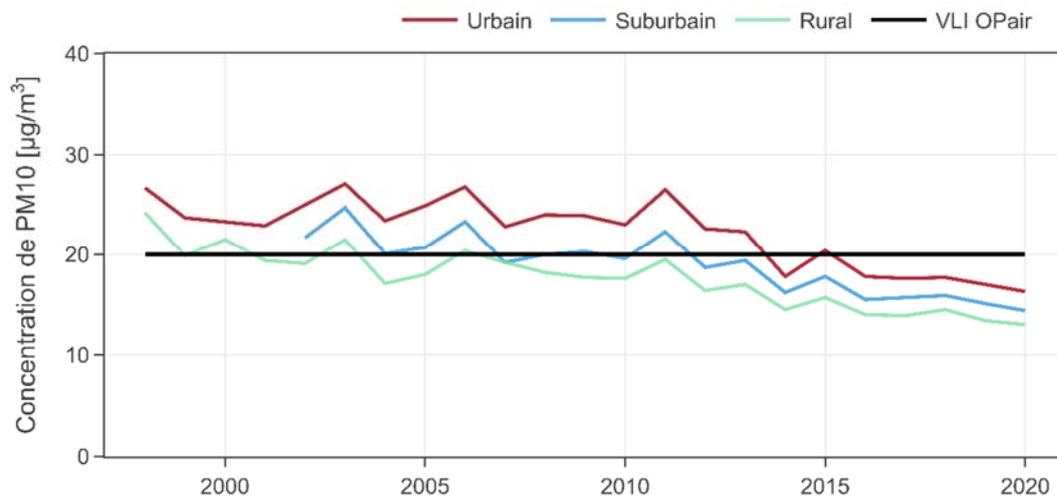


Figure 8. Concentration moyenne annuelle de PM10

En 2020, les moyennes annuelles de PM10 poursuivent leur tendance à la baisse observée ces dernières années et sont restées inférieures à la VLI OPair (20 µg/m³) dans tous les milieux pour la cinquième année consécutive. Les concentrations sont proches de celles mesurées depuis 2016, en baisse par rapport aux années précédentes et les plus faibles depuis le début des mesures en 1998. Les concentrations moyennes annuelles les plus basses sont observées en milieu rural.

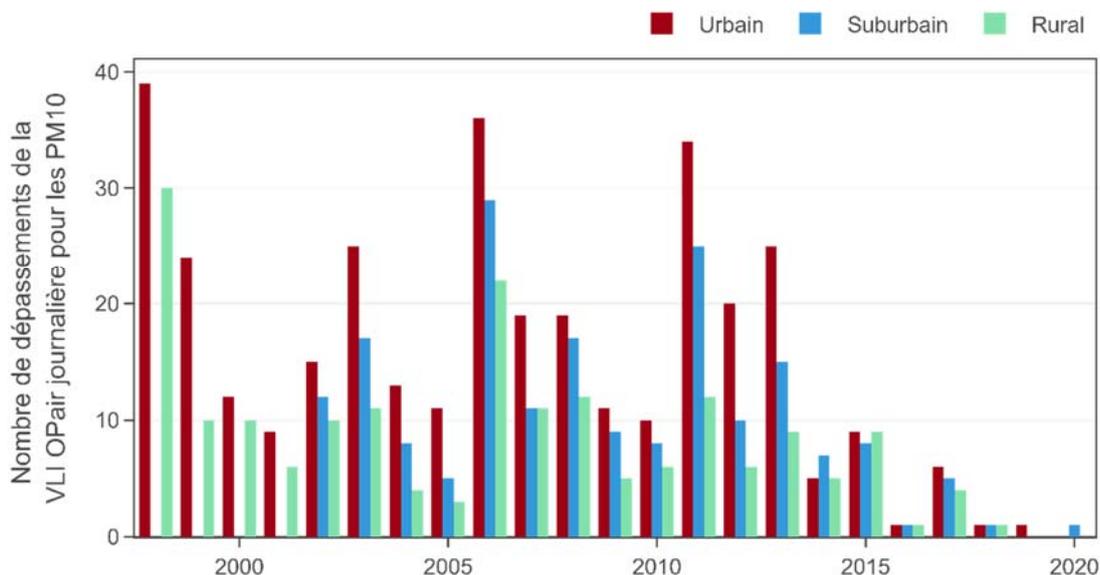


Figure 9. Nombre de dépassements de la VLI OPair journalière pour les PM10

En 2020, la VLI OPair journalière (50 µg/m³) a été dépassée une seule fois et seulement en milieu suburbain avec une concentration de 60 µg/m³ à la station du Foron. Le critère de trois dépassements tolérés par an est respecté pour la troisième fois consécutive, depuis le début des mesures et à l'échelle de tout le territoire cantonal. Les conditions météorologiques hivernales

permettent notamment d'expliquer en partie ce résultat. En effet, 2020 a connu peu d'inversions de température marquées et peu d'épisodes d'import de sable désertique en début d'année. Toutefois, dès la mi-mars, une période de sécheresse exceptionnelle⁵ qui a duré 43 jours et qui fut accompagnée d'épisodes de sable a contribué à des concentrations non négligeables de particules fines, même si aucun dépassement de la VLI n'a été constaté.

Métaux lourds dans les PM10

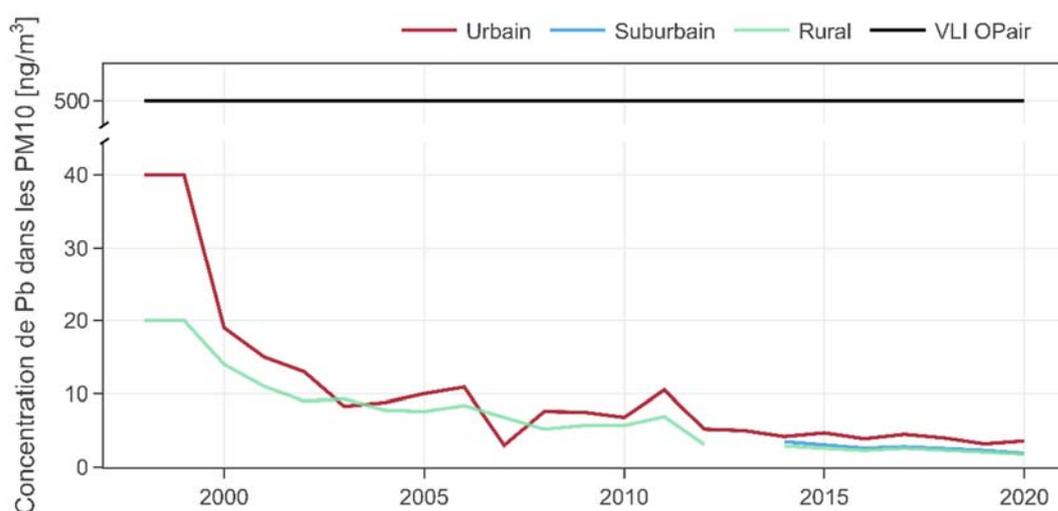


Figure 10. Concentration moyenne annuelle en plomb dans les PM10

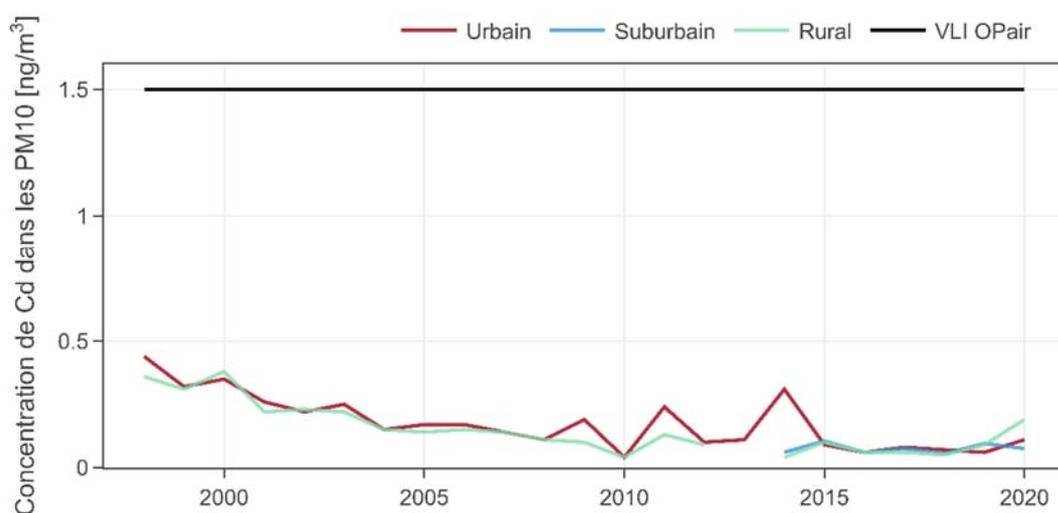


Figure 11. Concentration moyenne annuelle en cadmium dans les PM10

En 2020 et comme c'est le cas depuis de nombreuses années, les moyennes annuelles mesurées pour le plomb et le cadmium dans les PM10 ont été très inférieures aux VLI OPair (500 ng/m³ dans le cas du plomb et 1.5 ng/m³ pour le cadmium).

Ainsi, en 2020, toutes les exigences légales sont respectées pour les PM10.

⁵ MétéoSuisse 2020 : Bulletin climatologique avril 2020, Genève.

PM2.5

La modification de l'OPair, de juin 2018, a induit la mesure du polluant PM2.5 au niveau suisse, impliquant l'acquisition d'un équipement adéquat.

La concentration moyenne annuelle de PM2.5 est mesurée depuis 2020 dans toutes les stations. Pour le milieu urbain, cette valeur est de 11.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, soit en léger dépassement de la VLI OPair annuelle fixée à 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Les autres milieux respectent la VLI.

N'ayant pas de mesures avant 2019 pour la station urbaine et 2020 pour les stations suburbaines et rurales, une estimation, basée sur des mesures effectuées en situation de fond dans d'autres stations suisses⁶, a été effectuée en prenant en compte un ratio des PM2.5/PM10 se situant entre 0.70 et 0.75.

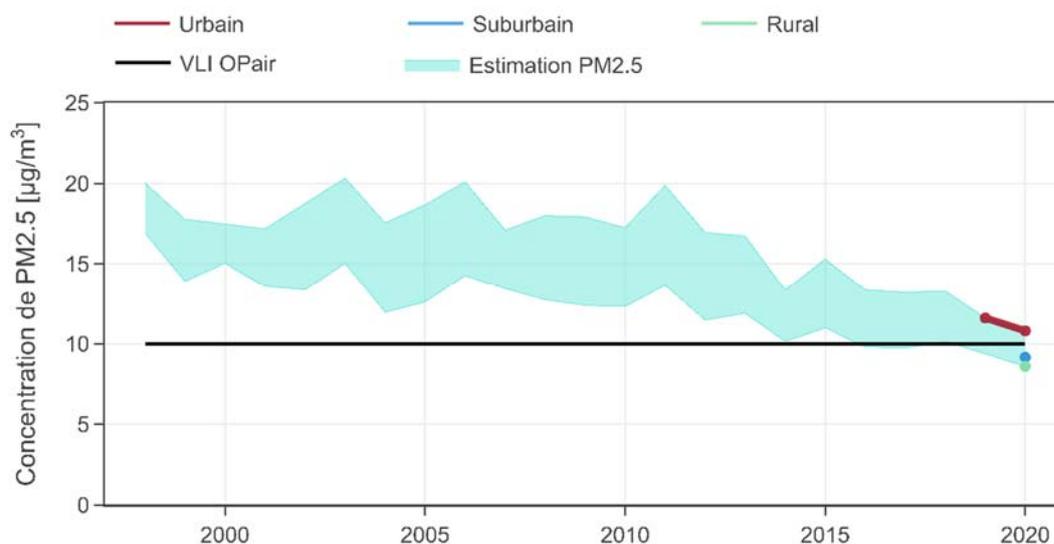


Figure 12. Concentration moyenne annuelle de PM2.5

⁶ "Zusätzliche Partikelmessungen im NABEL Bericht über die Messungen 2019", EMPA, 2020.

4.4. Dioxyde de soufre (SO₂)

Le SO₂ n'est plus considéré comme un polluant problématique du fait de sa très faible concentration actuelle, bien en dessous des VLI OPair et qui continue de baisser régulièrement, dans l'atmosphère genevoise. Ainsi, le mesurage dans chaque station a été progressivement abandonné. Depuis 2016, il n'est plus mesuré qu'à la station urbaine de Necker (le milieu urbain étant le plus exposé à ce polluant).

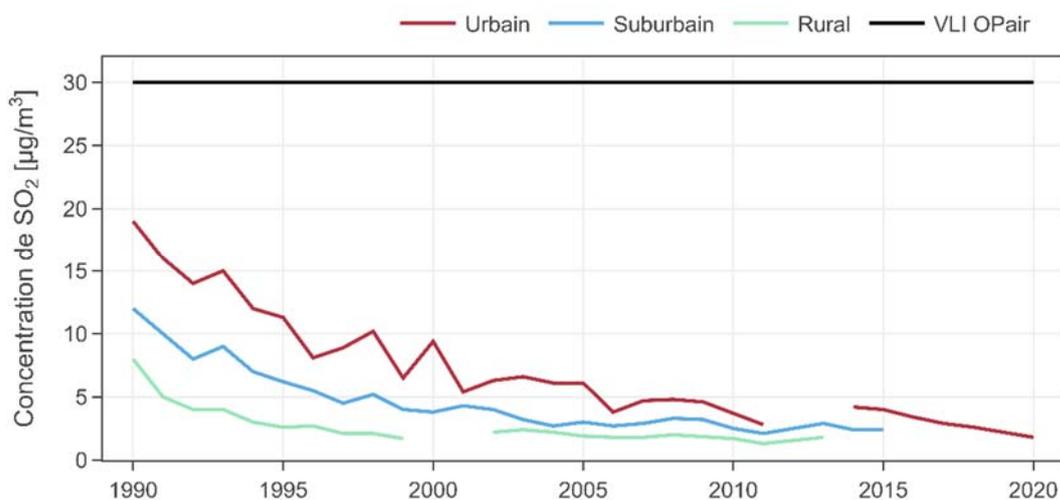


Figure 13. Concentration moyenne annuelle de SO₂

Comme c'est le cas depuis plus de trente ans, les concentrations de SO₂ mesurées en 2020 restent stables à un niveau très inférieur à la VLI OPair annuelle (30 µg/m³).

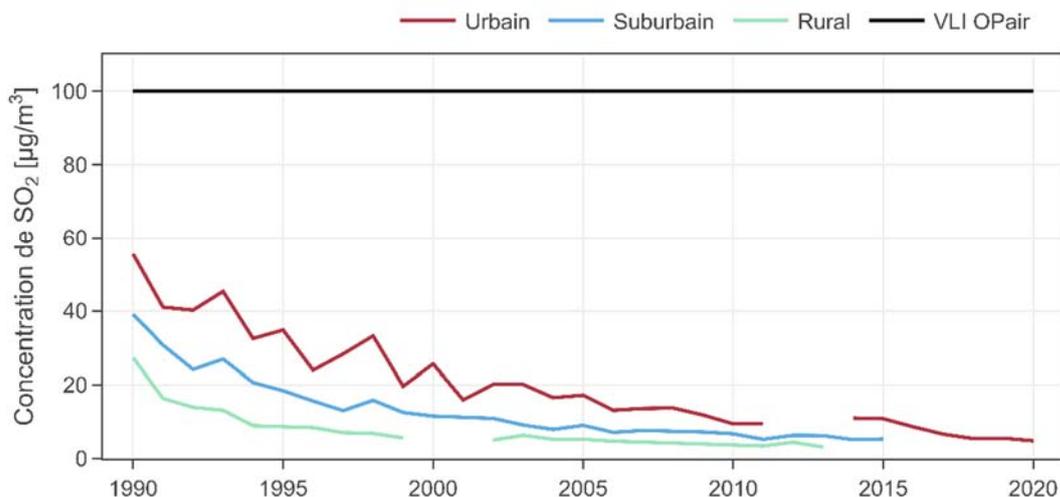


Figure 14. Percentile 95 des moyennes semi-horaires annuelles de SO₂

Les percentiles 95 se situent largement en dessous de la VLI OPair (100 µg/m³) et cela depuis de nombreuses années.

La VLI OPair journalière (100 µg/m³), à ne pas dépasser plus d'une fois par année, est largement respectée en 2020, comme c'est le cas depuis de nombreuses années. La moyenne journalière maximale a été de 7 µg/m³.

4.5. Monoxyde de carbone (CO)

Tout comme le SO₂, le CO n'est plus considéré comme un polluant problématique du fait de sa très faible concentration actuelle, bien en dessous de la VLI OPair, dans l'atmosphère genevoise. Son mesurage systématique à l'aide d'analyseurs classiques a ainsi été progressivement abandonné depuis le début des années 2000. En 2020, il n'est plus mesuré qu'à la station urbaine de Necker.

La VLI OPair journalière (8 mg/m³), valeur à ne pas dépasser plus d'une fois par année, est respectée en 2020 comme c'est le cas depuis de nombreuses années. La moyenne journalière maximale mesurée a été de 0.8 mg/m³.

Pour information, on a enregistré en 2020 une moyenne annuelle⁷ très faible, inférieure à 0.3 mg/m³.

⁷ Le paramètre "moyenne annuelle" n'a pas de VLI OPair (se reporter au tableau 3).

4.6. Retombées de poussières

Retombées de poussières

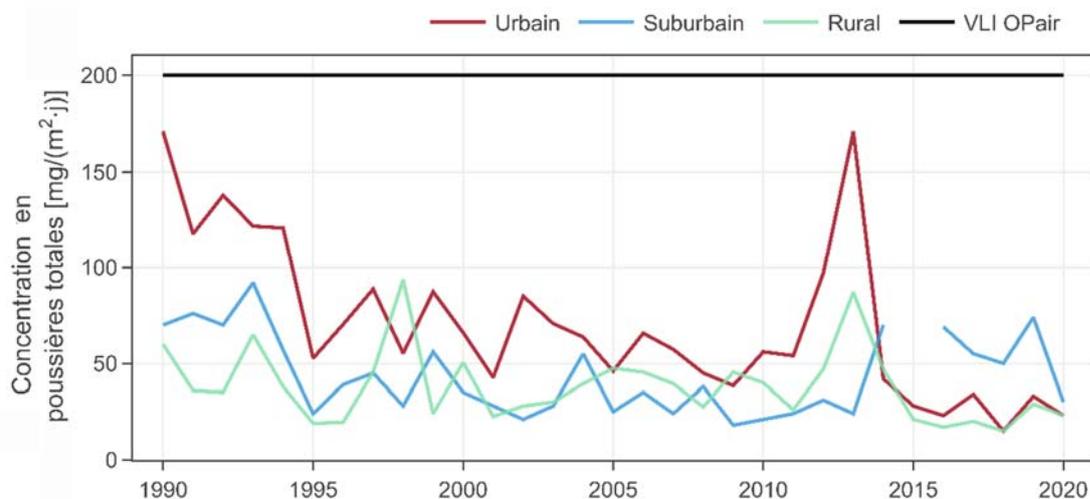


Figure 15. Concentration moyenne annuelle du total des retombées de poussières

En 2020, la concentration du total des retombées de poussières respecte la VLI annuelle de 200 mg/(m²·jour) sur tous les sites de mesure, tout comme depuis de nombreuses années.

Métaux lourds dans les retombées de poussières

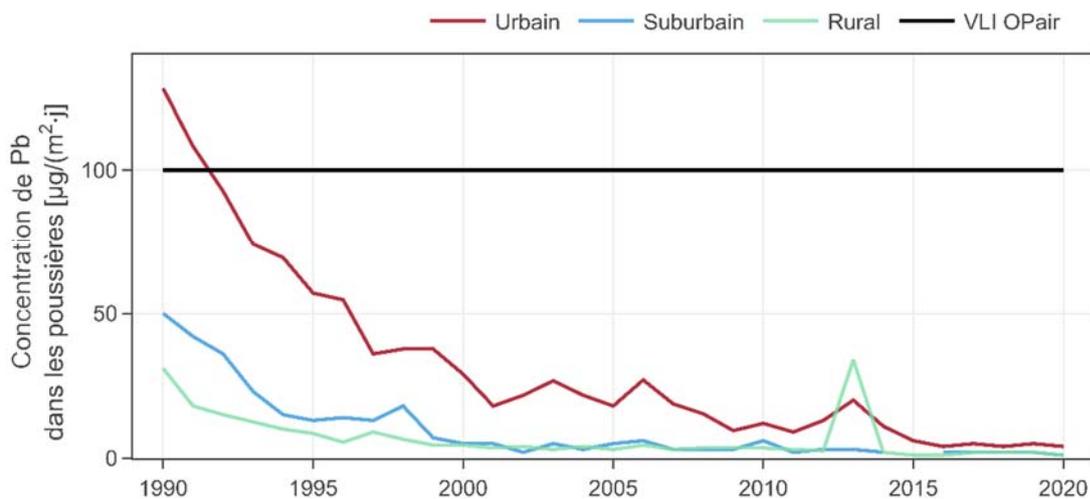


Figure 16. Concentration moyenne annuelle de plomb dans les retombées de poussières

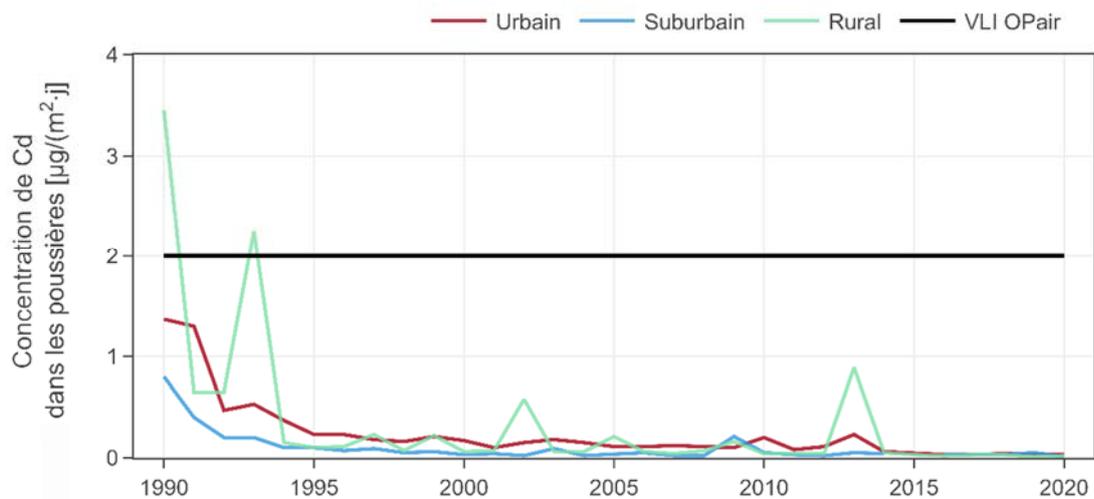


Figure 17. Concentration moyenne annuelle de cadmium dans les retombées de poussières

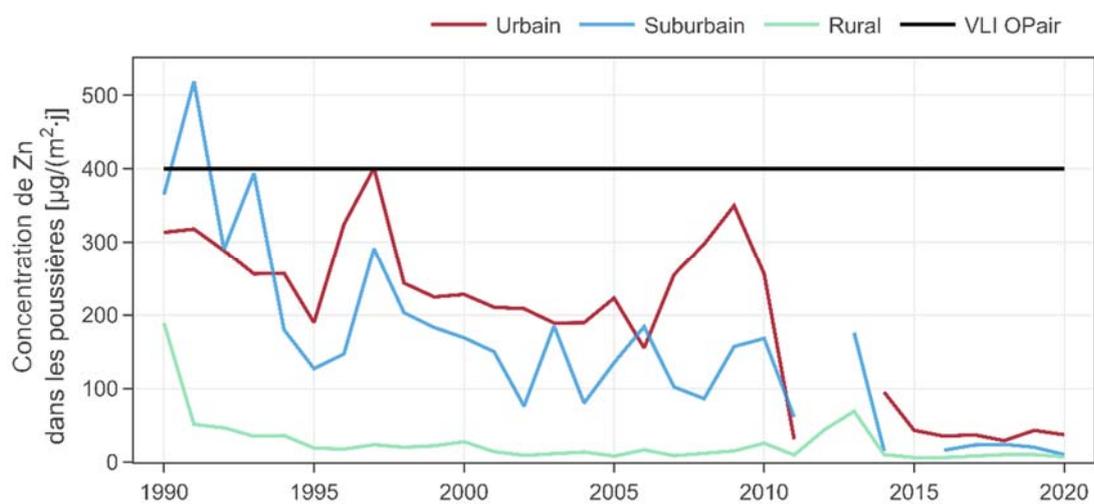


Figure 18. Concentration moyenne annuelle de zinc dans les retombées de poussières

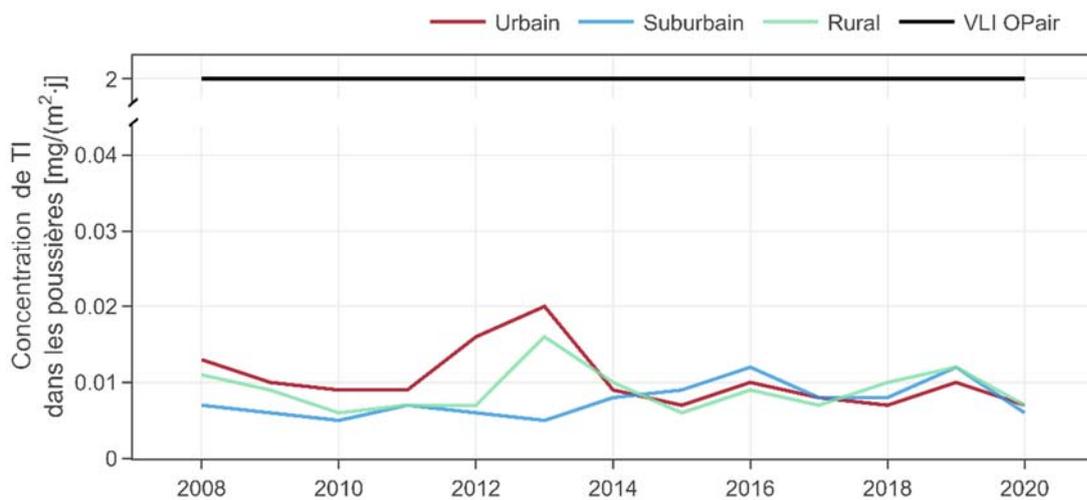


Figure 19. Concentration moyenne annuelle de thallium dans les retombées de poussières

En 2020, les différentes VLI OPair moyennes annuelles pour certains métaux lourds dans les retombées de poussières – 100 $\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{jour})$ pour le plomb, 2 $\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{jour})$ pour le cadmium, 400 $\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{jour})$ pour le zinc et 2 $\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{jour})$ pour le thallium – sont respectées sur tous les sites de mesure et ce, depuis de nombreuses années.

5. Capteurs passifs : mesure du NO₂

5.1. Introduction

La mesure par capteurs passifs est une méthode validée en Suisse par l'OFEV et Cercl'Air (Société suisse des responsables de l'hygiène de l'air). Elle permet notamment d'établir un cadastre annuel des immissions du NO₂ sur de vastes territoires.

Depuis 1995, un réseau de capteurs passifs du ROPAG (cf. chapitre 5.3) mesure les concentrations de NO₂ dans l'agglomération genevoise. En 2020, ce réseau compte 73 points de mesure, répartis selon un maillage kilométrique.

5.2. Méthodologie

Un capteur passif est constitué d'un tube fermé à une extrémité, dans lequel sont placées deux grilles en propyltèx imprégnées d'un mélange de triéthanolamine (substance qui absorbe le NO₂) et d'acétone. Le capteur est par la suite placé pour une durée déterminée à l'emplacement dont on veut connaître la concentration en NO₂. L'analyse en laboratoire permettra de mesurer la quantité de NO₂ qui a été accumulée par la substance absorbante et d'en déduire la concentration correspondante pendant la période fixée.

Se reporter à l'annexe 5 pour de plus amples informations sur la méthodologie appliquée.

5.3. Emplacements - valeurs 2020

Afin d'être suffisamment représentatifs des concentrations moyennes de NO₂ auxquelles est exposée la population et pour éviter des biais dans la méthode, les capteurs du ROPAG sont placés à l'écart des sources d'émissions directes d'oxydes d'azote (routes à fort trafic, chantiers importants, etc.). Les mesures effectuées sont ainsi représentatives d'une pollution dite "de fond".

Le tableau ci-après présente les 73 emplacements où sont effectuées les mesures de NO₂ par capteurs passifs, ainsi que les concentrations correspondantes pour l'année 2020. On constate, pour la première fois depuis le début des mesures par capteurs passifs, qu'aucun capteur ne dépasse la VLI annuelle de 30 µg/m³.

Emplacements	Coordonnées suisses		C (NO ₂) [µg/m ³]	Emplacements	Coordonnées suisses		C (NO ₂) [µg/m ³]
	E	N	2020		E	N	2020
Quai de l'Île	2500120	1117910	23	Débarcadère CGN	2501513	1118301	19
Dépôt TPG	2498667	1117460	17	Ch. de Plonjon	2502118	1118370	16
Rue de la Synagogue	2499619	1117621	24	Rue Ernest-Block	2501601	1117679	23
Rue de Neuchâtel	2500312	1118713	21	Avenue St-Paul	2502514	1117518	17
Place de Châteaubriand	2500604	1119010	22	Ch. de Grange-Falquet	2503537	1117370	18
CICR	2499639	1120465	14	Ch. des Falquets	2503690	1118427	11
Ch. Palud	2499533	1121453	13	Ch. de la Fraidieu	2503575	1119495	14
Ch. des Cornillons	2500360	1121816	13	Ch. de Bellefontaine	2502706	1119023	14
Ch. de l'Impératrice	2500280	1120510	13	Ch. du Nant d'Argent	2503526	1120561	18
Square de Mesmes	2499572	1119482	19	Ecole de Mon-Idee	2505673	1118107	14
Rue Isabelle-Eberhardt	2499566	1118593	22	Parc du Martin-Pêcheur	2505779	1117232	12
Ch. des Crêts	2498687	1119823	16	Ch. du Foron	2505254	1116758	15
Voie des Traz	2498460	1122160	25	Av. Adrien-Jeandin	2504434	1116087	21
Ch. de la Colombelle	2498418	1121303	18	Ch. Rojoux	2502672	1115457	15
Ch. du Pommier	2498546	1120564	20	Av. Eugène-Pittard	2501446	1116397	22
Ch. Riant- Bosquet	2497356	1120549	24	Promenade de Saint-Antoine	2500592	1117323	24
Les Avanchets	2497464	1119556	21	Rue Alcide-Jentzer	2500374	1116362	19
Rue de Bourgogne	2498407	1118497	20	Rue Daniel-Gevril	2500324	1115543	21
Ch. du Croissant	2497543	1118367	18	Place de Sardaigne	2499633	1115533	23
Ch. de Gilly	2497509	1115488	14	Plateau de Pinchat	2500595	1114545	16
Av. des Morgines	2497505	1116313	20	Stade de Vessy	2501477	1115313	15
Av. des Grandes-Communes	2496623	1116383	16	Ch. de Place-Verte	2501384	1114587	21
Ch. de Cressy	2496293	1115460	16	Rte de Pierre-Grand	2500509	1112646	14
Ch. des Blanchards (ferme)	2495519	1117561	14	Ch. de la Cantonnière	2501320	1112441	18
Ch. des Mouilles/Rte de Loex	2495434	1116499	15	Ch. des Rasses	2502625	1113507	17
Ch. de Gambay	2495495	1115519	15	Ch. des Marais	2501463	1113334	15
Rte de Vernier	2496006	1119499	23	Ch. de Grange-Collomb	2499554	1114581	18
Ch. du Progrès	2494847	1118566	17	Rte de Bardonnex	2497502	1113486	18
Ch. Deley	2494991	1119512	18	Rte de Base	2496355	1113540	19
Ch. du Marais Long	2496066	1121357	12	Ch. des Bis	2495345	1113245	13
Ch. des Ceps	2494123	1121452	8	Ch. de la Vieille-Fontaine	2494301	1114709	14
Ch. de l'Epinglier	2493677	1120060	16	Ch. Pontverre	2495223	1114468	13
Ch. Nicolas-Bogueret	2496434	1117484	14	Ch. du Nant-Boret	2497479	1114577	15
Ch. de Surville	2498567	1116452	18	Ch. des Pontets	2498453	1114509	21
Boulevard d'Yvoy	2499163	1117215	24	Av. Eugène-Lance	2498395	1115407	21
Avenue de Vaudagne	2494734	1120871	13	Rte des Acacias	2499472	1116469	22
Quai Wilson	2500654	1119121	26				

Tableau 2. Emplacements et concentrations correspondantes des capteurs passifs NO₂ pour l'année 2020

Légendes et abréviations :

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

 : Dépassement de la VLI OPAir annuelle (30 µg/m³).

5.4. Cartographie

Les cartes ci-dessous présentent les concentrations moyennes annuelles de NO₂ en pollution de fond pour l'année 2020 (figure 20) et pour la période allant de 2013 à 2020 (figure 21). Les concentrations sont calculées par interpolation⁸, sur la base des résultats obtenus aux différents points de prélèvement des réseaux de capteurs passifs du ROPAG et de celui de Genève Aéroport, ainsi que des stations du ROPAG situées à l'intérieur du domaine sondé. La méthode fait aussi appel au cadastre des émissions d'oxydes d'azote (NO_x) comme variable secondaire. On peut y observer les zones respectant la VLI OPair annuelle de 30 µg/m³, en couleurs verte à jaune et les zones soumises à des immissions excessives de NO₂, en couleurs saumon à rouge.

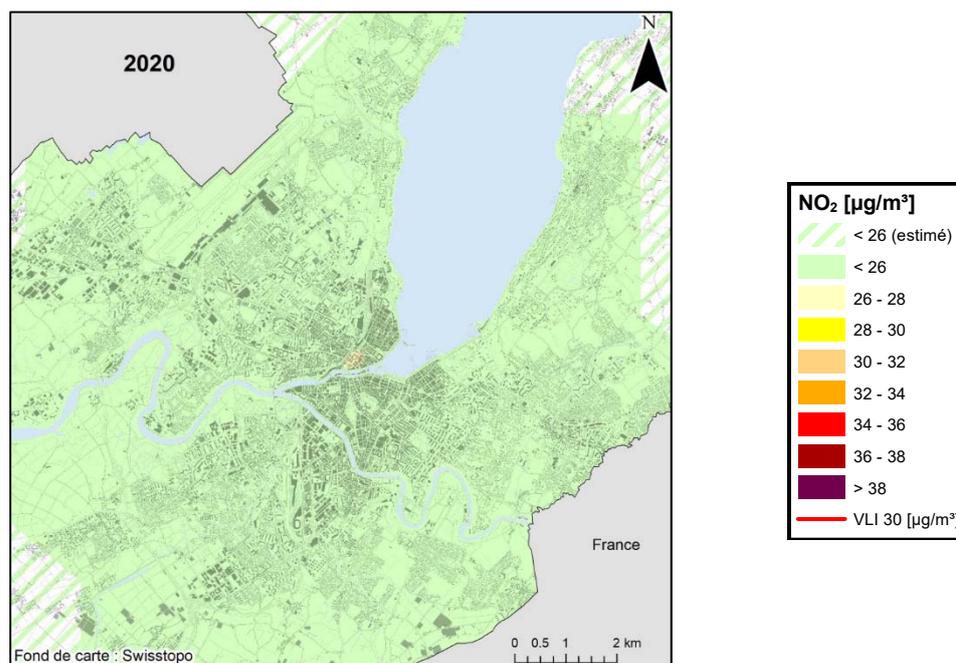


Figure 20. Carte des immissions moyennes de NO₂ sur l'agglomération genevoise pour l'année 2020

L'année 2020 a été marquée par des immissions de NO₂ en baisse sensible par rapport aux années précédentes. Ce sont les plus faibles concentrations mesurées depuis le début de la modélisation cartographique du NO₂ en 2002, avec l'entier de la zone qui respecte la VLI OPair annuelle.

Par ailleurs, comme pour les autres polluants, les immissions de NO₂ sont dépendantes des conditions météorologiques. En moyennant les concentrations sur plusieurs années, l'influence des fluctuations annuelles dues à des facteurs climatiques (régime des vents, précipitations, inversions de température) peut être limitée. La carte ci-après présente ainsi des concentrations moyennées sur une période de huit ans (2013 à 2020).

⁸ Selon la méthode du co-krigeage ordinaire (cf. glossaire).

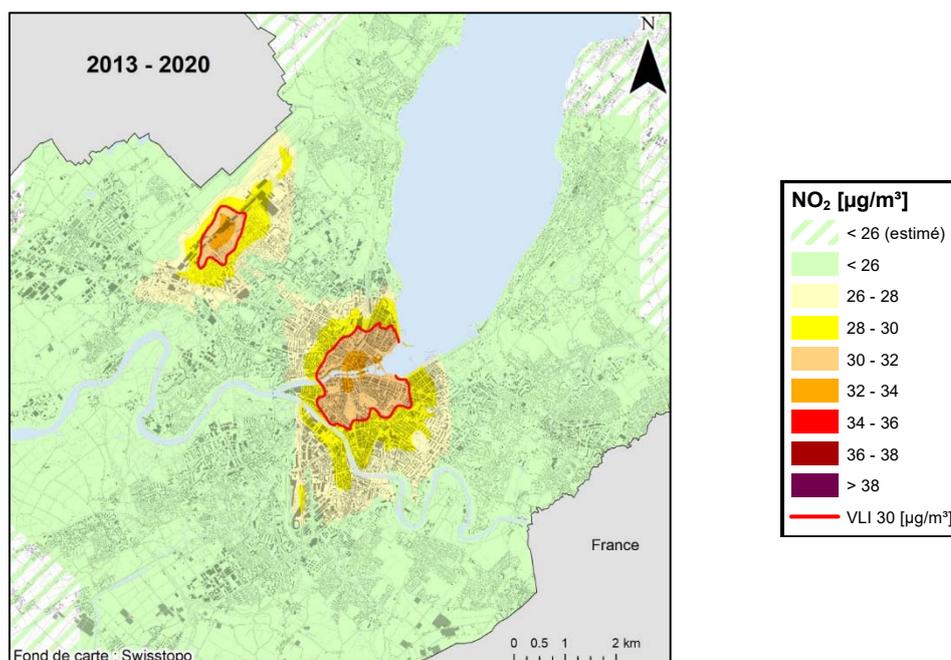


Figure 21. Carte des immissions moyennes de NO₂ sur l'agglomération genevoise pour la période 2013 à 2020

La carte des immissions de NO₂ mesurées en 2020 montre des concentrations de l'ordre de 4 à 8 µg/m³ plus faibles que les concentrations visibles sur la carte réalisée sur les huit dernières années. Comparativement le territoire exposé à des concentrations supérieures à la VLI disparaît, avec des baisses notables sur le territoire de l'aéroport et à sa proximité directe, ceci étant lié à la diminution du trafic sur l'autoroute et à la baisse considérable du trafic aérien, en lien avec la situation sanitaire.

Nota : Les cartes présentées ci-dessus sont centrées sur l'agglomération genevoise, c'est-à-dire sur le domaine couvert par les deux réseaux de capteurs passifs. En effet, concernant la pollution de fond sur le reste du territoire cantonal, les mesures effectuées dans la station rurale de Passeiry ainsi que les contrôles ponctuels effectués au moyen de campagnes de mesures temporaires (à l'aide de capteurs passifs), montrent des concentrations inférieures à 26 µg/m³. Toutefois, il faut rester attentif au fait que des concentrations importantes de NO₂ peuvent être localement observées dans des sites très exposés à des sources polluantes (ex. axes routiers à trafic intense) ou soumis à des conditions particulières (ex. rue canyon).

Annexes

Annexe 1 : Mesure des immissions

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.

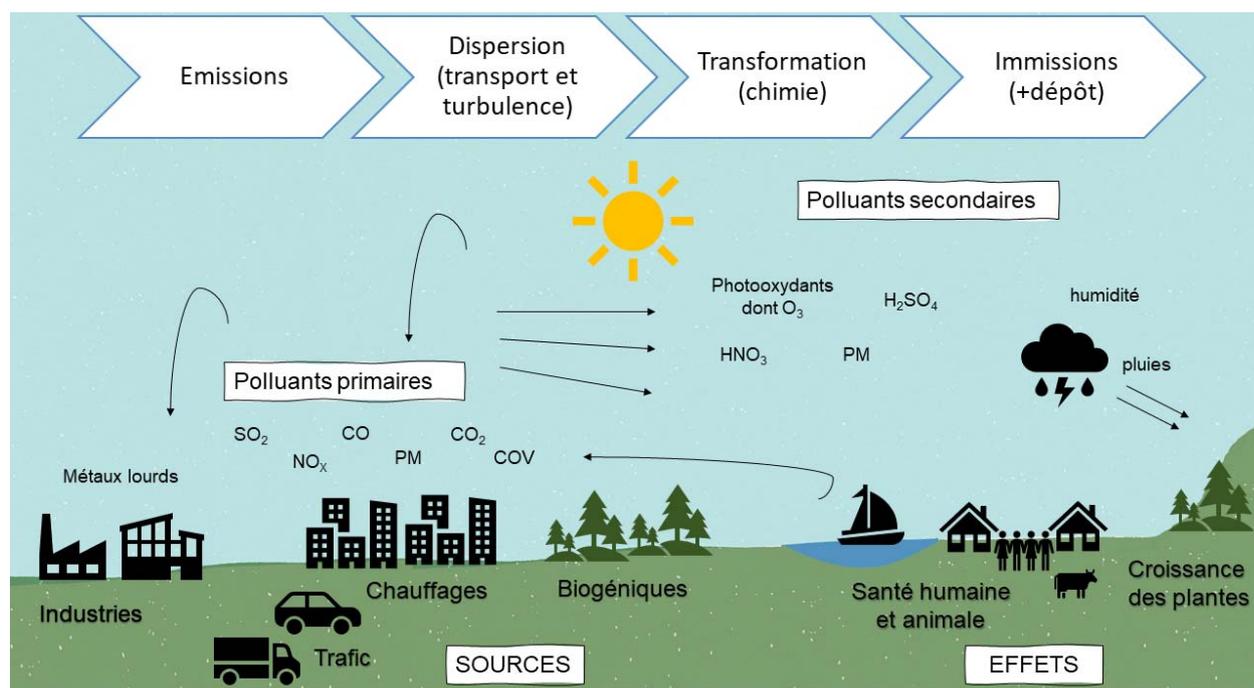


Figure 22. Ensemble des phénomènes mis en jeu pour la pollution de l'air

Il faut 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.

Valeurs limites d'immission selon la loi suisse

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 incommodantes ». Cette ordonnance (dont la première version date du 16 décembre 1985) découle de la Loi sur la protection de l'environnement (LPE) du 7 octobre 1983. Elle a été renforcée plusieurs fois.

L'annexe 7 de cette ordonnance fixe les valeurs limites d'immissions (VLI) OPair pour un certain nombre de composés tels que le NO₂, l'O₃, les PM10, les PM2.5, le SO₂, le CO et les retombées de poussières. Le tableau ci-dessous donne ces différentes VLI.

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 de trois fois par année
	Plomb (Pb)	500 ng/m ³	Moyenne annuelle (arithmétique)
	Cadmium (Cd)	1,5 ng/m ³	Moyenne annuelle (arithmétique)
Poussières en suspension (PM2.5)		10 µg/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 3. Valeurs limites d'immission de l'OPair

Annexe 2 : Stations du ROPAG

2.1. 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.

MESURE STATION	SO ₂	NO ₂	NO	O ₃	CO	PM10	PM2.5	Pouss.	T	HR	VENT	RS
Necker	FUV*	CL*	CL*	AUV**	IR*	G / Opt.	G / Opt.	Berg.	-	-	AN-US	-
Foron	-	CL*	CL*	AUV**	-	G / Opt	Opt.	Berg.	-	-	AN-US	-
Meyrin	-	CL*	CL*	AUV**	-	G / Opt	Opt.	-	-	-	AN-US	
Passeiry	-	CL*	CL*	AUV**	-	G / Opt	Opt.	Berg.	TC	H	AN-US	Py

Tableau 4. Méthodes de mesure utilisées par station et par polluant

Légendes et abréviations :

* étalonnage avec gaz de référence.

** étalon METAS (institut fédéral de métrologie).

(x / y) signifie que les mesures sont faites avec un analyseur "méthode x" et un analyseur "méthode y".

Abréviations utilisées

Paramètres mesurés

SO ₂	dioxyde de soufre
NO ₂	dioxyde d'azote
NO	monoxyde d'azote
O ₃	ozone
CO	monoxyde de carbone
PM10	particules fines (<10µm)
PM2.5	particules fines (<2.5µm)
Pouss.	retombées de poussières
T	température
HR	humidité relative
VENT	vitesse et direction du vent
RS	rayonnement solaire

Méthode de mesure

Py	pyranomètre
H	hygromètre à cheveu
AUV	absorption UV
TC	Pt – 100
CL	chimiluminescence
IR	absorption infrarouge
Opt.	optique
FUV	fluorescence UV
G	gravimétrie (pesée)
Berg.	Bergerhoff
AN-US	anémomètre à ultrasons

2.2. Périodes de mesures par station et par polluant

Les tableaux ci-dessous détaillent, par polluant et par station, les périodes où ont été effectuées des mesures (en grisé).

Mesure NO ₂	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Necker																															
Ile																															
Ile-relais																															
Sainte-Clotilde																															
Wilson																															
Foron																															
Meyrin																															
Anières																															
Passeiry																															

Mesure O ₃	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Necker																															
Ile																															
Ile-relais																															
Sainte-Clotilde																															
Wilson																															
Foron																															
Meyrin																															
Anières																															
Passeiry																															

Mesure PM10	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
Necker																								
Ile																								
Ile-relais																								
Sainte-Clotilde																								
Wilson																								
Foron																								
Meyrin																								
Anières																								
Passeiry																								

Mesure PM2.5	2019	2020
Necker		
Ile		
Ile-relais		
Sainte-Clotilde		
Wilson		
Foron		
Meyrin		
Anières		
Passeiry		

Mesure SO ₂	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Necker																															
Ile																															
Ile-relais																															
Sainte-Clotilde																															
Wilson																															
Foron																															
Meyrin																															
Anières																															
Passeiry																															

Mesure CO	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Necker																															
Ile																															
Sainte-Clotilde																															
Wilson																															
Foron																															
Meyrin																															
Anières																															
Passeiry																															

Mesure pour.	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Necker																															
Ile																															
Ile-relais																															
Sainte-Clotilde																															
Wilson																															
Foron																															
Anières																															
Passeiry																															

2.3. Description des stations

Durant l'année 2020, les 4 stations fixes du ROPAG (Necker, Foron, Meyrin et Passeiry)⁹ ont analysé l'air genevois.

Milieu urbain : NECKER






Coordonnées CH1903+: 2'499'864 / 1'118'200

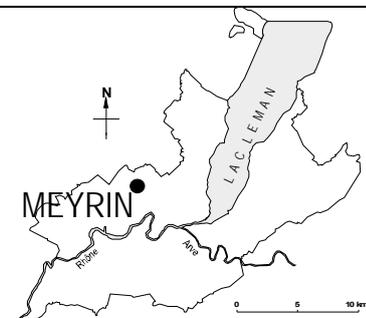
⁹ Une autre station, Eole, mesure la qualité de l'air sur la piste de Genève Aéroport. Des informations complémentaires sont disponibles sur le site internet : <https://www.gva.ch/fr/Site/Geneve-Aeroport/Developpement-durable/impact-environnemental>

Milieu suburbain : **FORON**



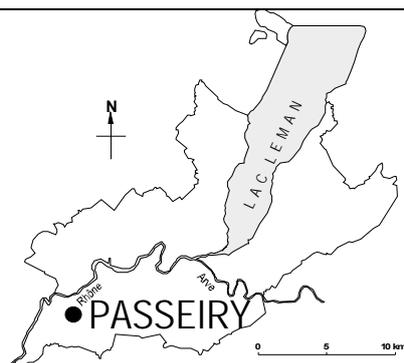
Coordonnées CH1903+: 2'505'254 / 1'116'758

Milieu suburbain : **MEYRIN**



Coordonnées CH1903+: 2'494'742 / 1'120'874

Milieu rural : PASSEIRY



Coordonnées CH1903+: 2'489'281 / 1'113'355

Annexe 3 : Résultats détaillés des mesures par station

Les graphiques du chapitre 4 montrent les résultats agrégés selon les milieux urbain, suburbain et rural et uniquement pour les paramètres ayant une valeur limite définie dans l'OPair. La valeur calculée pour chacun de ces milieux est la moyenne des valeurs des stations correspondantes.

En complément au chapitre 4, les graphiques ci-dessous détaillent les résultats de chacun des polluants pour toutes les stations de mesure, prises séparément.

Nota : La station urbaine de Necker est en activité depuis 2014. Précédemment, jusqu'en 2011, c'est la station de l'Ile (dont Ile-relais entre 2009 et 2011 qui avait été déplacée d'une centaine de mètres suite aux travaux du pont de l'Ile et qui sera indiqué sous le nom Ile dans les graphiques ci-dessous) qui mesurait la qualité de l'air au centre-ville.

Dioxyde d'azote

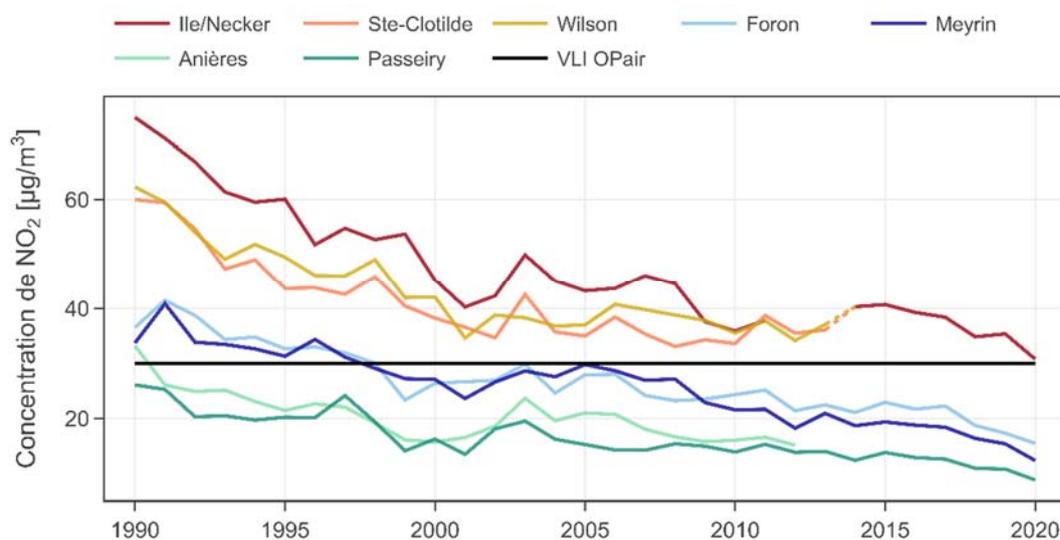


Figure 23. Concentration moyenne annuelle de NO_2

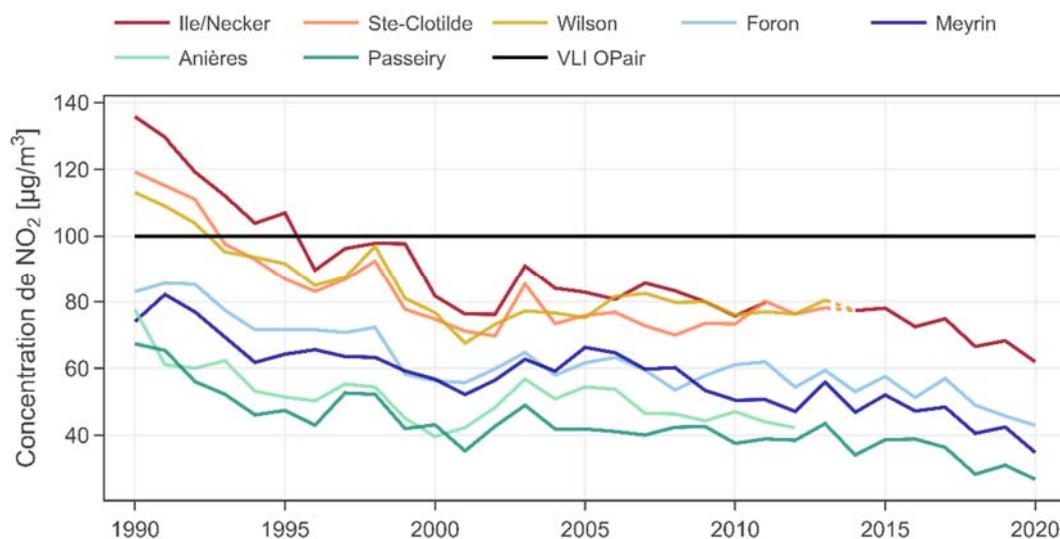


Figure 24. Percentile 95 des moyennes semi-horaires annuelles de NO_2

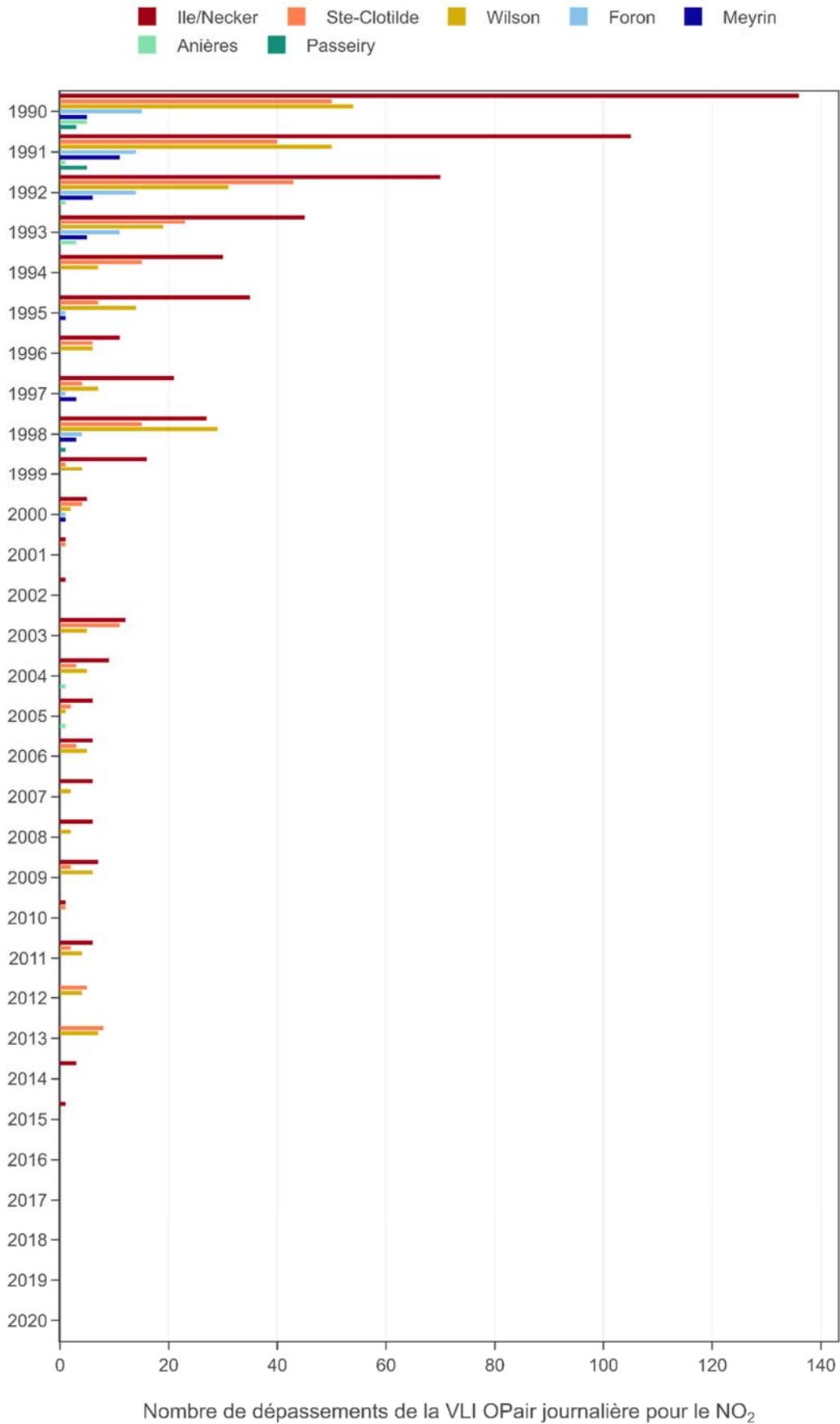


Figure 25. Nombre de dépassements de la VLI OPair journalière pour le NO₂

Ozone

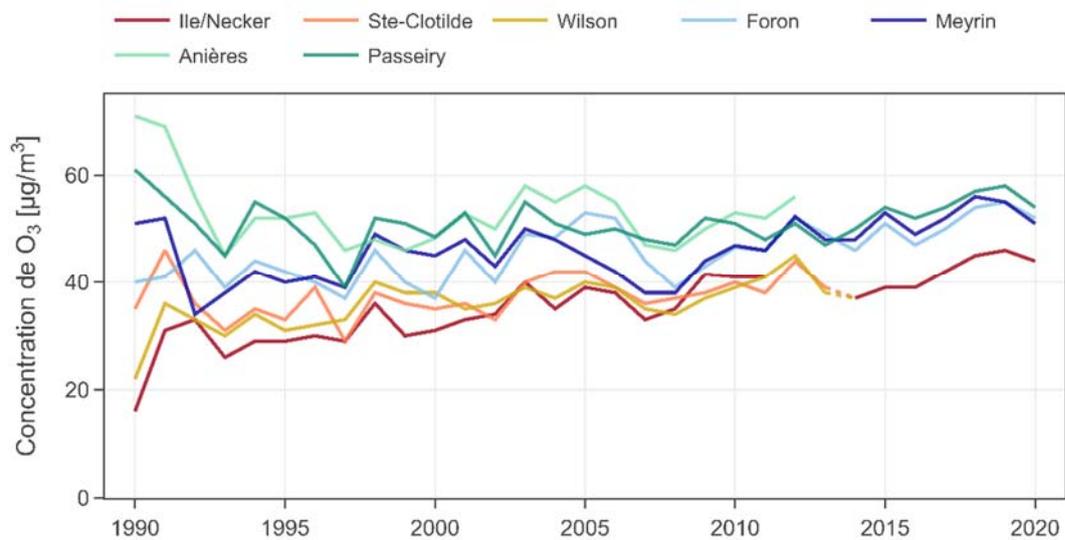


Figure 26. Concentration moyenne annuelle¹⁰ d'O₃

¹⁰ L'OPair ne fixe pas de VLI pour ce paramètre.

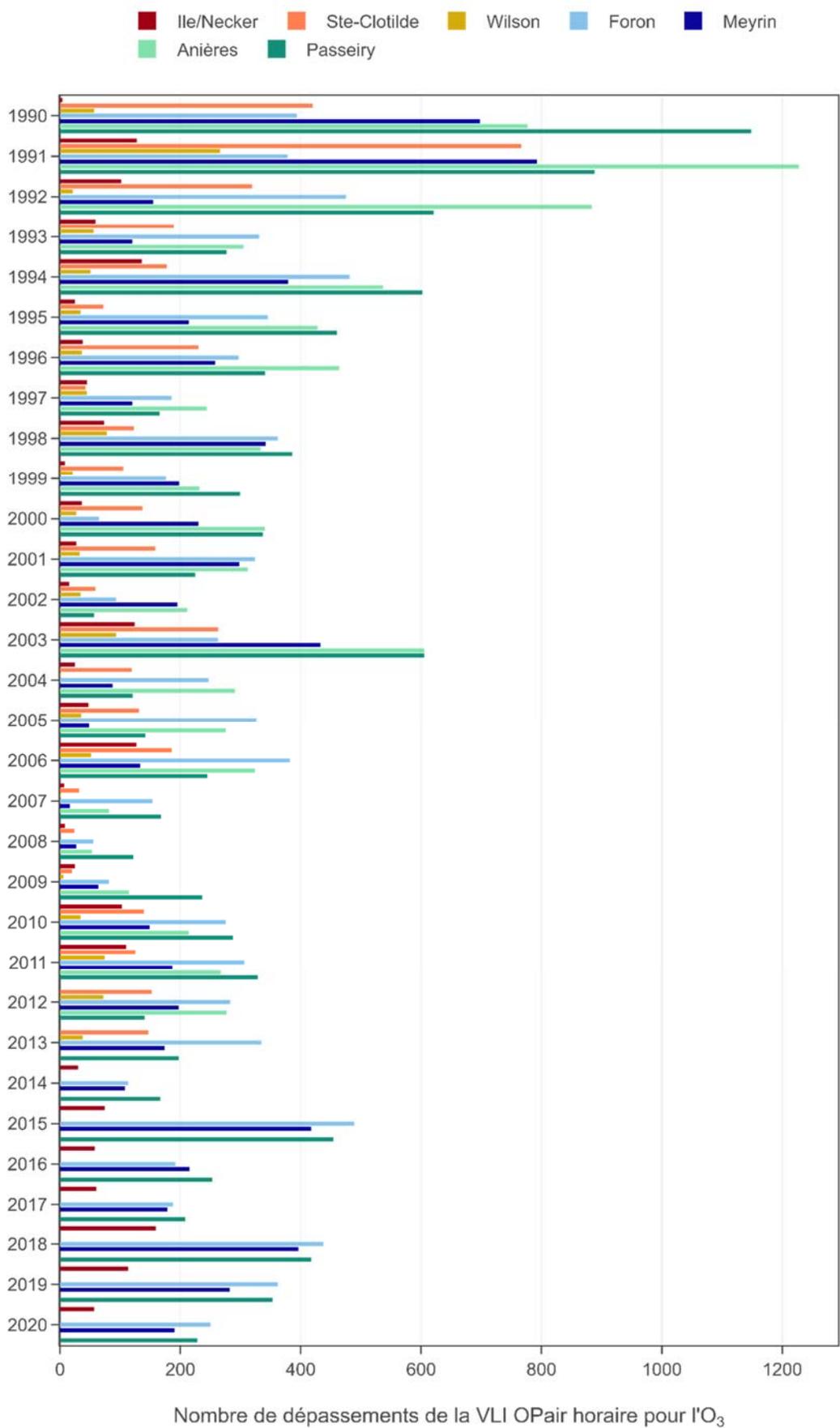


Figure 27. Nombre de dépassements de la VLI OPair horaire pour l'O₃

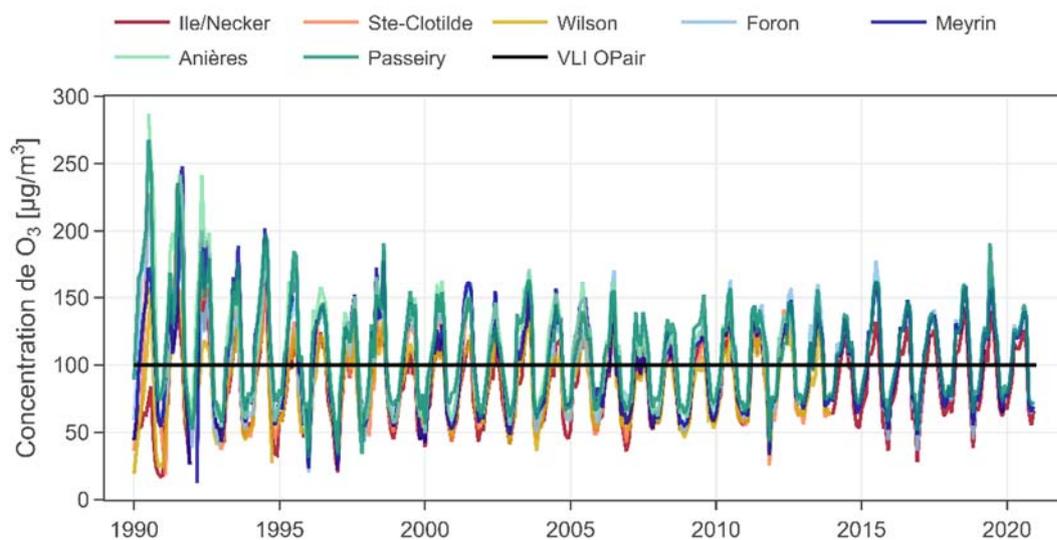


Figure 28. *Percentile 98 des moyennes semi-horaires mensuelles d'O₃*

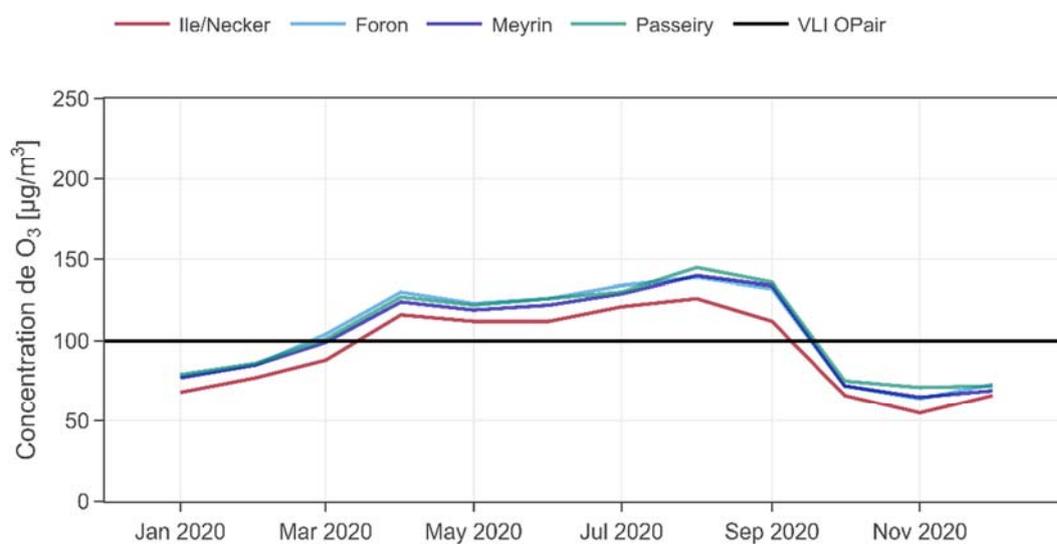


Figure 29. *Percentiles 98 des moyennes semi-horaires mensuelles pour l'ozone en 2020*

Poussières fines

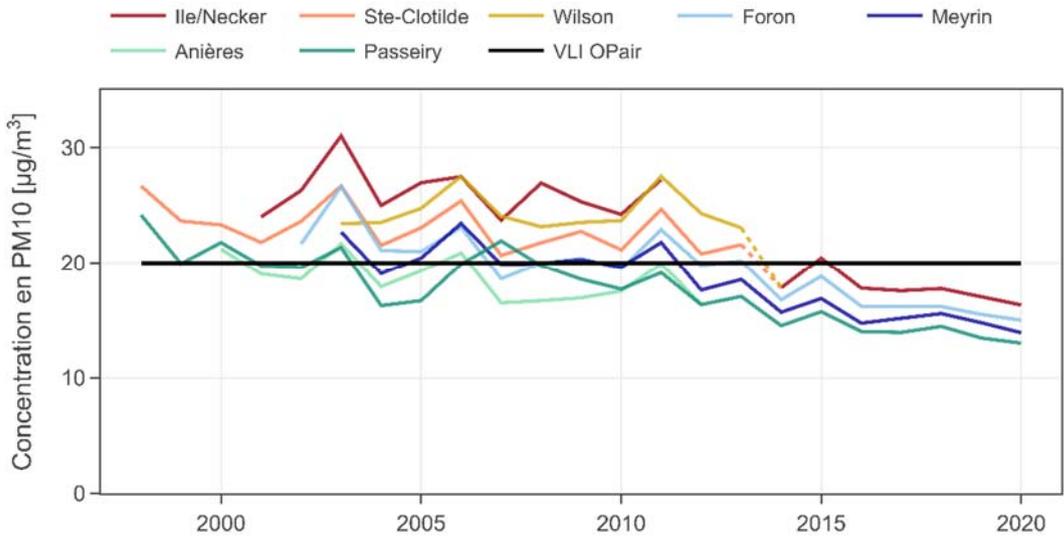


Figure 30. Concentration moyenne annuelle de PM10

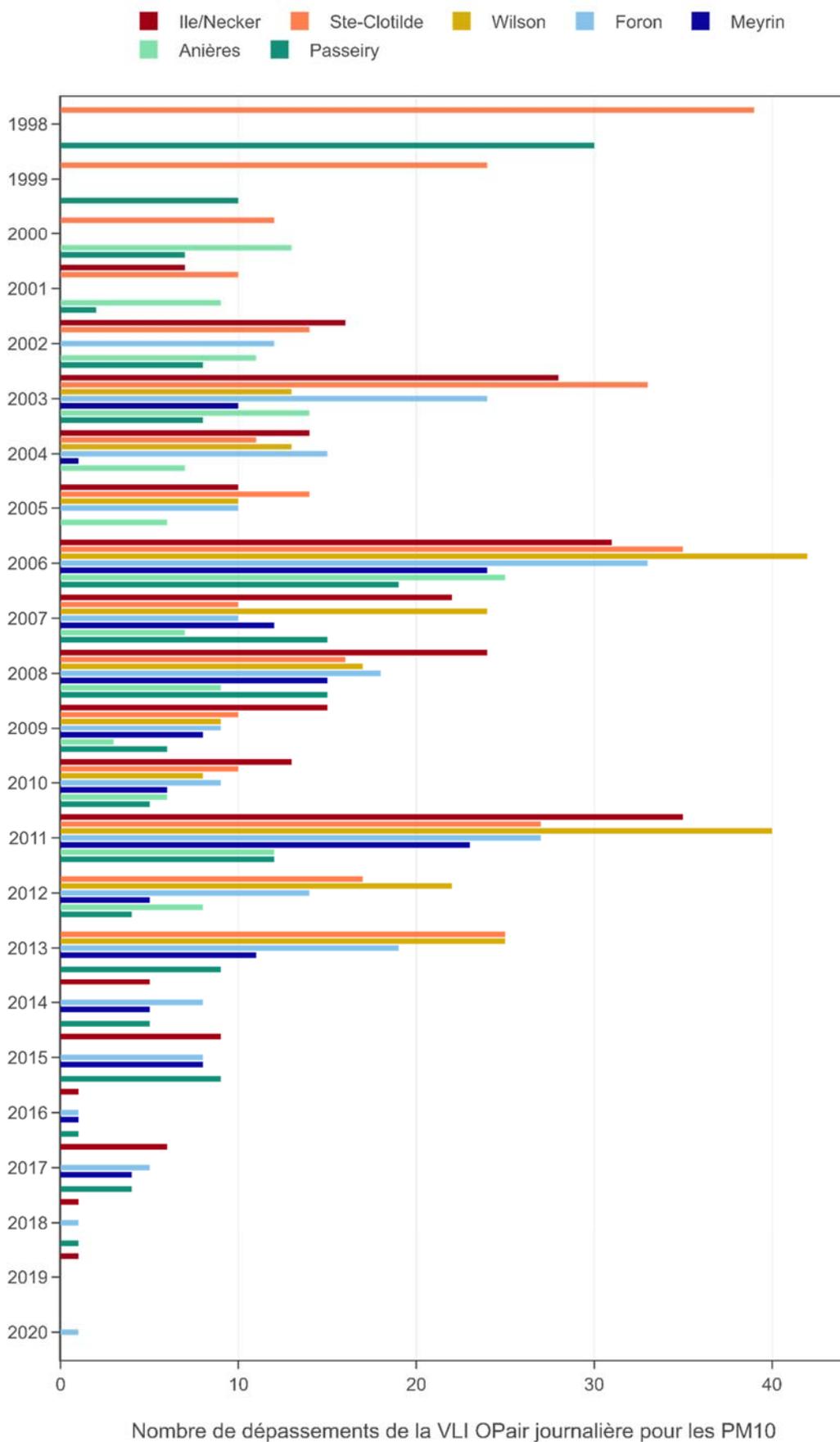


Figure 31. Nombre de dépassements de la VLI OPAir journalière pour les PM10

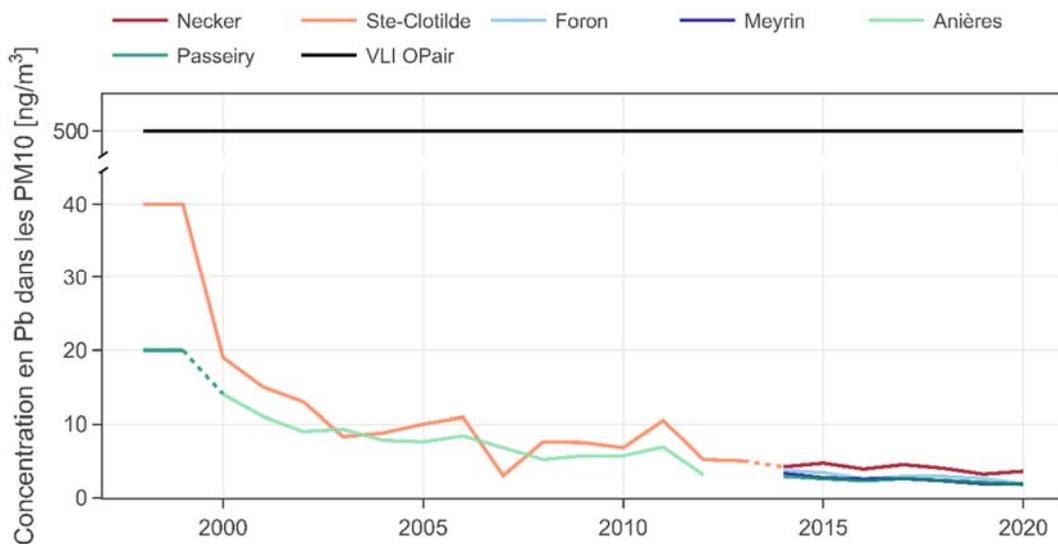


Figure 32. Concentration moyenne annuelle en plomb dans les PM10

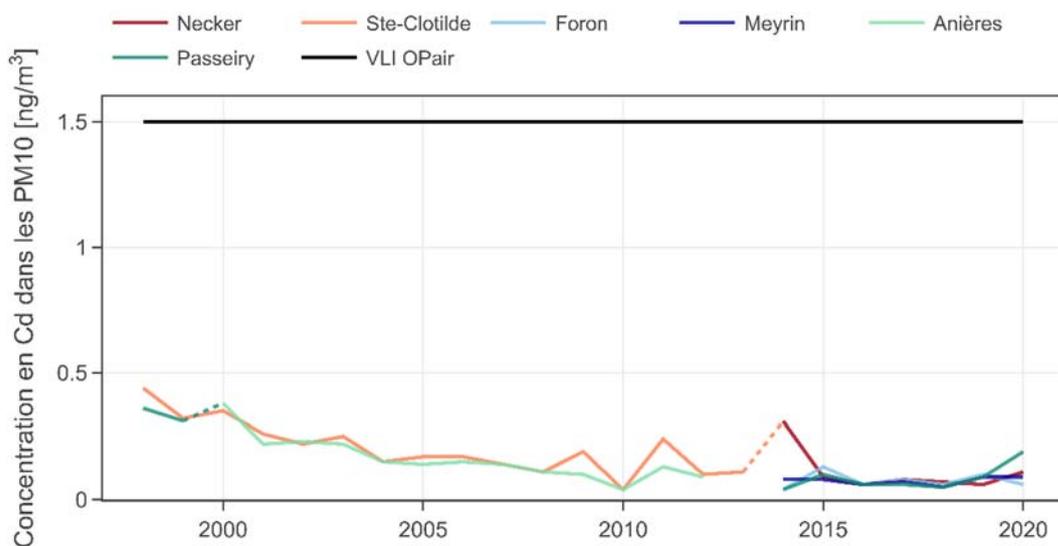


Figure 33. Concentration moyenne annuelle en cadmium dans les PM10

Dioxyde de soufre

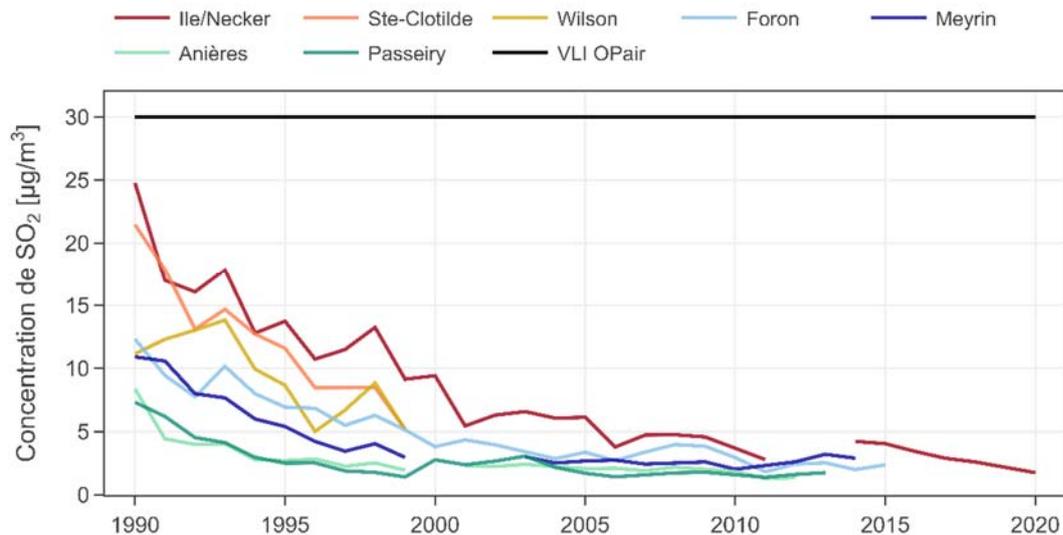


Figure 34. Concentration moyenne annuelle de SO₂

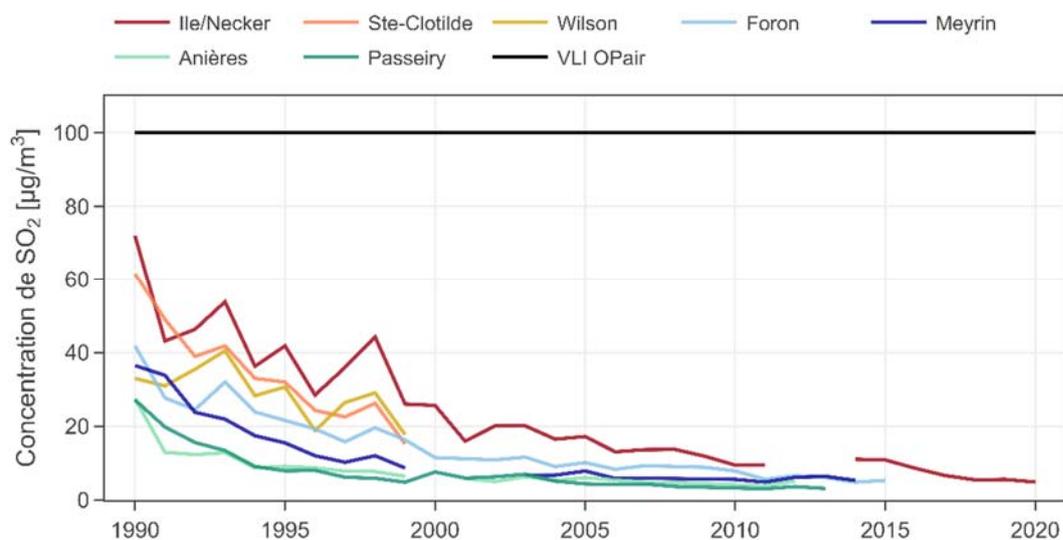


Figure 35. Percentile 95 des moyennes semi-horaires annuelles de SO₂

Monoxyde de carbone

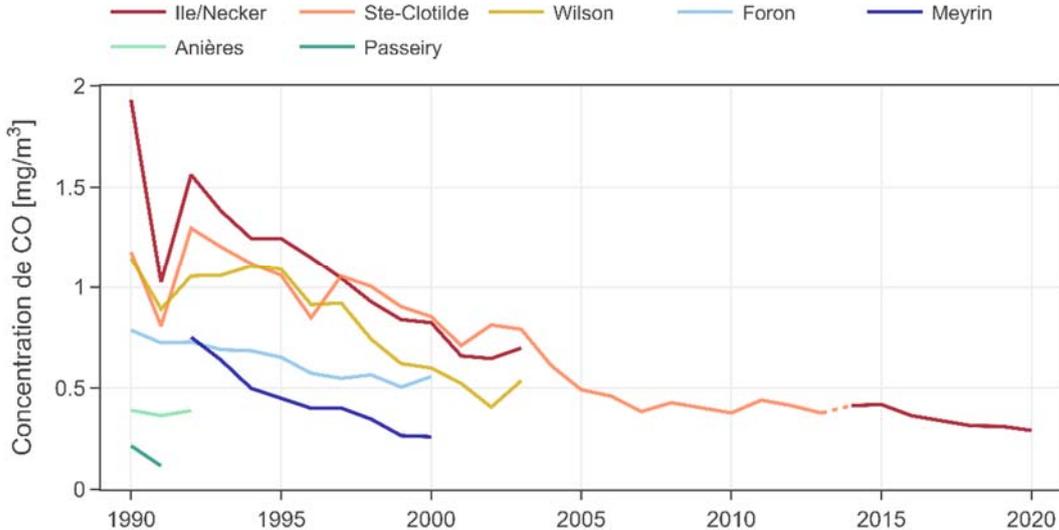


Figure 36. Concentration moyenne annuelle¹¹ de CO

¹¹ L'OPair ne fixe pas de VLI pour ce paramètre.

Retombées de poussières

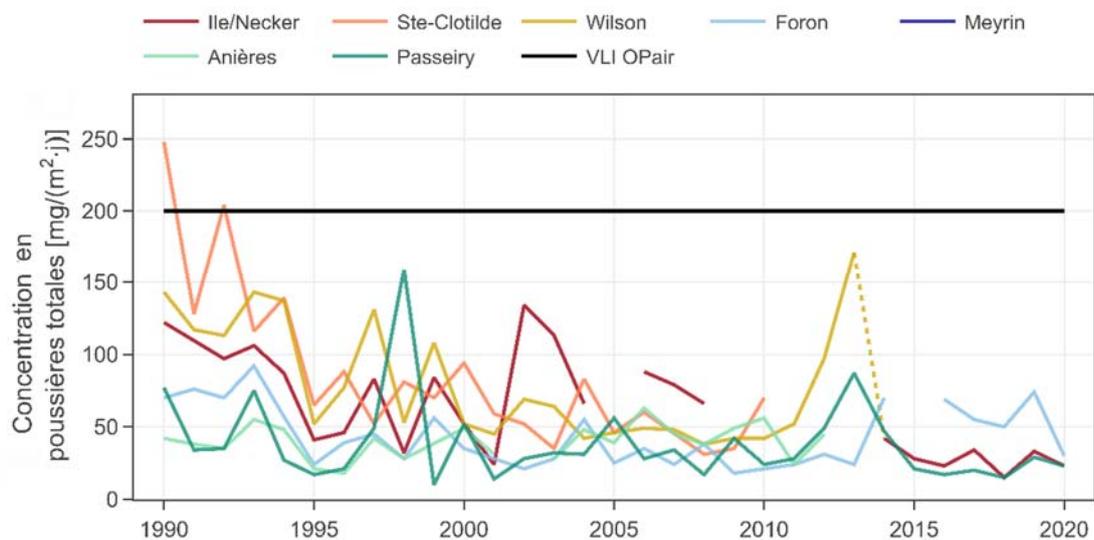


Figure 37. Concentration moyenne annuelle totale des retombées de poussières

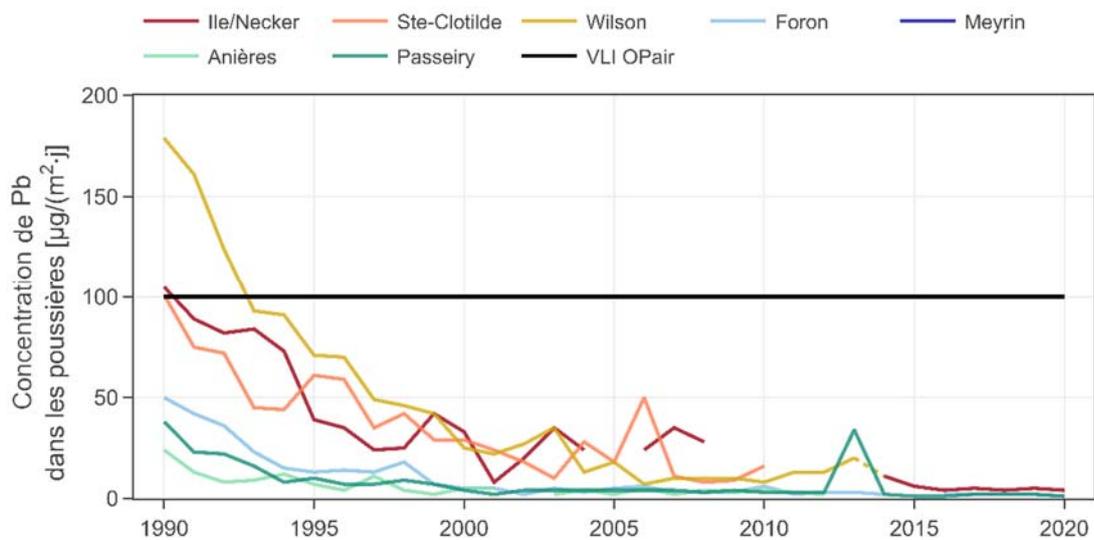


Figure 38. Concentration moyenne annuelle de plomb dans les retombées de poussières

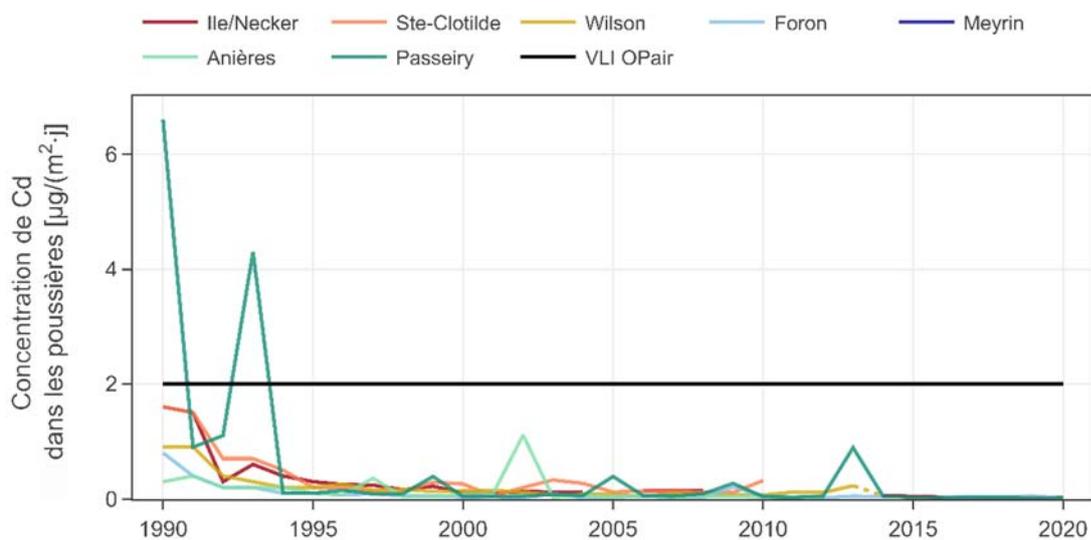


Figure 39. Concentration moyenne annuelle de cadmium dans les retombées de poussières

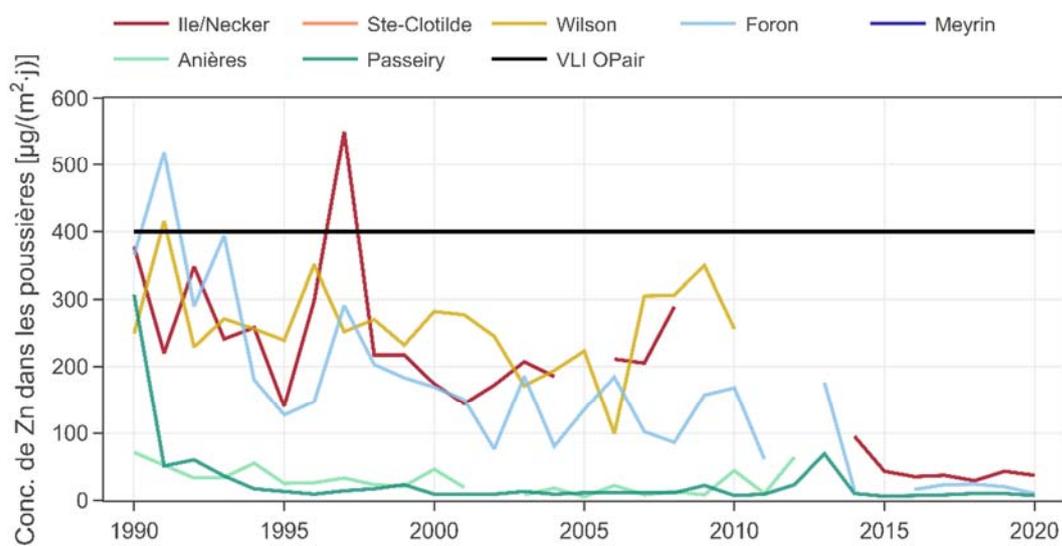


Figure 40. Concentration moyenne annuelle de zinc dans les retombées de poussières

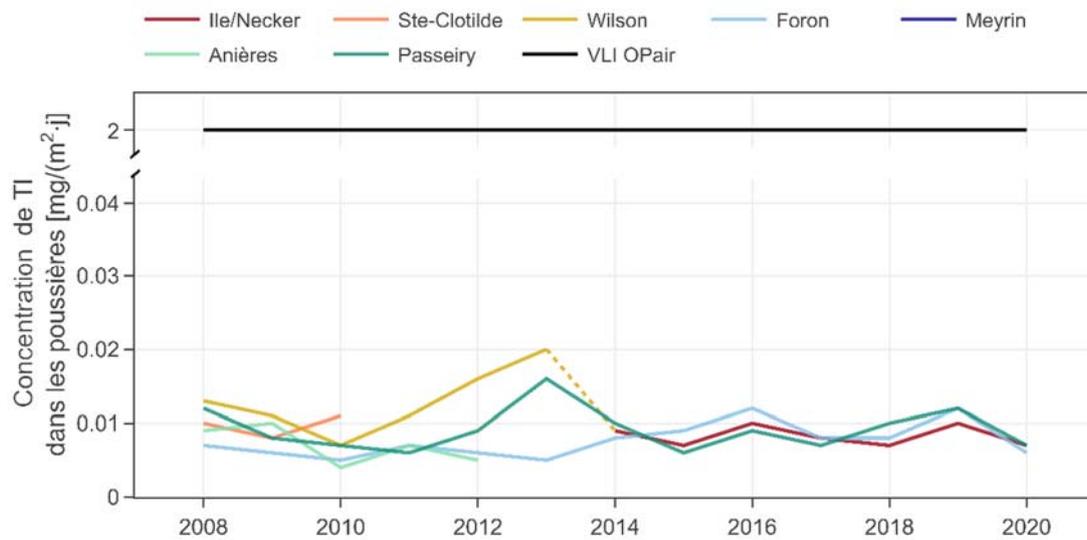


Figure 41. Concentration moyenne annuelle de thallium dans les retombées de poussières

Annexe 4 : Généralités sur les différents polluants

Dioxyde d'azote

Les oxydes d'azote (NO_x), terme qui comprend le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO_2), 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 et l'évolution des normes Euro, ainsi que les efforts de dépollution de différents procédés industriels, ont permis de faire baisser la pollution au NO_2 . Cette baisse se poursuit mais de manière moins sensible depuis le début des années 2000.

Le NO_2 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 NO_2 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 les pierres en calcaire - et dégradent les vitrages et les vitraux.

Ozone

L'ozone est une molécule très réactive qui est naturellement présente dans l'air ambiant à de très faibles concentrations. 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 à la source 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. Ce « mauvais » ozone doit être distingué de la couche de « bon » ozone présent dans la stratosphère qui, à haute altitude (10-50 km), nous protège du rayonnement ultraviolet du soleil et qu'il faut absolument préserver.

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 importantes, 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 autres 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.

Poussières fines

Il s'agit de poussières de natures diverses 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, frottement des roues sur les rails, 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 seraient 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 résultant des activités humaines 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 cancérogènes (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.

Benzo[a]pyrène

Le benzo[a]pyrène est un hydrocarbure aromatique polycyclique (HAP)¹² classé comme cancérigène certain par le centre international de recherche sur le cancer (CIRC). Cette molécule, une fois émise dans l'atmosphère lors de procédés de combustion incomplète, se fixe sur les poussières fines.

Étant donné son caractère cancérigène pour l'homme, il n'existe pas de seuil de toxicité. Ainsi, il s'agit d'appliquer le principe d'une exposition la plus faible possible à ce polluant et il n'y a donc pas de valeur limite d'immissions pour le benzo[a]pyrène dans l'OPair. Par ailleurs, la directive 2004/107/CE de l'Union Européenne fixe une valeur cible de 1 ng/m³.

¹² Voir glossaire dans l'annexe 9.

Dioxyde de soufre

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 2009, les normes en vigueur imposent une teneur en soufre maximale de 10 ppm pour l'essence et le diesel.

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.

Monoxyde de carbone

Le CO - qui se forme lors de procédés 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 cardiovasculaires¹³.

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.

Retombées de poussières

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 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.

¹³ A des concentrations très élevées (bien au-delà de celles observées dans l'air ambiant) le CO entraîne une mort rapide.

Annexe 5 : Focus sur les particules fines

Modification de l'annexe 7 de 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 incommodantes". Cette ordonnance, dont la première version date du 16 décembre 1985, est l'instrument d'application de la Loi sur la protection de l'environnement (LPE) du 7 octobre 1983 dans le domaine de la qualité de l'air.

L'annexe 7 de l'OPair fixe les valeurs limites d'immission (VLI) pour certains polluants atmosphériques, qu'ils soient gazeux (NO₂, O₃, SO₂, CO), particulaires (PM₁₀, PM_{2.5} et retombées de poussières), ou élémentaires (Pb et Cd dans les PM₁₀ ainsi que Pb, Cd, Zn, TI dans les retombées de poussières).

Suite à un processus de consultation des cantons, la Confédération a annoncé le 11 avril 2018 (avec une entrée en vigueur le 1er juin 2018), la modification suivante de l'OPair :

- Passage de 1 à 3 dépassements tolérés de la VLI journalière en PM₁₀.
- Introduction d'une VLI annuelle de 10 µg/m³ pour les PM_{2.5}.

Cette modification a induit la mesure du polluant PM_{2.5} au niveau fédéral et dans les cantons dès juin 2018, impliquant l'acquisition, si nécessaire, d'un équipement adéquat.

Quelles sont-elles ?

Les particules fines (ou poussières fines) sont des particules de matière (Particulate Matter = PM) en suspension dans l'air ambiant. Elles constituent un groupe de substances hétérogènes et peuvent être classées selon différents critères, par exemple en fonction de leur taille, forme, densité, composition, toxicité ou provenance.

À chaque type de classement correspond une ou plusieurs grandeurs à mesurer pour caractériser lesdites particules, ainsi qu'une ou plusieurs méthodes de mesure pour y parvenir.

Le diamètre représente la taille des particules et, comme le montrent les figures ci-dessous, permet un classement en fonction de ce paramètre.

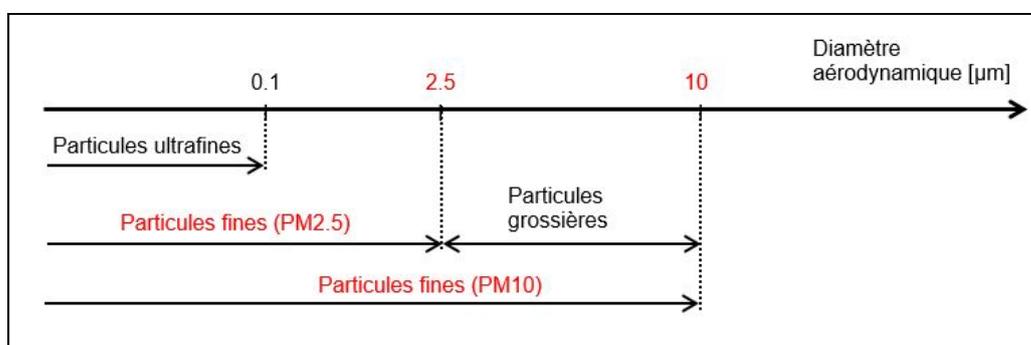


Figure 42. Dénomination des particules selon la taille

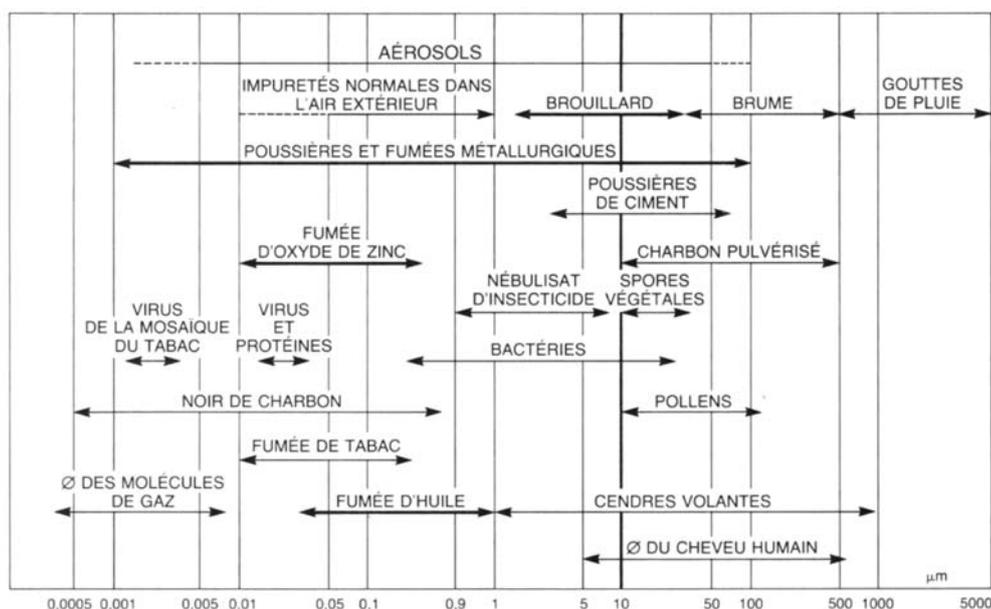


Figure 43. Répartition de particules en fonction de leurs tailles

Il existe un grand nombre de sources de particules fines, qui peuvent être soit d'origine naturelle (pollens, feux de forêts, émissions volcaniques, sable du Sahara, etc.) ou anthropique (trafic routier, chauffage, incinération des déchets, procédés industriels, usure des freins, etc.).

On peut aussi distinguer les particules dites "primaires", qui sont émises directement par la source, des particules "secondaires" formées par exemple par agrégats à partir de précurseurs gazeux.

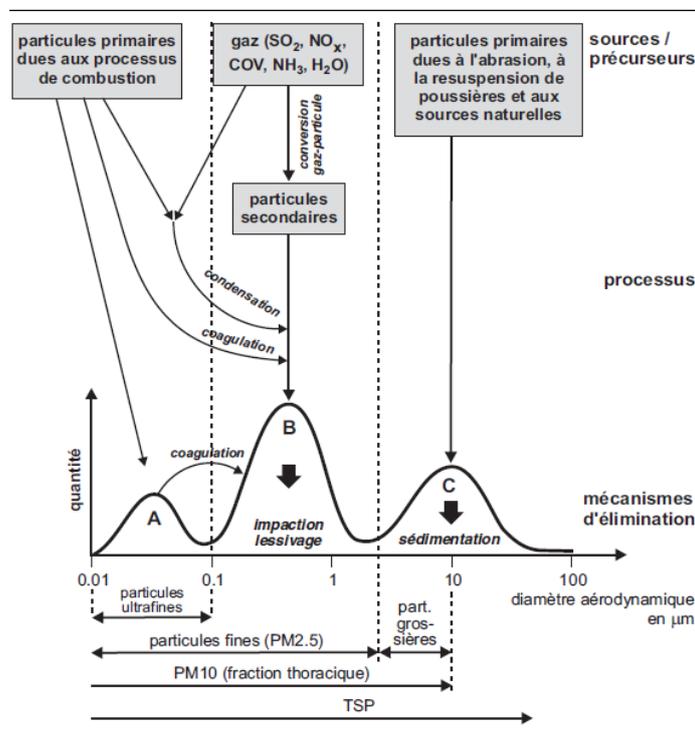


Figure 44. Représentation schématique simplifiée de la distribution de taille des particules d'un aérosol atmosphérique proche des sources et des processus les plus importants. A : particules ultrafines, B : mode d'accumulation, C : particules grossières. Loin des sources, c'est le mode d'accumulation B qui prédomine (source : OFEV)

Tout comme les autres polluants présents dans l'air ambiant, les particules fines évoluent dans l'atmosphère et sont amenées à se transformer au cours du temps par le biais de réactions physico-chimiques.

Les illustrations ci-dessous donnent quelques exemples visuels de particules.

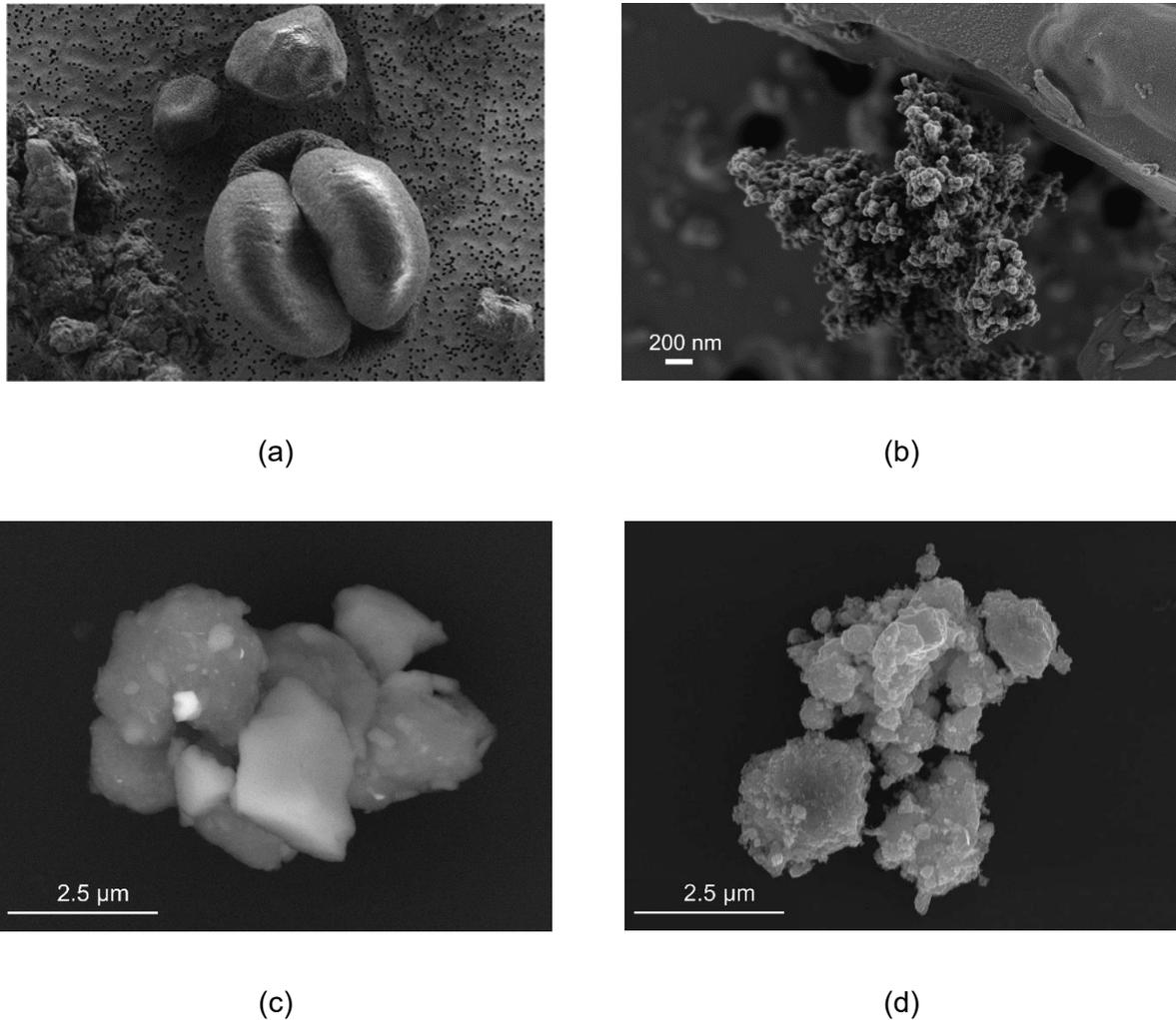


Figure 45. Exemples de particules vues au microscope électronique: (a) deux types de pollen différents (environ 40 µm); (b) particules de suie; (c) l'abrasion de pneu avec incrustations de minéraux (voir la particule brillante et angulaire au milieu), les zones légèrement plus sombres et "nuageuses" représentent la partie en caoutchouc; (d) particule métallique (dominée par le Fe) agrégée identifiée comme abrasion de frein (source : Particle Vision)

Impacts sur la santé et l'environnement

La taille des poussières est déterminante quant aux effets qu'elles induisent sur la santé. Alors que les plus grosses (supérieures à 10 µm) sont arrêtées par les voies respiratoires supérieures, les particules fines ont un impact plus important 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 (cf. figure ci-dessous).

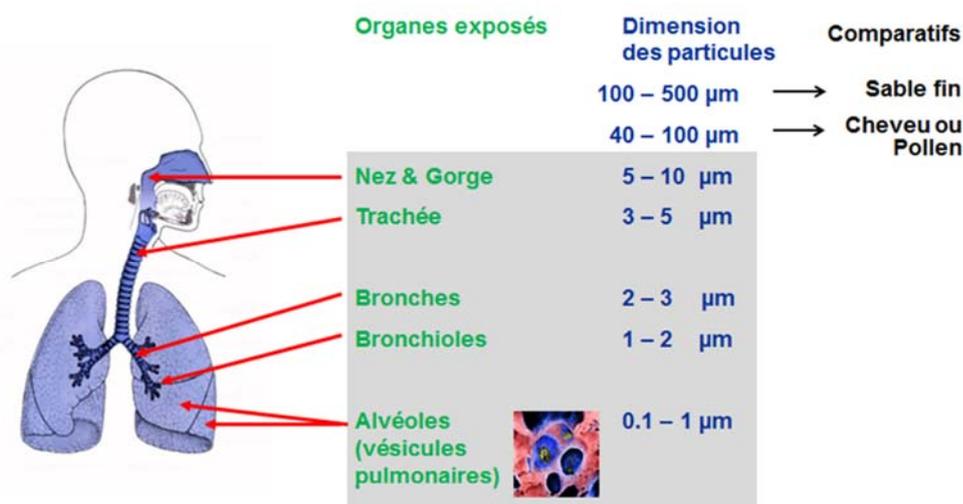


Figure 46. Organes respiratoires exposés

L'impact des particules fines sur la santé est aussi lié aux substances chimiques déposées à la surface de celles-ci ou présentes sous forme d'agrégats. Certaines d'entre elles sont cancérigènes, telles que les suies de diesel. Ces particules fines peuvent également aggraver la sensibilité aux allergènes et plusieurs études les rendent responsables de l'augmentation du nombre d'hospitalisations pour raisons d'asthme et de bronchite chronique, ainsi qu'une amplification de la mortalité par défaillance cardio-vasculaire.

Les particules fines peuvent aussi induire une baisse de la croissance des végétaux ainsi qu'une nécrose végétale, notamment autour d'industries telles que les cimenteries. A noter que la végétation est à la fois une source de particules (pollens, spores, etc.) mais aussi un puits qui peut piéger celles-ci.

Les particules fines peuvent également participer à la détérioration des bâtiments en se déposant sur les pierres, puis en se cimentant par la cristallisation des sels pour au final former une croûte noire sous laquelle la pierre va se désagréger. Les propriétés superficielles de la pierre sont modifiées, l'imperméabilisation créée par cette croûte limite le séchage et va ainsi favoriser son éclatement.

Méthode de mesure optique

Le principe d'une mesure en continu de type optique consiste à utiliser le phénomène de diffusion de la lumière et est illustré au moyen de la figure ci-dessous :

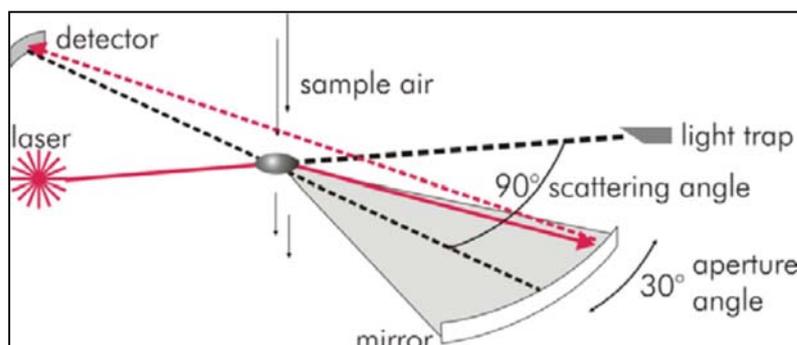


Figure 47. Principe de mesure (source : GRIMM)

Un faisceau laser illumine les particules contenues dans l'air qui est aspiré à débit constant depuis l'extérieur. Un détecteur va alors réceptionner la lumière qui est diffusée à 90° et permettre d'en analyser les propriétés. Les informations récoltées vont être traitées par un algorithme mathématique qui va fournir en temps réel :

- le nombre de particules par classes de tailles (allant de quelques dixièmes de micromètres, valeur limitée par la longueur d'onde du laser, à quelques dizaines de micromètres) ;
- les concentrations en particules fines, notamment les PM10, PM2.5 et PM1.

Parmi les avantages de cette méthode, on peut citer le fait de fournir des analyses en continu de plusieurs paramètres sans faire appel à l'utilisation d'une tête de séparation. Par ailleurs, en utilisant d'autres types de sources et de détecteurs, on peut améliorer la caractérisation des particules fines sondées, par exemple en ce qui concerne leur composition (notamment via l'exploitation de la fluorescence) ou leur morphologie (reconnaissance holographique).

Profitant de son expérience positive avec ce type d'appareil (le ROPAG a utilisé de façon exploratoire cette technologie depuis 2008), le SABRA a équipé en 2019 toutes ses stations de mesure avec des appareils de type optique.

Depuis leur entrée en fonction, officiellement dès le 01.01.2020, ces appareils permettent non seulement de mesurer simultanément et en continu les PM10 et les PM2.5 avec un seul et même appareil à chaque station de mesure, mais ils fournissent aussi des informations pour mieux caractériser la pollution aux particules fines.

Annexe 6 : Préparation et analyse des capteurs passifs NO₂

Préparation

Les tubes à diffusion en polypropylène (PP) sont préparés et analysés dans le laboratoire du SABRA. Ils sont munis de trois grilles en propyltex, et de deux bouchons en polyéthylène (PE) afin d'éviter toute contamination due au NO₂ atmosphérique ambiant pouvant survenir en dehors de la période de mesure. Les grilles sont imprégnées par un mélange de triéthanolamine / acétone.

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 capteurs sont alors collectés et refermés avant d'être analysés en laboratoire.

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

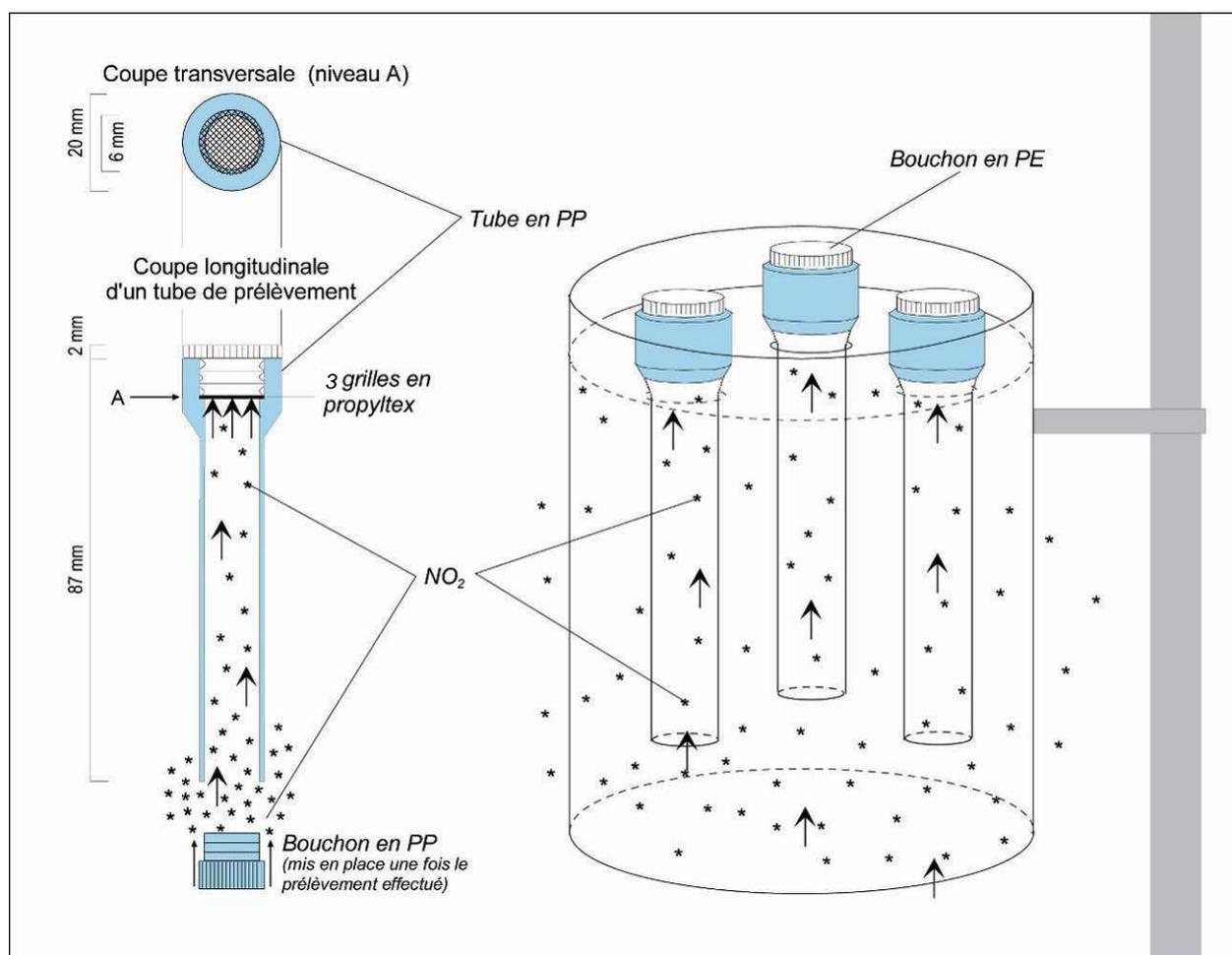


Figure 48. Principe de montage des capteurs passifs de NO₂

Analyse

Chaque tube reçoit 2 ml d'un réactif composé de sulfanilamide et d'acide ortho-phosphorique ainsi que 0.1 ml de réactif composé de N-(1-naphtyl) éthylènediamine dihydrochloride. Après 30 minutes, l'absorbance à 540 nm de chaque solution est déterminée par colorimétrie à l'aide d'un spectrophotomètre.

Un blanc et des standards de 500, 1000, 1500 et 2000 µg/l de NaNO₂ (nitrite de sodium) sont mesurés pour déterminer une droite d'étalonnage. Ceci permet de garantir la concentration dans les tubes analysés.

Annexe 7 : Covid-19 et semi-confinement: les impacts sur la qualité de l'air à Genève

Introduction

Les mesures de confinement, mises en place en Suisse afin de limiter la propagation de la pandémie de la Covid-19, ont eu des impacts directs et indirects sur les sources d'émissions de polluants atmosphériques.

Cette annexe présente les conclusions en termes d'impacts de cet événement sur la qualité de l'air sur l'ensemble du canton de Genève.

Méthodologie

Pour objectiver la situation, les valeurs moyennes des concentrations des polluants NO₂, PM₁₀, O₃ ont été calculées sur six périodes couvrant l'année 2020 :

Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Dec
Pré-confinement		Semi-confinement I		Déconfinement I			Déconfinement II		Déconfinement III		Semi-confinement II
		16 mars		11 mai	15 juin	1 septembre		2 novembre			

1. Du 1er janvier 2020 au 15 mars 2020 (pré-confinement).
2. Du 16 mars 2020 au 10 mai 2020 (1^{er} semi-confinement).
3. Du 11 mai 2020 au 14 juin 2020 (déconfinement I, avec notamment la réouverture des écoles, magasins et activités sportives).
4. Du 15 juin 2020 au 31 août 2020 (déconfinement II, avec notamment la réouverture des frontières).
5. Du 1er septembre 2020 au 1er novembre 2020 (déconfinement III, période de reprise des activités post-vacances).
6. Du 2 novembre 2020 au 31 décembre 2020 (2^{ème} semi-confinement).

Ces valeurs ont ensuite été comparées aux valeurs moyennées sur les périodes équivalentes pour les trois dernières années (2017 à 2019). Le choix d'une période de trois ans garantit la prise en compte de situations météorologiques variées et permet d'obtenir une estimation de la pollution lors de conditions représentatives. En prenant une période plus longue, les immissions auraient varié considérablement selon les tendances observées pour chacun des polluants. A l'inverse, une seule année de référence aurait rendu la généralisation difficile.

Il est important de mentionner que, sur les trois dernières années, une tendance à la baisse avait été observée pour les concentrations de NO₂, tandis que les concentrations de PM₁₀ étaient restées stables, alors qu'au contraire, une tendance à l'augmentation était relevée pour les concentrations d'ozone (figures 3, 8 et 26 du rapport).

Afin d'évaluer l'impact des semi-confinements de 2020 sur les concentrations de NO₂, PM₁₀ et O₃, un modèle, basé sur un algorithme de type *Random Forest*¹⁴, a été créé pour fournir les concentrations de ces polluants en condition de trafic et d'activités économiques habituelles¹⁵. Ce modèle a été entraîné avec les données de pollution et de météorologie mesurées durant la période allant du 01.01.2014 au 29.02.2020, ce qui a permis par la suite de modéliser les

¹⁴ Forêt d'arbres décisionnels.

¹⁵ Influence of COVID-19 lockdowns on Switzerland's air quality, EMPA, 2020.

concentrations à partir de mars 2020, sous conditions standards d'émissions polluantes anthropiques ("*business as usual model*", autrement dit un scénario standard, abrégé par la suite *business model*). La différence entre les valeurs modélisées et celles mesurées a alors permis d'estimer les effets des périodes de semi-confinement sur la qualité de l'air.

Concentrations en NO₂

Dans le canton de Genève la source principale d'émission d'oxydes d'azote en zone urbaine est le trafic routier. En effet, pour l'ensemble du canton, on estime en 2019 que les émissions de NO_x proviennent à 36 % du trafic routier, 26 % de l'aéroport, 18 % des chauffages et le 20 % restant, de l'industrie et du secteur offroad¹⁶ (source : Cadastre romand des émissions).

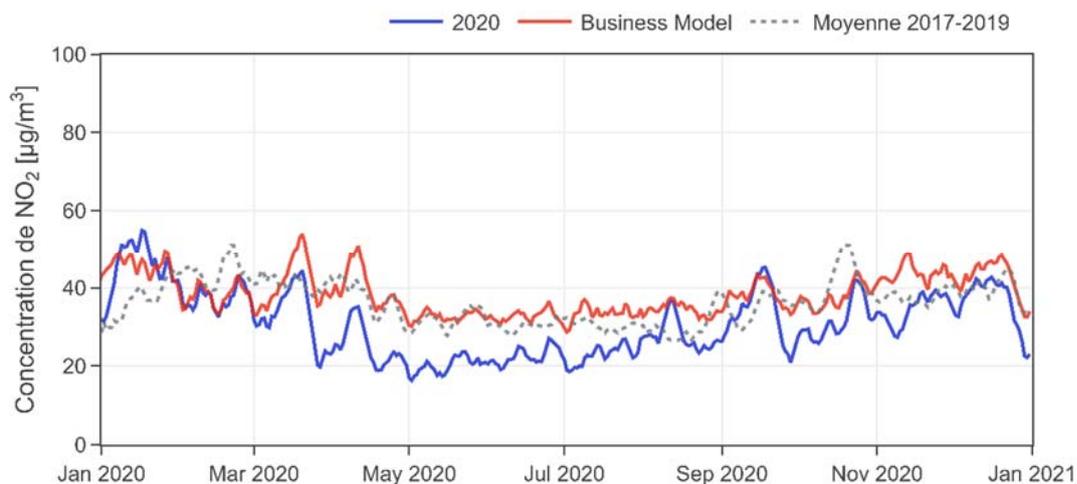


Figure 49. Comparaisons entre les moyennes journalières glissantes sur 7 jours de NO₂ pour les valeurs en 2020, la moyenne 2017-2019 et le *business model* (milieu urbain – station de Necker)

Le graphique ci-dessus (Fig. 49) indique, pour la station urbaine de Necker les moyennes journalières glissantes sur 7 jours de NO₂ :

- mesurées durant l'année 2020 (courbe bleue),
- calculées sur les trois dernières années (moyenne 2017-2019: courbe en traitillés grise),
- modélisées via le *business model* pour 2020 (courbe rouge).

La ressemblance entre les courbes rouge et grise suggère que la moyenne 2017-2019 est une bonne représentation des concentrations de NO₂ "dans les conditions habituelles".

En comparant des périodes données de l'année 2020 avec celles équivalentes des années de référence 2017-2019 (fig. 50, en haut), on constate que :

- Pendant le premier semi-confinement (du 16 mars 2020 au 10 mai 2020), les concentrations mesurées ont diminué entre 32 et 44 % selon les zones par rapport aux valeurs de la référence 2017-2019.
- Du 11 mai 2020 au 1er novembre 2020 (déconfinement), ces baisses de concentration se sont poursuivies mais en s'amenuisant progressivement.
- Par contre, pendant la période du deuxième semi confinement, du 2 novembre au 31 décembre, les baisses observées ont été plus réduites par rapport aux autres périodes (9 % pour le milieu urbain et suburbain, 2 % pour le milieu rural).

¹⁶ Machines agricoles, de navigation, construction, horticulture/loisirs, véhicules militaires, artisanat, train, tramway.

Il faut noter qu'une baisse des concentrations de dioxyde d'azote s'observe également avant le premier semi-confinement et ceci pour toutes les stations (comparaison entre 2020 et la période de référence 2017-2019), notamment pour le milieu rural. Cependant cette diminution, qui suit la tendance à la baisse observée depuis plusieurs années, représente pour l'ensemble des stations moins de la moitié de celle constatée pendant la période du premier semi-confinement.

Par ailleurs, la modélisation (fig. 50, en bas) confirme les baisses observées en 2020 par rapport à la moyenne 2017-2019 (fig. 50, en haut) mais dans une amplitude plus importante pendant le deuxième semi-confinement : 18 % (mesures 2020 vs prévisions 2020 issues du business model) contre 9 % (mesures 2020 vs mesures sur la moyenne 2017-2019) pour le milieu urbain, 17 % contre 9 % pour le milieu suburbain, 19 % contre 2 % pour le milieu rural.

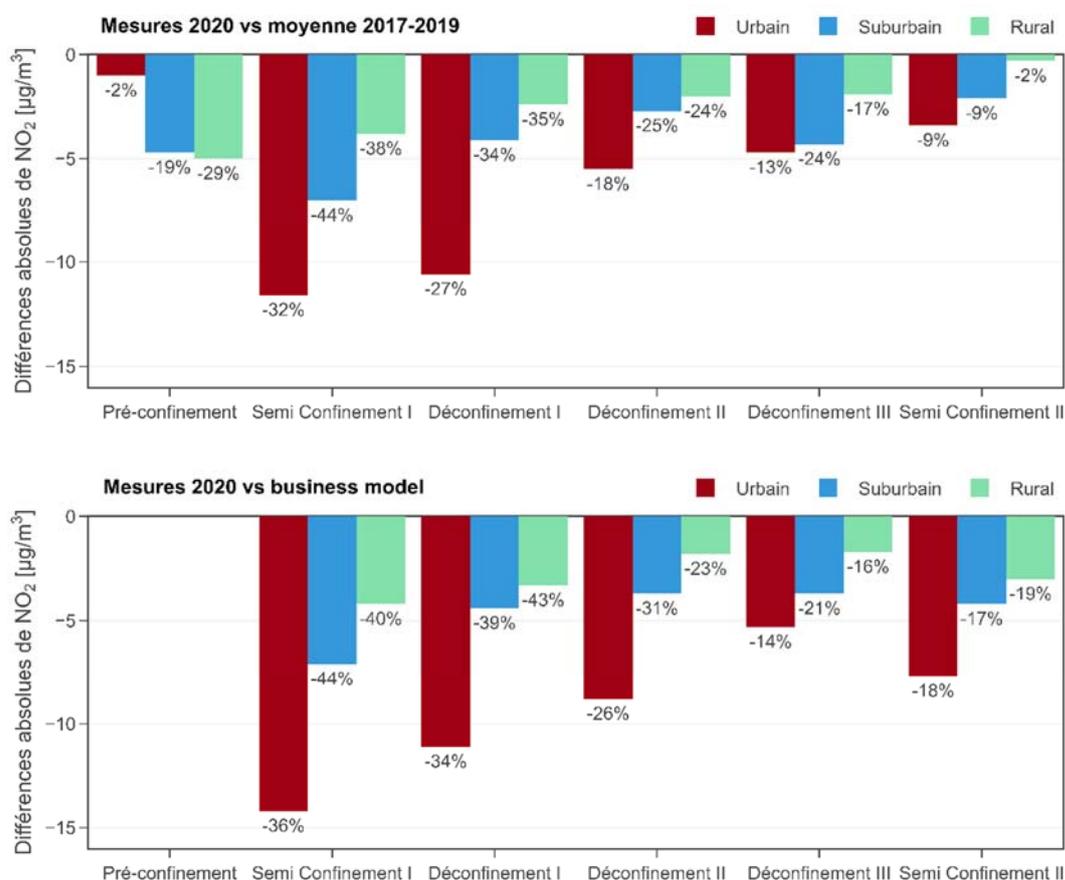


Figure 50. Différences absolues (en µg/m³) pour le NO₂ et pour les 6 périodes entre les mesures effectuées en 2020 et les mesures calculées sur la moyenne 2017-2019 (en haut), ainsi qu'avec les mesures 2020 prévues par le business model (en bas)¹⁷

Bien que les conditions météorologiques jouent un rôle moins important dans la fluctuation des concentrations de NO₂ dans l'atmosphère que pour les particules fines ou l'ozone, elles ne peuvent pas être négligées. En effet, des conditions perturbées avec des précipitations importantes contribuent à limiter les immissions de NO₂, alors que des périodes sèches exceptionnellement longues et des masses d'air stables favorisent leur accumulation. Ainsi, les conditions météorologiques particulières rencontrées à certaines périodes de l'année 2020 ont

¹⁷ Les différences relatives (%) sont indiquées sur la barre correspondante. Les différences pendant le pré-confinement n'ont pas été indiquées pour le business model, car elles se réfèrent à l'évaluation du modèle (le processus d'apprentissage a utilisé les valeurs mesurées jusqu'en février 2020).

probablement contribué à limiter la baisse des immissions de dioxyde d'azote, comme le confirme le business model. C'était notamment le cas lors de la période chaude et sèche qui s'est étendue de mi-mars à début avril, pendant le premier semi-confinement.

Les fortes diminutions observées en 2020 trouvent leur explication dans le fait que le NO₂ est un polluant principalement émis par le trafic routier. A Genève les principaux axes ont connu une réduction de trafic de presque 70 % au plus fort du confinement¹⁸ et le business model met en évidence cet effet: alors que les concentrations de NO₂ sont réduites de 40 % pendant le premier semi-confinement (pour une baisse du trafic de presque 70 % par rapport à 2019), celles-ci ne sont réduites que de 20 % pendant le second semi-confinement (pour une baisse du trafic de presque 40 % par rapport à 2019)¹⁹.

Concentrations en particules fines

Les particules fines proviennent de différentes sources : trafics routier et ferroviaire (imbrûlés de carburant, usure de pièces mécaniques par frottement ou des pneumatiques), industrie, chantiers, agriculture, chauffages, ainsi que d'origine naturelle. On distingue les particules primaires (émises directement à la source) des particules secondaires (se formant à partir d'autres molécules, par le biais de transformations physico-chimiques). Pour l'ensemble du canton de Genève, on estime en 2019 que les émissions de PM10 proviennent à 37 % du trafic routier, 41 % de l'offroad, 4 % de l'aéroport et 3 % du chauffage (Cadastre romand des émissions). Toutefois, les particules peuvent aussi parcourir de longues distances et être importées dans notre région, comme cela est le cas pour les particules de sable du désert.

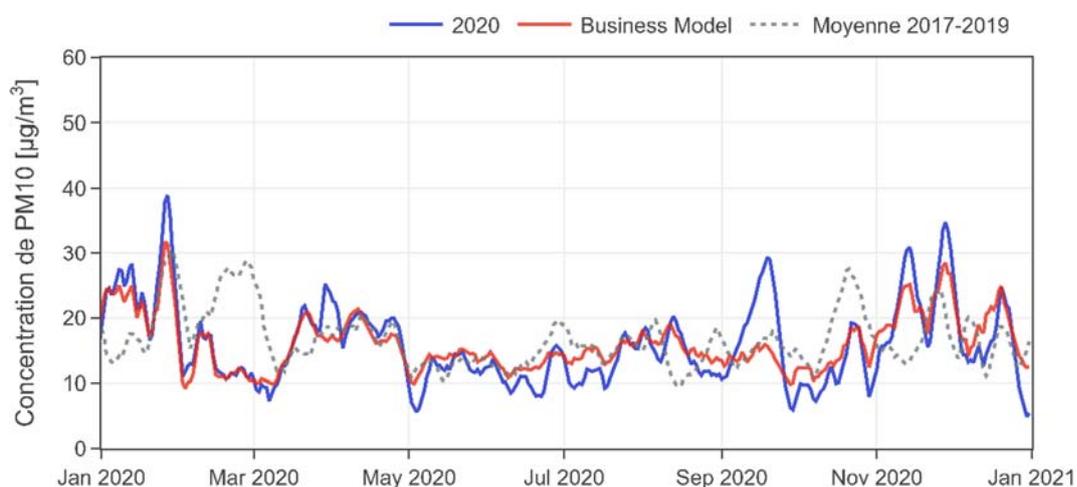


Figure 51. Comparaisons entre les moyennes journalières glissantes sur 7 jours de PM10 pour les valeurs en 2020, la moyenne 2017-2019 et le business model (milieu urbain – station de Necker)

Le graphique ci-dessus (Fig. 51) indique, pour la station urbaine de Necker les moyennes journalières glissantes sur 7 jours de PM10 :

- mesurées durant l'année 2020 (courbe bleue),
- calculées sur les trois dernières années (moyenne 2017-2019: courbe en traitillés grise),
- modélisées via le *business model* pour 2020 (courbe rouge).

¹⁸ Crise sanitaire: impacts sur nos pratiques, modèles et nos comportements, Citec, 2020.

¹⁹ Observatoire européen du Trafic à Genève,

<https://storymaps.arcgis.com/stories/0cc215bb43c64239bec39af0eb9315bc>

Contrairement à ce qui a été constaté pour le NO₂, la différence entre les valeurs prédites par le business model et les valeurs moyennées sur la période 2017-2019 est plus marquée pour les PM10.

Les moyennes journalières glissantes sur 7 jours de PM10 mesurées sur l'année 2020 montrent quelques valeurs plus élevées que la moyenne, qui souvent coïncident avec des épisodes de sable, un phénomène naturel d'import de poussières désertiques qui induit un apport de particules minérales grossières. Sans précipitations, ces poussières désertiques peuvent alors transiter à large échelle et faire augmenter sensiblement les concentrations de PM10 sur l'ensemble du territoire suisse. Ces épisodes de sable sont toutefois indépendants et ne peuvent être corrélés avec la mise en place des semi-confinements, ils expliquent notamment les hausses observées en 2020 : 23-26 janvier, 16-20 mars, 24-28 mars, 17-22 avril, 7-8 novembre.

En comparant des périodes données de l'année 2020 avec celles équivalentes des années de référence 2017-2019 (fig. 52, en haut) on constate :

- Une légère hausse pendant la première période de semi-confinement (du 16 mars 2020 au 10 mai 2020). En effet, les concentrations ont augmenté de 1 µg/m³ (de 16 à 17 µg/m³) pour la zone urbaine, de 2 µg/m³ (de 14 à 16 µg/m³) pour la zone suburbaine et de 3 µg/m³ (de 13 à 16 µg/m³) pour la zone rurale. Ainsi, les concentrations étaient homogènes sur tout le territoire genevois durant cette période de 2020.
- Une tendance qui s'est par la suite inversée (du 11 mai 2020 au 1^{er} novembre 2020), avec des concentrations diminuant en moyenne de 15 % sur l'ensemble des stations par rapport à la période de référence 2017-2019.
- Que du 2 novembre au 31 décembre (deuxième semi-confinement) les valeurs ont augmenté à nouveau d'environ 2 µg/m³ pour les zones urbaine et rurale, et de 1 µg/m³ pour la zone suburbaine.

Le business model montre que les hausses observées dans la moyenne 2017-2019 sont principalement liées aux conditions météorologiques et aux épisodes de sable. En effet, lors du premier semi-confinement, caractérisé par différents épisodes de sable du Sahara, les prédictions montrent globalement une variation de moins de 1 µg/m³ dans les différents milieux (fig. 52, en bas) alors que la comparaison avec la moyenne 2017-2019 montrait une hausse sensible. De même, lors du second semi-confinement l'augmentation constatée en comparant les mesures 2020 avec la moyenne 2017-2019 disparaît dans le business model. Pendant les périodes de déconfinement qui n'ont pas connu d'épisodes d'imports de sable, les deux comparaisons donnent des résultats similaires, c'est-à-dire une baisse moyenne de près de 15 % dans tout le canton.

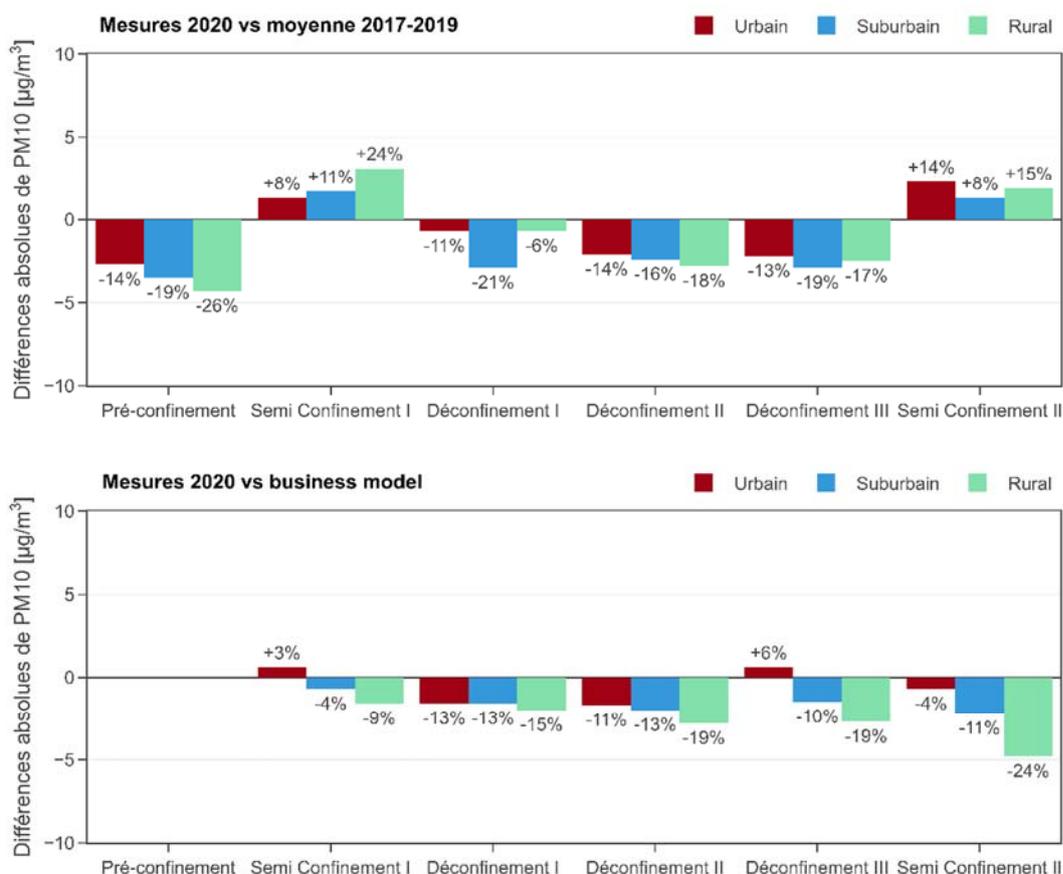


Figure 52. Différences absolues (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) pour les PM10 et pour les 6 périodes entre les mesures effectuées en 2020 et les mesures calculées sur la moyenne 2017-2019 (en haut), ainsi qu'avec les mesures 2020 prévues par le business model (en bas)²⁰

L'impact des semi-confinements a été moins visible sur les PM10 que sur le NO₂, si on compare les mesures réalisées en 2020 avec celles calculées de la moyenne 2017-2019. Plusieurs explications peuvent être avancées pour expliquer cette observation :

- En termes d'émissions, une proportion importante de particules fines peut être attribuée à des processus naturels et particulièrement à plusieurs épisodes de poussières provenant du désert qui ont induit un apport de particules PM10 minérales.
- Les concentrations en PM10 sont fortement influencées par les conditions météorologiques (inversions thermiques, transport des masses d'air, dispersion sous l'action du vent, lessivage dû à la pluie, ...). Pendant les deux périodes de semi-confinements, le beau temps et l'absence de pluie ont par exemple favorisé l'accumulation de particules sur le sol (en provenance notamment des sites de chantiers ou des zones agricoles), ainsi que leur remise en suspension, contribuant alors à l'augmentation des concentrations de PM10.

²⁰ Les différences relatives (%) sont indiquées sur la barre correspondante. Les différences pendant le pré-confinement n'ont pas été indiquées pour le business model car elles se réfèrent à l'évaluation du modèle (le processus d'apprentissage a utilisé les valeurs mesurées jusqu'en février 2020).

- Les concentrations en particules fines, ainsi que leur composition, dépendent du vieillissement de la masse d'air : si celle-ci n'est pas nettoyée par le biais de conditions météorologiques propices (précipitations ou vent par exemple), une accumulation de particules fines anciennes peut alors s'effectuer malgré des émissions polluantes réduites (comme cela a été le cas lors du mois d'avril 2020).

On peut retenir de ces observations que les phénomènes météorologiques et naturels (nuages de sable) ont plus fortement impacté les concentrations en PM10 que celles en NO₂. Dans la comparaison avec la moyenne sur la période 2017-2019, ces phénomènes ont en quelque sorte "masqué" la réduction notable de poussières fines issues du trafic routier pendant la période de confinement.

Concentrations en ozone

L'ozone (O₃) au niveau du sol est un polluant d'origine principalement secondaire, car il n'est pas directement émis dans l'atmosphère, mais se forme notamment à partir d'autres polluants précurseurs tels que les oxydes d'azote et les composés organiques volatiles, sous l'effet conjoint du rayonnement solaire et des températures élevées (réaction photochimique). Il est donc produit principalement en été dans des zones qui présentent ces précurseurs, avec la particularité de pouvoir se déplacer et s'accumuler à la campagne, endroit où on trouve moins de monoxyde d'azote participant à la destruction de l'ozone. Par ailleurs, l'ozone peut aussi se former dans le cadre de phénomènes naturels (orages, apport d'ozone stratosphérique dans la troposphère...).

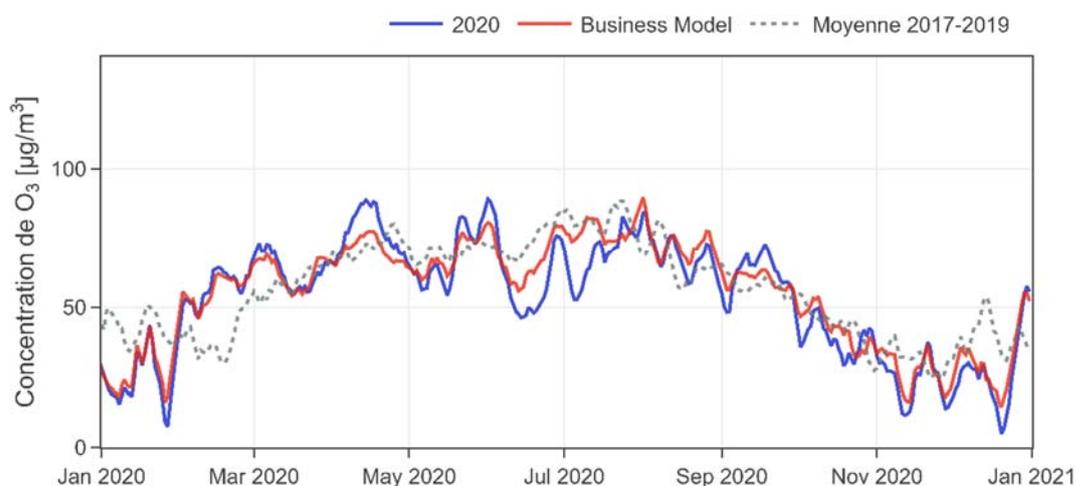


Figure 53. Comparaisons entre les moyennes journalières glissantes sur 7 jours d'O₃ pour les valeurs en 2020, la moyenne 2017-2019 et le business model (milieu rural – station de Passeiry)

Le graphique ci-dessus (Fig. 53) indique, pour la station rurale de Passeiry les moyennes journalières glissantes sur 7 jours de O₃ :

- mesurées durant l'année 2020 (courbe bleue),
- calculées sur les trois dernières années (moyenne 2017-2019: courbe en traitillés grise),
- modélisées via le *business model* pour 2020 (courbe rouge).

La modélisation, qui tient compte des valeurs météorologiques annuelles, suit assez bien les valeurs mesurées sur 2020, et moins bien les valeurs sur la moyenne 2017-2019 qui se basent sur une situation moyenne et non sur le rayonnement effectif mesuré en 2020.

En comparant des périodes données de l'année 2020 avec celles équivalentes des années de référence 2017-2019 (fig. 54, en haut) on constate :

- Une augmentation des concentrations d'ozone pendant la 1^{ère} période de semi-confinement (du 16 mars 2020 au 10 mai 2020) de 9 % en zone urbaine. Pour les moyennes déterminées en zone suburbaine et rural, une variation inférieure à 1 % a été observée.
- Que pendant les deux premières périodes estivales de déconfinement (de mi-mai à fin août) les concentrations d'ozone ont diminué d'environ 10 % (passant de 64 à 58 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) pour le milieu urbain, et entre 12 et 14 % pour la pollution en zone suburbaine et rurale, respectivement. Par contre, la troisième période du déconfinement montre une légère hausse pour le milieu urbain et suburbain.
- Que la baisse des concentrations d'ozone a continué tout au long du deuxième semi-confinement.

Néanmoins, les valeurs prédites par le modèle (fig. 54, en bas) montrent des faibles variations globalement, à l'exception de la période de déconfinement II couvrant le début de l'été, notamment pour le milieu suburbain et rural.

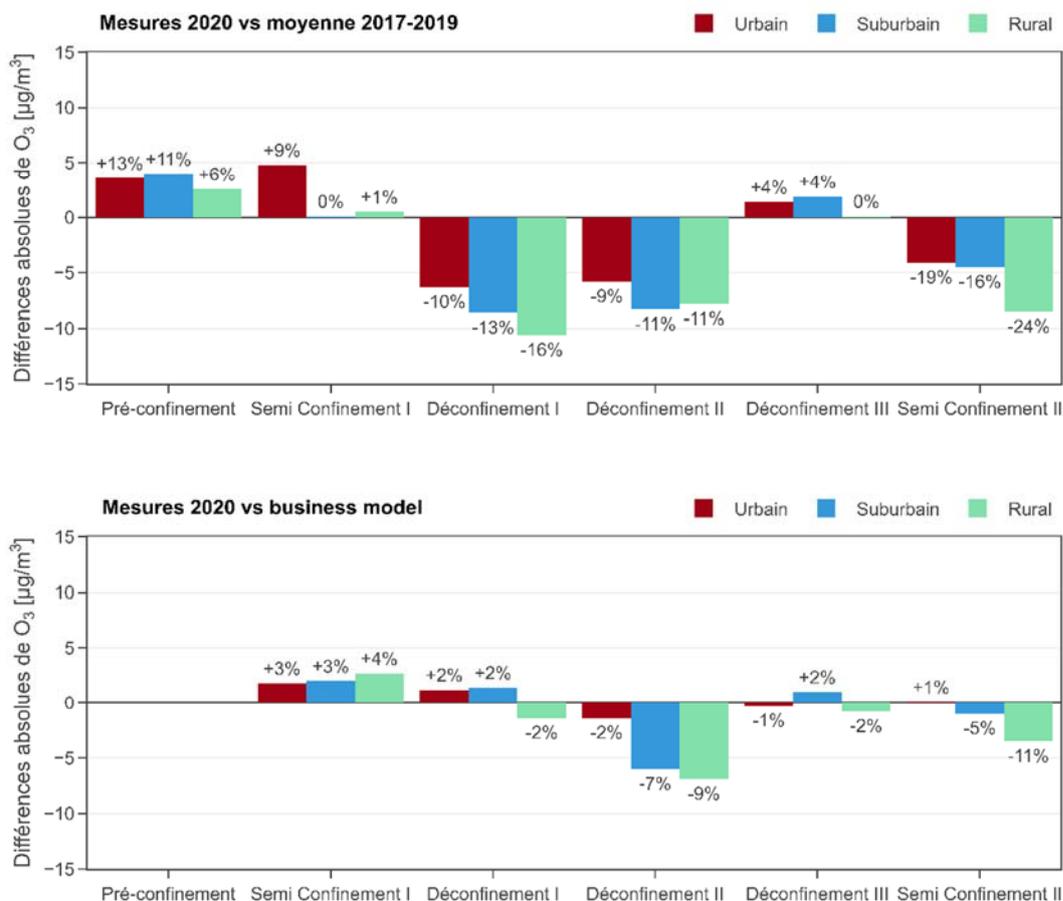


Figure 54. Différences absolues (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) pour l' O_3 et pour les 6 périodes entre les mesures effectuées en 2020 et les mesures calculées sur la moyenne 2017-2019 (en haut), ainsi qu'avec les mesures 2020 prévues par le business model (en bas)²¹

²¹ Les différences relatives (%) sont indiquées sur la barre correspondante. Les différences pendant le pré-confinement n'ont pas été indiquées pour le business model car elles se réfèrent à l'évaluation du modèle (le processus d'apprentissage a utilisé les valeurs mesurées jusqu'en février 2020).

L'ozone étant un polluant secondaire qui se forme par réaction photochimique à partir de polluants précurseurs, les effets liés aux semi-confinements sont plus difficiles à observer directement.

Le fort ensoleillement et la diminution des concentrations de NO₂ pourraient expliquer la hausse déterminée au moyen du modèle pendant le premier semi-confinement, comme confirmée par d'autres études européennes²². Par contre, le faible ensoleillement du mois de juin, conjointement à la baisse des émissions d'oxydes d'azote, pourraient avoir contribué à une baisse globale d'ozone pendant les périodes de déconfinement. Ces hypothèses sont confirmées par le business model. En effet, l'ensoleillement étant inclus dans les paramètres d'entrée, les écarts entre les valeurs mesurées et le modèle sont attribuables à des facteurs non-météorologiques, comme la réduction des polluants gazeux précurseurs dans l'air.

Conclusions

Le NO₂ est principalement émis par la circulation routière. Lors du premier semi-confinement, les baisses de l'ordre de 50 % pour le trafic routier et de 90 % pour le trafic aérien²³ ont induit une réduction des concentrations de NO₂ de près de 40 % par rapport aux mesures effectuées sur la période équivalente moyennée sur 2017-2019. Cette chute remarquable constatée lors du premier semi-confinement a été beaucoup moins visible lors du second. En effet, durant cette seconde période, la baisse du trafic routier a été moins importante et sur une plus courte durée, ce qui n'a pas permis une diminution aussi nette des concentrations, baisses confirmées par le business model.

Contrairement au NO₂, les concentrations en PM₁₀ ont été plus élevées pendant les deux périodes de semi-confinement que sur les périodes équivalentes moyennées sur 2017-2019. Cette différence peut notamment s'expliquer par des apports dus à des épisodes de sables désertiques survenues en mars, avril et novembre 2020 et par des conditions météorologiques favorables à l'accumulation et à la remobilisation des particules fines (sécheresse de mi-mars à début avril). Si on ne prend pas en compte les périodes concernées par des épisodes de sable, les concentrations de PM₁₀ ont connu une baisse d'environ de 15 %, ordre de grandeur confirmé par business model. Les hausses apparentes observées dans la comparaison entre l'année 2020 et la moyenne 2017-2019 sont ainsi principalement liées aux conditions météorologiques et aux épisodes de sable.

L'O₃ est fortement influencé par l'ensoleillement et la présence de NO_x. Par conséquent, les effets liés aux semi-confinements sont plus difficiles à observer directement. L'ensoleillement important, la chaleur et la baisse des concentrations de NO₂ lors du premier semi-confinement peuvent ainsi expliquer la légère augmentation des concentrations d'ozone observée, en particulier en milieu urbain. Par la suite, au début de la période estivale, le faible ensoleillement, ainsi que la diminution du réservoir en oxydes d'azote ont probablement contribué à la réduction du polluant O₃ en milieu rural et suburbain. Le business model confirme que cette baisse estivale n'est pas seulement liée aux facteurs météorologiques.

²² COVID-19 lockdowns highlight a risk of increasing ozone pollution in European urban area, Grange et al., Atmos. Chem. Phys., 2021.

²³ Rapport Evolution Mouvements par jour, Genève Aéroport, 15.01.2021.

Annexe 8 : Information sur la qualité de l'air

Site Internet de l'Etat de Genève

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

Les données, récoltées dans les différentes stations fixes du ROPAG, sont mises à jour automatiquement et de manière régulière par un programme informatique qui permet de relever, de calculer et de valider des milliers de 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 :

- Des cartes et des graphiques montrant l'évolution des polluants (ozone, dioxyde d'azote et poussières fines) à court et long terme.
- Les dernières nouvelles relatives à la qualité de l'air.
- Une interface permettant de faire des requêtes pour visualiser et télécharger des données d'immissions.
- Un plan localisant les stations de mesure.
- Une présentation des actions de lutte contre la pollution de l'air.
- Un espace de téléchargement des publications relatives à la qualité de l'air à Genève.

Autres sites Internet

Pour tout renseignement complémentaire :

<https://www.ge.ch/info-service-questions-frequentes/contacter-info-service>

Le portail de l'environnement de l'Etat de Genève.

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

<https://www.admin.ch/gov/fr/accueil/droit-federal/recueil-systematique.html>

Législation suisse, recueil systématique

<https://www.bafu.admin.ch/fr>

OFEV – Office fédéral de l'environnement

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

OMS – Organisation mondiale de la santé.

<https://www.unenvironment.org/fr>

PNUE – Programme des Nations Unies pour l'Environnement. Site consacré aux pollutions à l'échelle internationale.

http://europa.eu/legislation_summaries/environment/air_pollution/index_fr.htm

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

<https://www.metas.ch>

METAS – Institut fédéral de métrologie suisse.

<https://www.ademe.fr>

ADEME – Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (France).

<https://www.lcsqa.org/fr>

LCSQA – Laboratoire central de surveillance de la qualité de l'air (France).

<https://www.ineris.fr/fr>

INERIS – Institut national de l'environnement industriel et des risques (France).

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

<https://www.ne.ch/air>

SENE – Service de l'énergie et de l'environnement (canton de Neuchâtel).

<https://www.vd.ch/air>

DGE – Direction générale de l'environnement (canton de Vaud).

<https://www.vs.ch/air>

SPE – Service de protection de l'environnement (canton du Valais).

<https://www.fr.ch/air>

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

<https://www.jura.ch/air>

ENV – Office de l'environnement (canton du Jura).

<https://www.be.ch/air>

BECO, Economie bernoise, protection contre les immissions.

<https://www.cerclair.ch/fr>

Cercl'Air – Société suisse des responsables de l'hygiène de l'air.

<https://feinstaub.ch/fr>

Site Cercl'Air consacré aux poussières fines.

<https://ozon-info.ch/>

Site Cercl'Air consacré à l'ozone.

<http://www.transalpair.eu>

Collaboration transfrontalière de surveillance de la qualité de l'air.

<https://www.atmo-auvergnerhonealpes.fr>

Atmo Auvergne-Rhône-Alpes.

<https://www.atmo-bfc.org/>

Atmo Bourgogne Franche-Comté.

<http://www.atmo-grandest.eu>

Atmo Grand Est (France).

Applications pour smartphone :

airCHECK



Android : <https://play.google.com/store/apps/details?id=ch.ti.oasi.android.airquality>
iOS : <https://apps.apple.com/ch/app/aircheck/id577766644>

MétéoSuisse



Android : <https://play.google.com/store/apps/details?id=ch.admin.meteoswiss>
iOS : <https://apps.apple.com/ch/app/meteoswiss/id589772015>

Air2G²



Android : <https://play.google.com/store/apps/details?id=app.air2g2.app>
iOS : <https://apps.apple.com/fr/app/apple-store/id1478246102>

Annexe 9 : Glossaire

A

Absorption

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

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 à ultraviolet. Cette méthode est utilisée pour l'ozone.

Albédomètre

L'albédo représente la fraction de radiation réfléchi 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.

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

Benzo[a]pyrène

Cf. HAP.

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, zinc et thallium 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 proportionnelle 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).

Co-krigeage

Le co-krigeage ordinaire est une méthode d'interpolation stochastique appartenant à la famille du krigeage.

Cette méthode permet de prendre en compte la relation de corrélation spatiale entre les données. La particularité du co-krigeage est qu'en plus de la variable à interpoler, il utilise l'information supplémentaire fournie par une variable secondaire corrélée avec celle-ci.

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 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 et 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°.

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

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. A Genève, deux types de mesures sont utilisées : par pesée et par *microbalance*.

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.

Microbalance

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

Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

Les HAP sont des molécules formées d'atomes de carbone et d'hydrogène émises notamment lors de la combustion incomplète de matière organique. Ils se lient aux poussières fines.

Sources principales

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

Effets

- Peut entraîner des mutations génétiques menant parfois au cancer.
- Problème de reproduction et développement fœtal.

Le benzo[a]pyrène (BaP) fait partie de la famille des HAP. Il est classé comme cancérigène certain.

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.

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.

IPC et IPL

L'IPC est l'indice suisse de pollution à court terme. Il donne une information sur la qualité de l'air actuelle.

L'IPL est l'indice suisse de pollution à long terme. Il est représentatif de l'état de la pollution chronique.

Ces deux indices sont calculés à l'aide des concentrations en dioxyde d'azote (NO₂), particules fines (PM10) et ozone (O₃).

Ces deux indices comportent six niveaux :

IPL	Charge polluante
6	très élevée
5	élevée
4	marquée
3	significative
2	modérée
1	faible

Informations sur : <https://cerclair.ch/fr/empfehlungen>

Inversion de température

L'inversion de température (ou inversion thermique) est un phénomène climatique qui survient lorsque les couches d'air sont plus chaudes en altitude qu'au niveau du sol. Dans cette situation, les polluants ne peuvent se disperser verticalement, ce qui donne lieu à une accumulation en dessous de l'altitude où se situe l'inversion.

La concentration des polluants est encore plus importante en absence de vent.

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 et a été renforcée plusieurs fois.

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.à.d. 1'000 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.

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.

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.

Moyenne journalière

La moyenne journalière se calcule à partir des moyennes semi-horaires d'une journée. Pour valider la moyenne journalière, il faut au moins 39 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 15'768 moyennes semi-horaires valides.

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 15'768 moyennes semi-horaires valides.

Percentile 95

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

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

Percentile 98

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

Donc, sur 100 moyennes, 98 d'entre elles doivent être inférieures à cette valeur. 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 incommodantes ».

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 sa création.

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.
- Dans la troposphère, par une transformation photochimique due à la présence de NO_x, COV et CO ou via des intrusions stratosphériques transportant de l'ozone qui s'y est formé (Stratospheric-Tropospheric Exchange, STE).

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 µg/m³ (± 10 µg/m³) : Ozone naturel.

70 µg/m³ (± 20 µg/m³) : Concentration de fond (dictée par les émissions de toute l'Europe).

60 µg/m³ (± 60 µg/m³) : Réservoir d'ozone (dicté par les polluants émis dans un rayon de 500 à 1'000 km).

40 µg/m³ (± 20 µg/m³) : 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

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

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

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 = 100'000 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 termes 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 : éclairement 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) : éclairement 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 la station située au centre de la ville (Necker).

Milieu suburbain

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

Milieu rural

Zone comprenant la station située à la campagne, proche d'une zone agricole (Passeiry).

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 10 km d'altitude, la température décroît quand l'altitude augmente.

Thallium

Cf. *Métaux lourds*.

U

Unités de mesure

Le microgramme (μg) est 1'000 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'immission (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 pollutions 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 :



Info-Service

Chemin de la Gravière 4
1227 Les Acacias

Tél. 022 546 76 00
info-service@etat.ge.ch

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

Service l'air, du bruit et des rayonnements non ionisants

Avenue de Sainte-Clotilde 23
1205 Genève

Tél. 022 388 80 40
sabra@etat.ge.ch

Document disponible en pdf sur Internet : <https://air.ge.ch>