

# La qualité de l'air en 2021

Résultats du Réseau national d'observation des polluants atmosphériques (NABEL)



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Office fédéral de l'environnement OFEV



**Empa**

Materials Science and Technology

# La qualité de l'air en 2021

Résultats du Réseau national d'observation des polluants atmosphériques (NABEL)

# Impressum

## Éditeur

Office fédéral de l'environnement (OFEV)

L'OFEV est un office du Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC).

Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et de recherche (Empa)

## Contact

Office fédéral de l'environnement

Division Protection de l'air et produits chimiques

3003 Berne

Tél. 058 463 01 65

luftreinhaltung@bafu.admin.ch | [www.bafu.admin.ch](http://www.bafu.admin.ch)

## Référence bibliographique

OFEV (éd.) 2022 : La qualité de l'air en 2021. Résultats du Réseau national d'observation des polluants atmosphériques (NABEL).

Office fédéral de l'environnement, Berne. État de l'environnement n° 2227 : 29 p.

## Traduction

Service linguistique de l'OFEV

## Mise en page

Funke Lettershop AG

## Photo de couverture

Nouvelle station de mesure à Dübendorf.

© Empa

## Téléchargement au format PDF

[www.bafu.admin.ch/uz-2227-f](http://www.bafu.admin.ch/uz-2227-f)

Il n'est pas possible de commander une version imprimée.

Cette publication est également disponible en allemand.

La langue originale est l'allemand.

© OFEV 2022

# Table des matières

---

<b>Abstracts</b>	<b>5</b>
------------------	----------

---

<b>Avant-propos</b>	<b>6</b>
---------------------	----------

---

<b>1</b>	<b>La pollution de l'air en Suisse en 2021</b>	<b>7</b>
1.1	Comparaison avec les valeurs limites d'immission	7
1.2	Répartition spatiale de la pollution atmosphérique	8

---

<b>2</b>	<b>Pollution atmosphérique aux stations NABEL en 2021</b>	<b>10</b>
2.1	Comparaison avec les valeurs limites d'immission	10

---

<b>3</b>	<b>Particularités de l'année 2021</b>	<b>12</b>
----------	---------------------------------------	-----------

---

<b>4</b>	<b>Évolution et conséquences</b>	<b>14</b>
4.1	Évolution de la pollution atmosphérique	14
4.2	Conséquences de la pollution atmosphérique	15

---

<b>5</b>	<b>Polluants atmosphériques</b>	<b>16</b>
5.1	Poussières fines et composition	16
5.2	Ozone	18
5.3	Composés azotés	20
5.4	Polluants dans les précipitations	22
5.5	Autres polluants atmosphériques gazeux	23
5.6	Gaz à effet de serre	24

---

<b>6</b>	<b>Perspectives</b>	<b>26</b>
----------	---------------------	-----------

---

<b>Annexe</b>	<b>28</b>
---------------	-----------

---

# Abstracts

This report analyses the state of air quality and the extent of air pollution in Switzerland on the basis of data collected by the National Air Pollution Monitoring Network (NABEL) and by cantonal monitoring networks. In 2021, the ambient air quality standards for ozone were exceeded at all stations, those for particulate matter (PM10 and PM2.5) were partially exceeded south of the Alps. All other air quality standards were met at all NABEL stations. Air pollution concentration trends over the last 30 years show that the air quality in Switzerland has significantly improved.

Le présent rapport analyse l'état de l'air en Suisse, sur la base des mesures des polluants atmosphériques enregistrées par les stations du réseau NABEL ainsi que des mesures cantonales. Pour 2021, les valeurs limites d'immission pour l'ozone ont été dépassées dans toutes les stations NABEL, celles des poussières fines partiellement dans le sud des Alpes. Les autres valeurs limites d'immission ont été respectées dans toutes les stations NABEL. L'évolution des concentrations de polluants au cours des 30 dernières années montre une nette amélioration de la qualité de l'air en Suisse.

Der Bericht dokumentiert anhand von Messresultaten des Nationalen Beobachtungsnetzes für Luftfremdstoffe (NABEL) und kantonaler Messungen den Zustand der Luft in der Schweiz. Für Ozon wurden im Jahr 2021 an allen NABEL-Stationen die Grenzwerte überschritten, für lungengängigem Feinstaub (PM10 und PM2.5) wurden die Immissionsgrenzwerte auf der Alpensüdseite teilweise überschritten, auf der Alpensüdseite teilweise auch diejenigen für lungengängigen Feinstaub (PM10 und PM2.5). An allen NABEL-Stationen wurden die Grenzwerte für weitere Luftschadstoffe eingehalten. Die Entwicklung der Schadstoffkonzentrationen in den letzten 30 Jahren zeigt eine deutliche Verbesserung der Luftqualität in der Schweiz.

Il presente rapporto documenta lo stato dell'aria in Svizzera sulla base dei risultati di misurazioni effettuate dalla Rete nazionale d'osservazione degli inquinanti atmosferici (NABEL) e dai Cantoni. Per quanto concerne gli inquinanti atmosferici, nel 2021 i valori limite d'immissione per l'ozono sono stati superati presso tutte le stazioni NABEL, mentre quelli per le polveri fini (PM10 e PM2.5) sono stati superati in parte a sud delle Alpi. Presso le stazioni NABEL, gli altri valori limite d'immissione sono stati rispettati. L'evoluzione delle concentrazioni di inquinanti negli ultimi 30 anni mostra un netto miglioramento della qualità dell'aria in Svizzera.

**Keywords:**

*air pollution control, air quality measurements, air pollutants and temporal evolution, assessment of air quality*

**Mots-clés :**

*protection de l'air, mesures des immissions, polluants atmosphériques et évolution temporelle, appréciation de la qualité de l'air*

**Stichwörter:**

*Luftreinhaltung, Immissionsmessungen, Luftschadstoffe und zeitliche Entwicklung, Beurteilung der Luftqualität*

**Parole chiave:**

*lotta contro l'inquinamento atmosferico, misurazione delle immissioni, inquinanti atmosferici e evoluzione temporale, valutazione della qualità dell'aria*

---

# Avant-propos

En jetant un regard rétrospectif sur les deux dernières décennies, on peut constater que la qualité de notre air s'est encore nettement améliorée durant cette période. La tendance réjouissante qui a débuté au milieu des années 1980 s'est poursuivie. Les mesures du réseau national d'observation des polluants atmosphériques (NABEL) confirment le succès de la politique en matière de protection de l'air menée jusqu'à présent par la Confédération, les cantons et les communes. La plupart des valeurs limites fixées pour la protection de la santé et de l'environnement sont aujourd'hui respectées.

Toutefois, l'objectif en matière de qualité de l'air fixé dans la loi n'est pas encore atteint, pour les concentrations d'ozone, de poussières fines, de dioxyde d'azote et de polluants cancérigènes, qui représentent un risque pour la santé, ou encore les apports d'azote trop élevés dans des écosystèmes sensibles. Les recommandations sur la qualité de l'air de l'Organisation Mondiale de la Santé, publiées en 2021, montrent que même des concentrations inférieures aux valeurs limites d'immission actuellement en vigueur en Suisse peuvent avoir des effets négatifs sur la santé.

Il est donc indispensable de continuer d'appliquer une politique conséquente en matière de protection de l'air avec des mesures visant à réduire les émissions de polluants (en particulier l'ammoniac, les oxydes d'azote, les composés organiques volatils, les poussières fines respirables, ainsi que les substances cancérigènes) – pour le bien de notre santé et de notre environnement. Avec le principe de précaution fixé dans la loi, la Suisse a créé de manière prévoyante un instrument qui permet de tirer systématiquement profit des progrès techniques pour améliorer la qualité de l'air.

L'air est essentiel à notre survie et constitue notre principale ressource. En effet, un être humain respire chaque jour environ 15 000 litres d'air, soit une quinzaine de kilogrammes. Il n'en faut pas plus pour décider de s'engager dès aujourd'hui en faveur d'un air pur et sain.

Martin Schiess

Chef de la division Protection de l'air et produits chimiques

Office fédéral de l'environnement (OFEV)

# 1 La pollution de l'air en Suisse en 2021

La qualité de l'air en Suisse est déterminée au moyen de mesures réalisées par la Confédération, les cantons et quelques villes. Les données de toutes les stations de mesure peuvent être utilisées pour évaluer la qualité de l'air afin d'obtenir une vue d'ensemble de la pollution atmosphérique dans l'ensemble du pays.

## 1.1 Comparaison avec les valeurs limites d'immission

La qualité de l'air en Suisse est évaluée par rapport aux valeurs limites d'immission fixées par l'ordonnance sur la protection de l'air (OPair). La figure 1 indique les concentrations de ces polluants telles que relevées par les stations de mesures de la Confédération, des cantons et des villes, comparées aux valeurs limites d'immission.

Pour le dioxyde d'azote la valeur limite en moyenne annuelle n'a été dépassée qu'aux stations proches du trafic routier et il n'y a eu qu'un seul dépassement de la valeur limite journalière.

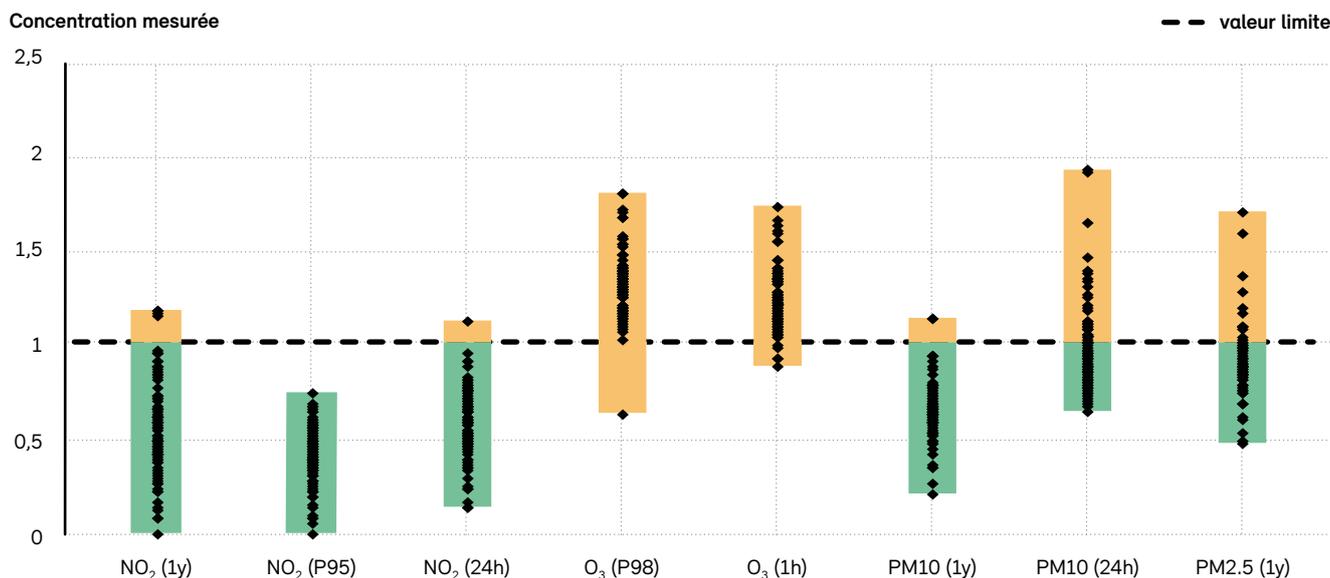
Pour les poussières fines PM10, les moyennes journalières ont dépassé à plusieurs endroits le nombre de trois dépassements autorisés, les fréquents épisodes de poussières du Sahara ayant contribué à cette situation. La valeur limite en moyenne annuelle est la plupart du temps respectée pour les PM10 alors que celle pour les PM2,5 est encore dépassée à plusieurs stations.

Les valeurs limites d'immission pour l'ozone sont encore largement dépassées.

Les valeurs limites d'immission en moyenne annuelle pour le dioxyde de soufre, les retombées de poussières, les métaux lourds dans les poussières fines et les dépôts de métaux lourds ainsi que les valeurs limites en moyenne journalière pour le monoxyde de carbone sont respectées dans presque toutes les stations de Suisse, même parfois très largement.

**Fig. 1 : Comparaison de la pollution de l'air mesurée avec les valeurs limites d'immission pour l'année 2021**

Quotient déduit de la concentration mesurée en 2021 et de la valeur limite d'immission pour les polluants atmosphériques, à partir des données des stations de mesure de la Confédération, des cantons et des villes. Les valeurs limites en moyenne journalière et horaire admettent un seul dépassement par an (3 dépassements pour les PM10), ce qui explique qu'on utilise la deuxième, resp. la quatrième, plus grande valeur mesurée pour établir la comparaison avec la valeur limite. Polluants : dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>), ozone (O<sub>3</sub>), poussières fines (PM10 et PM2,5). Grandeurs clés : percentiles des moyennes semi-horaires (P95, P98), moyennes horaires (1h), moyennes journalières (24h) et moyennes annuelles (1y).



## 1.2 Répartition spatiale de la pollution atmosphérique

Les concentrations mesurées des polluants et les cartes modélisées ont permis d'interpoler la distribution spatiale de la pollution atmosphérique.

### Dioxyde d'azote

La figure 2 montre la distribution spatiale des moyennes annuelles en 2021 pour le dioxyde d'azote. Les valeurs limites d'immission dans les villes et les agglomérations ne sont plus dépassées qu'à proximité des axes routiers très fréquentés. A l'écart des axes routiers, les concentrations de NO<sub>2</sub> sont en général en-dessous des VLI. Dans les régions rurales – exception faite des corridors le long des autoroutes – les valeurs limites pour le dioxyde d'azote sont respectées. Étant donné que la moyenne est calculée sur quelques cellules seulement de la grille du modèle, il n'est pas possible de représenter les pics proches des sources d'émission, telles les routes très fréquentées.

### Poussières fines

La figure 3 montre la distribution spatiale des moyennes annuelles en 2021 pour les poussières fines (PM<sub>2,5</sub>). La concentration de poussières fines respirables avoisine la valeur limite d'immission dans certaines régions urbaines, mais se situe en dessous à la campagne. Les concentrations les plus fortes sont mesurées au Tessin. Le contraste ville-campagne est moins prononcé pour les poussières fines que pour le dioxyde d'azote, et ce pour deux raisons : plus de la moitié de la charge de PM<sub>2,5</sub> est composée de particules fines secondaires (aérosols secondaires), qui ne se forment dans l'atmosphère qu'une fois loin des sources des précurseurs, ce qui explique l'homogénéité de leur distribution spatiale. Ces composants secondaires sont le sulfate issu du dioxyde de soufre, le nitrate issu des oxydes d'azote, l'ammonium issu de l'ammoniac et enfin les composants organiques des particules fines issus des composés organiques volatils. La seconde raison est que les poussières fines sont transportées sur de grandes distances.

### Ozone

En 2021, durant les périodes où le smog estival recouvrait toute la Suisse, les charges d'ozone étaient supérieures aux valeurs limites et les dépassaient parfois même considérablement. L'évaluation des charges d'ozone se fait sur la base du percentile 98 des moyennes semi-horaires du mois d'été durant lequel la charge d'ozone est la plus forte et pour lequel le percentile 98 ne doit pas dépasser 100 µg/m<sup>3</sup>. Ce percentile indique la concentration qui est dépassée pendant 15 heures en l'espace d'un mois. La valeur limite est nettement dépassée dans la majeure partie du pays (fig. 4). Le long des routes, les taux d'ozone sont parfois plus bas, car le monoxyde d'azote, qui a la propriété de réduire l'ozone en se transformant en dioxyde d'azote, est présent. Ainsi, les stations de mesure au centre des villes, qui enregistrent les concentrations d'ozone les plus faibles, sont aussi celles qui recensent les taux les plus élevés de dioxyde d'azote.

### Composés azotés

Outre les valeurs limites d'immission de l'OPair, les charges critiques des dépôts d'azote (critical loads) dans les écosystèmes sensibles doivent également être respectées. La CEE-ONU a défini ces charges critiques dans le cadre de la Convention de Genève sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance afin d'éviter l'acidification et l'eutrophisation. Afin de déterminer les dépôts d'azote, on mesure l'ammoniac et d'autres composés azotés et on procède à la modélisation des dépôts d'azote. Les dépôts d'azote sont encore trop importants dans une partie des écosystèmes naturels de Suisse. La biodiversité est donc menacée dans ces régions.

Fig. 2 : Carte des moyennes annuelles de dioxyde d'azote pour l'année 2021 (valeur limite 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

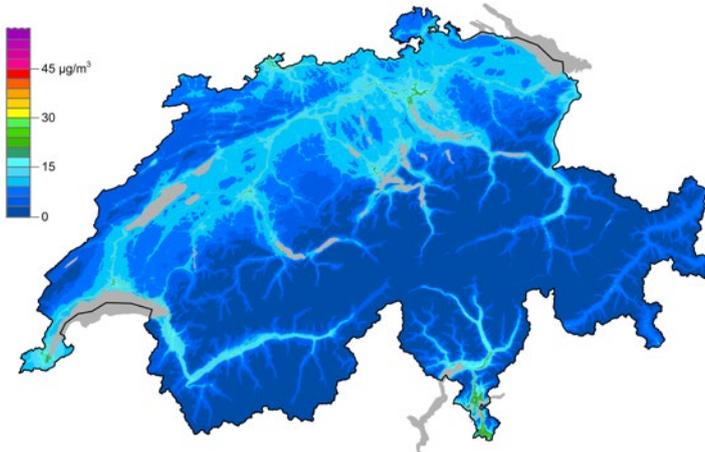
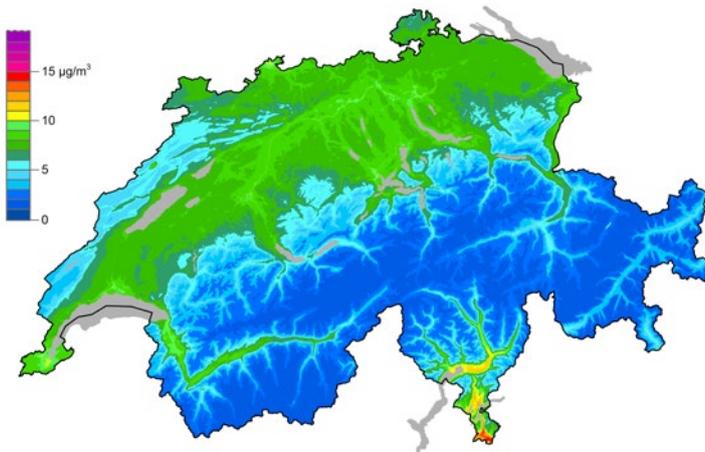


Fig. 3 : Carte des moyennes annuelles de poussières fines (PM<sub>2,5</sub>) pour l'année 2021 (valeur limite 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



---

## 2 Pollution atmosphérique aux stations NABEL en 2021

*Le réseau NABEL mesure la pollution de l'air en Suisse à 16 emplacements. Les stations mesurent la charge à des endroits caractéristiques (p. ex. routes du centre-ville, zones d'habitation, stations rurales). Une description détaillée des stations NABEL figure en annexe.*

### 2.1 Comparaison avec les valeurs limites d'immission

Le tableau 1 présente la comparaison d'une sélection de valeurs mesurées par le réseau NABEL en 2021 avec les valeurs limites d'immission de l'OPair. Les dépassements des valeurs limites de l'ozone et des poussières fines ressortent aussi bien des stations NABEL que de la récapitulation de toutes les stations de mesure suisses. Aucune des stations NABEL ne se trouve à proximité immédiate d'une grande installation industrielle, si bien qu'il n'a été mesuré aucune forte pollution due au dioxyde de soufre ou aux métaux lourds, comme on en constate à certaines stations de mesure cantonales.

Les valeurs limites d'ozone ont été dépassées à toutes les stations NABEL en 2021 et les plus fortes charges sont mesurées au Tessin, aux stations de Lugano et de Magadino plus précisément. C'est le Tessin qui a également enregistré la moyenne horaire la plus élevée, à savoir  $191 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , alors que le pic relevé au nord des Alpes était de  $174 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . La valeur limite en moyenne annuelle pour les  $\text{PM}_{2,5}$  est dépassée à deux stations du réseau NABEL. La valeur limite moyenne journalière pour les  $\text{PM}_{10}$  a été dépassée sur huit stations NABEL, les fréquents épisodes de poussières du Sahara ont contribué à cette situation. Les valeurs limites pour le dioxyde d'azote ne sont dépassées à aucune station NABEL. Les valeurs limites de l'OPair pour d'autres polluants sont respectées à toutes les stations NABEL. À preuve, les valeurs mesurées pour le dioxyde de soufre, le monoxyde de carbone et les métaux lourds sont nettement en dessous des valeurs limites d'immission.

**Tab. 1 : Valeurs mesurées aux stations NABEL pour l'année 2021**

Polluants : dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>), dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>), ozone (O<sub>3</sub>), poussières fines (PM10 et PM2,5).

Paramètres statistiques : moyenne annuelle (m.a.), nombre de moyennes journalières supérieures à la valeur limite d'immission (j>VLI), nombre de moyennes horaires supérieures à la valeur limite d'immission (h>VLI), percentile 98 mensuel le plus élevé de la moyenne semi-horaire (P98).

Les dépassements des valeurs limites d'immission sont indiqués en gras.

Type de site	Station	SO <sub>2</sub> m.a. µg/m <sup>3</sup>	NO <sub>2</sub> m.a. µg/m <sup>3</sup>	NO <sub>2</sub> j>VLI	O <sub>3</sub> P98 µg/m <sup>3</sup>	O <sub>3</sub> h>VLI	PM10 m.a. µg/m <sup>3</sup>	PM10 j>VLI	PM2,5 m.a. µg/m <sup>3</sup>
Urbain, trafic	BER	–	28	0	<b>120</b>	<b>23</b>	18	4	9,9
	LAU	–	26	0	<b>114</b>	<b>11</b>	14	4	9,1
Urbain	LUG	1,7	22	0	<b>168</b>	<b>462</b>	16	5	<b>11,0</b>
	ZUE	0,6	21	0	<b>139</b>	<b>140</b>	13	3	9,0
Suburbain	BAS	0,7	15	0	<b>146</b>	<b>134</b>	12	3	8,9
	DUE	0,4	19	0	<b>140</b>	<b>128</b>	13	3	8,6
Rural, autoroute	HAE	0,5	26	0	<b>129</b>	<b>81</b>	14	3	9,3
	SIO	–	26	1	<b>118</b>	<b>18</b>	16	3	8,0
Rural, altitude <1000 m	MAG	1,2	14	0	<b>156</b>	<b>274</b>	16	5	<b>10,4</b>
	PAY	0,3	9,5	0	<b>135</b>	<b>114</b>	11	3	7,7
	TAE	–	9,2	0	<b>139</b>	<b>125</b>	11	3	7,6
	BRM	–	7,0	0	<b>148</b>	<b>224</b>	9,8	3	–
Rural, altitude >1000 m	CHA	–	4,0	0	<b>142</b>	<b>255</b>	7,1	4	–
	RIG	0,21	4,5	0	<b>148</b>	<b>186</b>	7,6	5	4,9
	DAV	–	2,7	0	<b>109</b>	0	5,5	5	–
Haute montagne <sup>1</sup>	JUN	0,10	0,17	0	<b>104</b>	0	4,3	4	–
<b>Valeur limite d'immission</b>		<b>30</b>	<b>30</b>	<b>1</b>	<b>100</b>	<b>1</b>	<b>20</b>	<b>3</b>	<b>10</b>

1 Série incomplète (au mois de mai des travaux importants de rénovation ont nécessité la mise hors service des appareils de mesures).

### 3 Particularités de l'année 2021

Les mesures de polluants atmosphériques peuvent être fortement influencées par des émissions locales de courte durée ou en fonction des conditions météorologiques.

Des étincelles de lumière et des étoiles colorées illuminent la nuit de la Saint Sylvestre. Pour célébrer la nouvelle année, des fusées, des volcans, des pétards et de nombreux autres feux d'artifice sont tirés. Cela s'est traduit par une forte augmentation des taux de particules fines lors du changement d'année 2021 / 2022, en particulier dans la région de Zurich. Des valeurs de 300 microgrammes par mètre cube d'air ont été brièvement mesurées à la station NABEL de Dübendorf (fig. 4). Des valeurs élevées de poussières fines ont été observées jusqu'au matin du 2 janvier 2022. Dans d'autres régions, l'influence des feux d'artifice était moins prononcée.

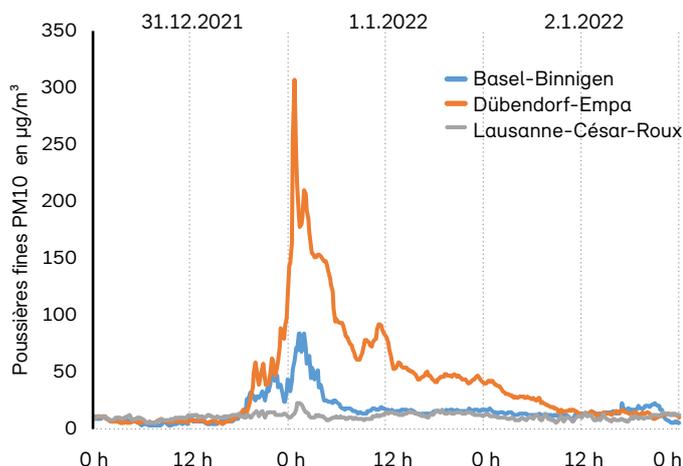
Parallèlement avec les valeurs de poussières fines, les concentrations de nombreux éléments connus pour être contenus dans les feux d'artifice augmentent. C'est ce que montre un appareil de mesure utilisé temporairement

à Dübendorf, qui peut mesurer la concentration de métaux et d'autres éléments avec une résolution horaire (fig. 5). Vers minuit, les éléments potassium (K) et soufre (S) contenus dans la poudre noire augmentent fortement, tout comme l'élément chlore (Cl), qui provient des perchlorates utilisés comme agents oxydants. L'aluminium (Al) et le titane (Ti) utilisés comme combustibles produisent des étincelles d'un éclat argenté. On trouve également dans l'air des métaux responsables des couleurs : le baryum (Ba) pour les effets lumineux verts, le strontium (Sr) pour les rouges et le cuivre (Cu) pour les bleus.

Les rapports de ces éléments entre eux correspondent à l'ordre de grandeur connu pour les teneurs des feux d'artifice. Aucune augmentation n'a été constatée pour les métaux particulièrement préoccupants que sont le mercure, le cadmium et le plomb. Même les moyennes horaires les plus élevées pour l'arsenic et le nickel se situent dans le domaine de la valeur cible de l'UE, qui s'applique à la moyenne annuelle, ou en dessous. Il n'existe pas de valeur limite à ce sujet pour la Suisse.

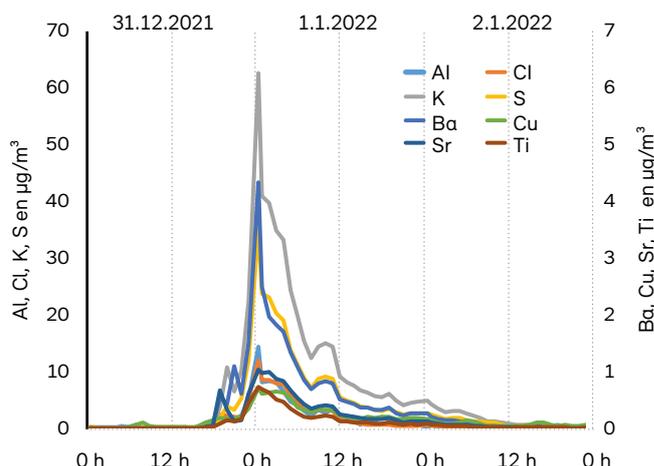
**Fig. 4 : Evolution des valeurs de poussières fines au cours du changement d'année dans trois stations NABEL**

Sont représentées les moyennes sur 10 minutes des PM10 en microgrammes par mètre cube d'air entre le jour de l'an 2021 à 12 heures et le 2 janvier 2022 à minuit pour les stations NABEL de Bâle-Binningen, Dübendorf-Empa et Lausanne César Roux.



**Fig. 5 : Evolution de la concentration d'éléments typiques de feux d'artifice au cours du changement d'année 2021-2022 à la station NABEL de Dübendorf**

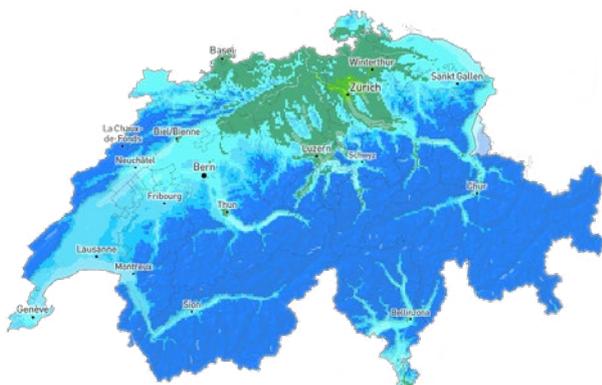
Sont représentées les valeurs moyennes sur 1 heure des éléments aluminium (Al), chlore (Cl), potassium (K) et soufre (S) sur l'axe de gauche et du baryum (Ba), cuivre (Cu), strontium (Sr) et titane (Ti) sur l'axe de droite, en microgrammes par mètre cube d'air.



Avec les activités des feux d'artifice, les concentrations de PM10 ont dépassé les 50 microgrammes par mètre cube d'air dans certaines stations de mesure en Suisse le jour de l'an 2022 (figure 6). Cette valeur ne doit pas être dépassée plus de trois jours par an. Une forte inversion hivernale a probablement contribué à ces valeurs élevées. En 2021, les valeurs de poussières fines au Nouvel An se situaient à un niveau bas, aucune moyenne journalière supérieure à 50 microgrammes par mètre cube d'air n'avait été enregistrée. En Suisse, les «jours de feux d'artifice» influencent typiquement la charge de poussières fines PM10 en moyenne annuelle d'environ 1 à 2 % par rapport à la valeur limite d'immission de 20 microgrammes par mètre cube d'air.

**Fig. 6: Pollution par les particules fines (moyenne journalière) le jour de l'an 2022**

*Sont représentées les valeurs moyennes sur 24 heures, telles qu'elles ont été modélisées pour la Suisse par interpolation spatiale des valeurs mesurées par le réseau NABEL et les stations de mesure cantonales et urbaines.*



# 4 Évolution et conséquences

Les stations NABEL assurent un suivi de la charge des polluants atmosphériques depuis plusieurs dizaines d'années. Elles ont noté une nette diminution de cette charge pour la plupart des polluants. Comme les polluants atmosphériques peuvent porter atteinte non seulement à la santé humaine, mais aussi à la végétation et aux matériaux, l'amélioration de la qualité de l'air ne peut être qualifiée que de positive.

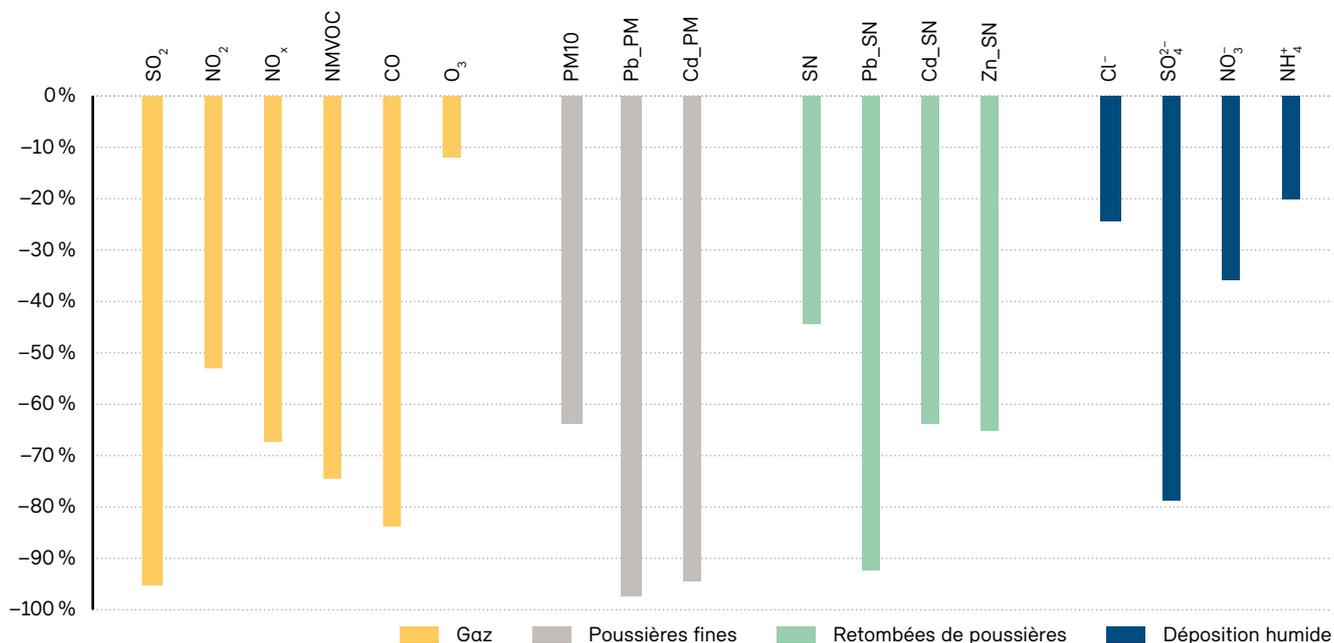
## 4.1 Évolution de la pollution atmosphérique

La figure 7 présente une vue d'ensemble de l'évolution moyenne de la pollution atmosphérique enregistrée aux stations NABEL depuis 1988. Tous les polluants affichent une diminution. Les gaz émis directement comme le dioxyde de soufre, les oxydes d'azote, les composés organiques volatils et le monoxyde de carbone montrent

une diminution sensible des concentrations au cours des dernières décennies. Les substances qui se forment dans l'atmosphère par processus chimiques, comme le dioxyde d'azote et l'ozone, ont cependant moins diminué que leurs précurseurs, ce qui peut s'expliquer par la complexité des réactions chimiques dans l'atmosphère. Ainsi, pour l'ozone, les valeurs des pics ont certes baissé, mais la charge moyenne est restée stable. La figure 7 montre aussi que les concentrations de poussières fines et de métaux lourds qu'elles contiennent ont également nettement diminué depuis la fin des années 1980. Aujourd'hui, les poussières fines contiennent près de 50 fois moins de plomb qu'il y a 30 ans. Les retombées de poussières et les dépôts de métaux lourds sont aussi en baisse. La teneur en sulfate des précipitations a aussi sensiblement régressé, tandis que la baisse du nitrate et de l'ammonium, deux composés azotés réactifs, est bien moins marquée.

**Fig. 7 : Changement de la pollution atmosphérique entre 1988 et 2021**

Les données des stations NABEL (à l'exception de celles de Davos et du Jungfraujoch) avec des séries de mesures continues ont été moyennées et la baisse a été déterminée par adaptation d'un modèle exponentiel. Polluants : dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>), monoxyde de carbone (CO), dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>), oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>), composés organiques volatils non méthaniques (COVNM), monoxyde de carbone (CO), ozone (O<sub>3</sub>), poussières fines (PM10), plomb dans les PM10 (Pb\_PM10), cadmium dans les PM10 (Cd\_PM10), retombées de poussières (RP), plomb dans les RP (Pb\_RP), cadmium dans les RP (Cd\_RP), chlorure dans les précipitations (Cl<sup>-</sup>), sulfate dans les précipitations (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), nitrate dans les précipitations (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), ammonium dans les précipitations (NH<sup>+</sup>).



## 4.2 Conséquences de la pollution atmosphérique

Il est prouvé que la pollution de l'air est une cause de maladies et de décès prématurés. Les polluants atmosphériques peuvent avoir des effets nocifs sur la santé humaine, et ce déjà à partir de concentrations similaires à celles présentes en Suisse. Les différents organes sont plus ou moins sensibles aux divers polluants. Des concentrations accrues de polluants dans l'air entraînent une diminution de l'espérance de vie causée par des affections des voies respiratoires, comme le cancer du poumon, ainsi que des maladies cardiovasculaires. Des études américaines sont cependant arrivées à la conclusion réjouissante que la réduction de la concentration de poussières fines dans l'air dans les années 1980 et 1990 a contribué à hauteur d'environ 15 % à l'augmentation de l'espérance de vie observée dans le pays.

Les poussières fines ont un effet direct sur les voies respiratoires. Les particules d'un diamètre d'environ 10 µm peuvent pénétrer jusque dans les bronches et les particules encore plus fines, jusque dans les alvéoles. Les substances polluantes peuvent alors y provoquer des réactions inflammatoires, qui se manifestent par de la toux accompagnée d'expectorations. Des études scientifiques ont démontré par ailleurs que les poussières fines constituent un facteur de risque important dans le développement de maladies cardiovasculaires.

Le dioxyde d'azote cause des inflammations des voies respiratoires et renforce l'action irritante des allergènes. Lors des pics momentanés de concentration de NO<sub>2</sub> dans l'air, on constate un nombre accru de décès et d'hospitalisations pour affection des voies respiratoires ainsi qu'un nombre accru de troubles du rythme cardiaque.

L'ozone provoque surtout des effets aigus, comme des irritations des yeux, du nez, de la gorge et des voies respiratoires, un serrement et une pression sur la poitrine ainsi que de la toux. En outre, les fonctions pulmonaires et la performance physique diminuent et le taux de mortalité s'accroît.

La suie, le benzène, les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) ainsi que le cadmium, le plomb et

l'amiante font partie des polluants atmosphériques cancérogènes. Ils sont toxiques pour l'être humain à partir de doses infimes puisqu'il n'y a pas de seuil de non-toxicité. Dans les villes et les agglomérations, ce sont les particules de suie du diesel qui contribuent le plus au risque de cancer dû aux polluants atmosphériques.

Des études menées dans le cadre de SAPALDIA et de SCARPOL ont montré que la santé des adultes et des enfants s'améliore rapidement lorsque la pollution de l'air diminue. Les mesures prises pour améliorer la qualité de l'air ont donc un impact positif mesurable sur la santé de la population.

Par ailleurs, la pollution provoque aussi une déstabilisation et un affaiblissement des écosystèmes sensibles. La charge estivale en ozone cause périodiquement des dommages visibles aux feuilles des arbres, aux arbustes et aux cultures. Une charge d'ozone persistante peut porter atteinte à la croissance et à la vitalité d'espèces de plantes sensibles. Selon une étude récente d'Agroscope, les pertes de récolte moyennes se situent aux environs de 3 % pour le blé en Suisse, mais peuvent aussi dépasser 10 % en fonction de la région et de l'année. Les dépôts accrus de polluants atmosphériques azotés (oxydes d'azote et ammoniac) conduisent à la surfertilisation des écosystèmes sensibles et à l'acidification des sols. Ceci affecte les régimes nutritionnels et la croissance des plantes et génère un appauvrissement de la diversité des espèces. Dans les écosystèmes initialement à faible teneur en azote tels que les prairies naturelles riches en espèces et les pelouses sèches, les pâturages alpestres ainsi que les hauts-marais et les bas-marais, ces apports d'azote peuvent entraîner la disparition des certaines espèces typiques de plantes.

Les dégâts aux bâtiments sont causés principalement par des acides (produits à partir du dioxyde de soufre et du dioxyde d'azote). La suie salit les surfaces extérieures. Ces polluants ont fortement diminué en Suisse au cours des dernières décennies. Les matériaux organiques, comme les peintures, les vernis, le caoutchouc, les plastiques ou les fibres textiles, peuvent être attaqués et décolorés par des oxydants photochimiques comme l'ozone. La pollution de l'air peut également causer des dégâts aux monuments historiques.

# 5 Polluants atmosphériques

## 5.1 Poussières fines et composition

### Poussières fines : PM10 et PM2,5

Les particules existent dans des tailles très différentes. TSP dénote la totalité des particules en suspension, PM10 les particules d'un diamètre inférieur à 10 µm et PM2,5 les particules d'un diamètre inférieur à 2,5 µm. Du point de vue de l'hygiène de l'air, on s'intéresse plus particulièrement aux poussières fines respirables, mais on mesure également les particules à gros grains, en tant que retombées de poussières. La composition des poussières est très variable. Elles peuvent contenir de nombreux composés inorganiques (p. ex. métaux lourds, sulfates, nitrates) ou organiques (p. ex. hydrocarbures aromatiques polycycliques). On classe aussi parmi les poussières les particules de suie, composées essentiellement de carbone.

Les particules fines, y compris celles qui peuvent pénétrer dans les poumons, sont recensées comme poussières en suspension (PM10). Celles-ci peuvent être émises directement sous la forme de particules (émissions primaires), mais elles peuvent aussi être constituées d'éléments

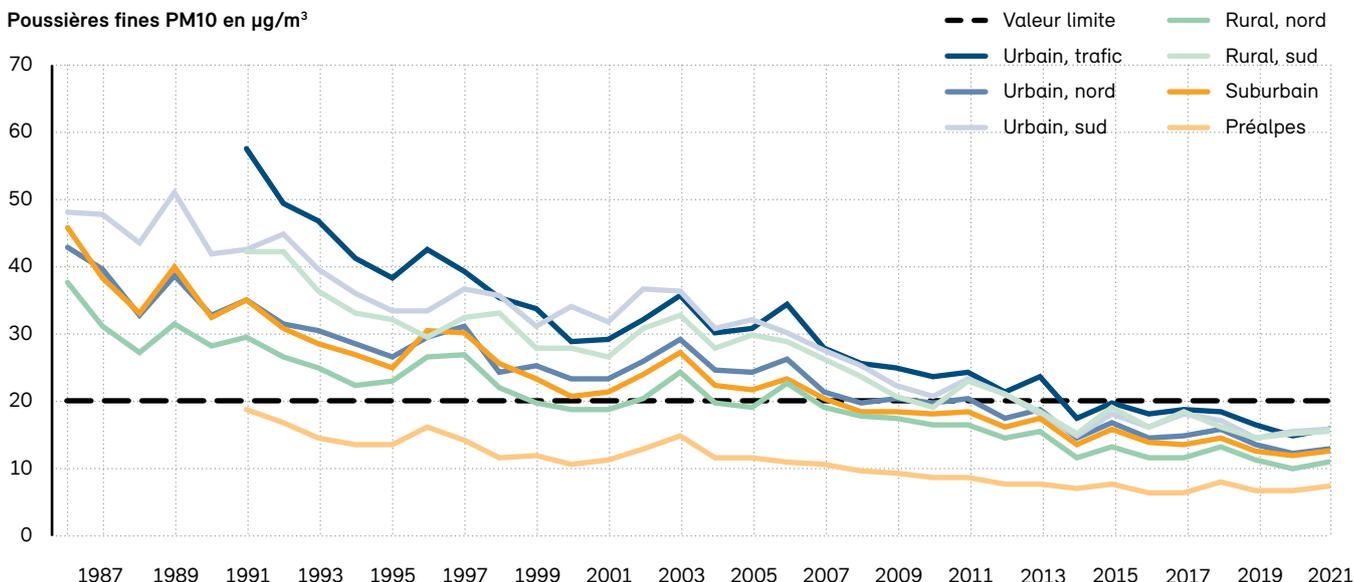
secondaires issus de la transformation physique ou chimique de gaz précurseurs dans l'atmosphère.

La figure 8 présente les moyennes annuelles de PM10. La charge de PM10 a diminué depuis 1991. Ce recul est à imputer, d'une part, à la diminution des particules secondaires (le sulfate en particulier) et, d'autre part, à la baisse des émissions de particules primaires. Durant les années 2003 et 2006, des phases d'inversions fréquentes au nord des Alpes ont provoqué des charges de PM10 plus élevées en hiver.

La figure 9 affiche les moyennes annuelles de PM2,5. Depuis 1998, les charges de PM2,5 ont diminué d'environ d'environ 50 % et se situent aujourd'hui en dessous de 10 µg/m<sup>3</sup> dans le nord des Alpes. La figure 10 montre le rapport entre les PM2,5 et les PM10, les premières comptant pour environ 70 % pour la plupart des stations du Plateau. Seule la station exposée au trafic dans un canyon urbain a révélé des rapports plus faibles. La charge des poussières y est accrue en raison des particules grossières dégagées par l'abrasion et l'effet de tourbillonnement. Il en va de même en Valais, où

Fig. 8 : Moyennes annuelles des poussières fines (PM10)

Les concentrations mesurées dans les différentes stations NABEL sont regroupées en ensembles de charges polluantes similaires. Les valeurs d'avant 1997 ont été calculées à partir de mesures des TSP.



les conditions sèches entraînent des concentrations élevées de poussières minérales dans l'air.

**Composants des PM10**

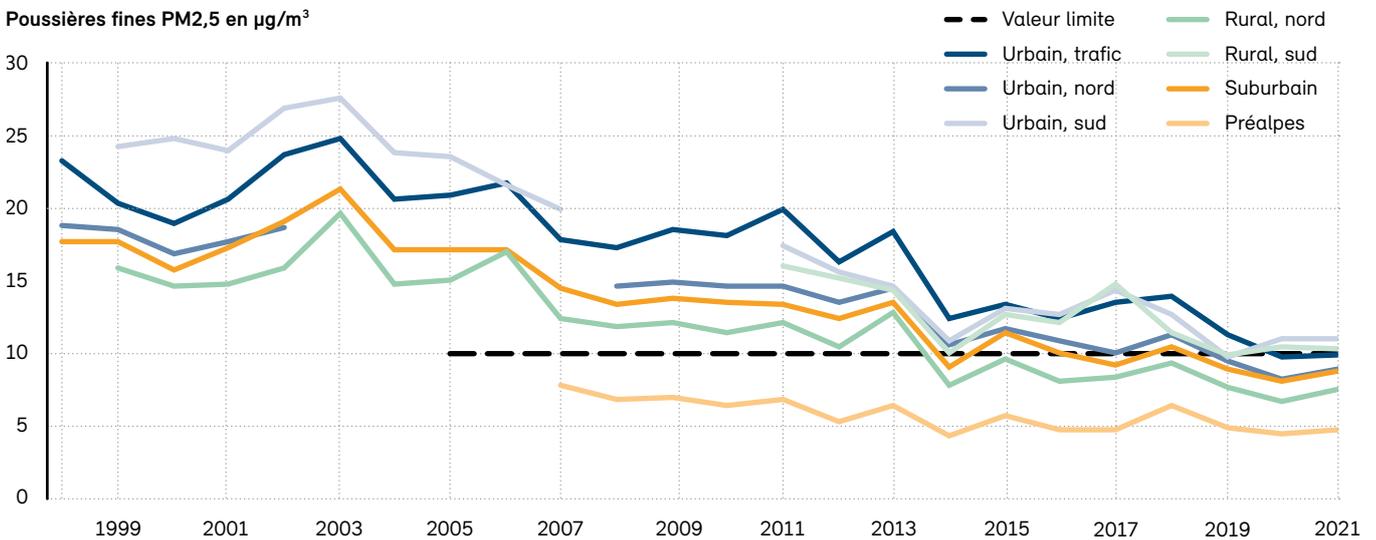
En Suisse, les poussières fines mesurées dans l'air contiennent une multitude de composants chimiques différents. Les métaux lourds, la suie ainsi que certains

hydrocarbures aromatiques polycycliques tels que le benzo(a)pyrène sont, entre autres, considérés comme particulièrement dangereux pour la santé.

**Suie**

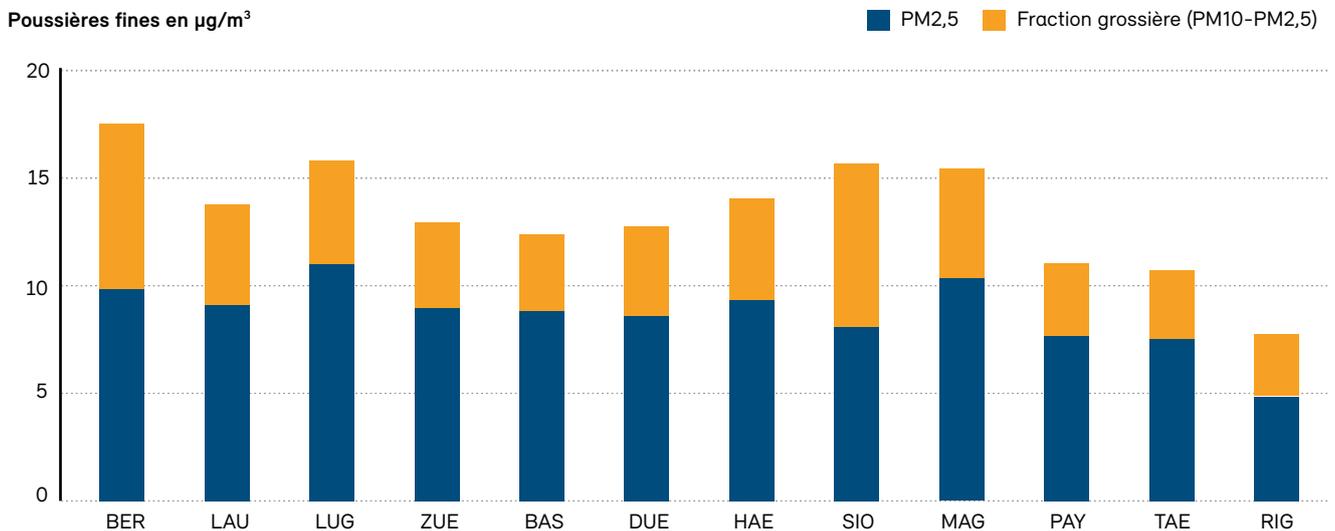
La figure 11 indique une forte baisse des concentrations de suies au cours des dernières années. La teneur en suie

**Fig. 9 : Moyennes annuelles des poussières fines (PM2,5)**



**Fig. 10 : Concentrations de PM2,5 et fraction grossière en 2021**

Doze stations NABEL mesurent aussi la fraction de poussières fines PM2,5. D'autres indications sur les différentes stations figurent au tableau 2 en annexe.



est nettement plus élevée le long des routes fortement fréquentées qu'en milieu urbain ou suburbain. De plus, le long des routes fortement fréquentées, la suie constitue une part (env. 6 %) plus importante de la concentration massique des PM<sub>2,5</sub> qu'aux endroits qui ne sont pas directement exposés au trafic, où cette part est d'environ 5 %.

### Benzo(a)pyrène

Les stations NABEL ont enregistré une diminution de la concentration de benzo(a)pyrène depuis 2006. Ces dernières années, cette concentration se situait, dans l'ensemble des stations prises en considération, en dessous de la valeur cible européenne de 1 ng/m<sup>3</sup>. Les plus fortes charges de benzo(a)pyrène ont été mesurées dans des régions rurales du sud des Alpes (Magadino-Cadenazzo 0,48 ng/m<sup>3</sup>). Des concentrations plus élevées sont mesurées dans des villages où le chauffage au bois est très répandu.

### Métaux lourds

La teneur en métaux lourds des poussières fines PM<sub>10</sub> est en dessous de la valeur limite d'immission à toutes les stations NABEL. De même, les valeurs limites d'immission pour les retombées totales de métaux lourds aux stations NABEL sont respectées depuis des années.

### Poussières ultrafines

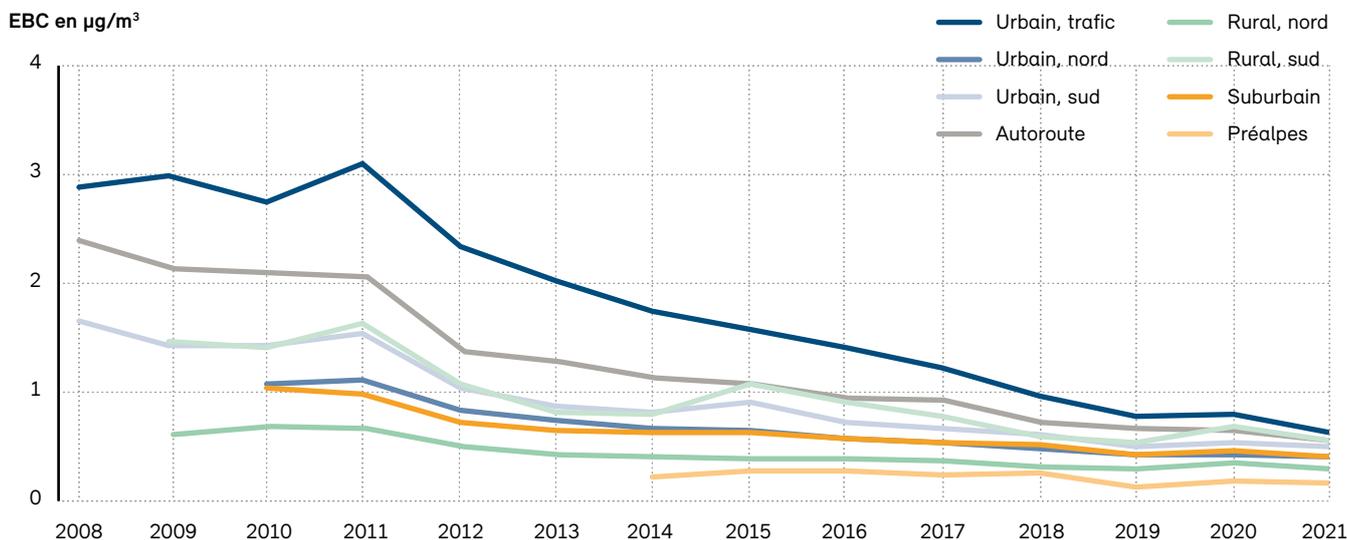
Les poussières ultrafines (inférieures à 0,1 micromètre) peuvent pénétrer profondément dans les poumons et traverser la barrière air-tissu pour aboutir dans la circulation sanguine où elles provoquent des inflammations. À certaines stations NABEL, les concentrations en nombre de poussières ultrafines sont mesurées depuis 2005. (fig. 12). Tout comme pour les PM<sub>10</sub> (fig. 8) et le NO<sub>2</sub> (fig. 15), les concentrations les plus élevées sont mesurées à proximité des axes routiers où l'on enregistre de fortes variations interannuelles.

## 5.2 Ozone

L'ozone est un gaz incolore, à l'odeur légèrement piquante et faiblement soluble dans l'eau. Il est l'un des principaux gaz présents à l'état de trace dans l'atmosphère terrestre et joue un rôle central dans trois problèmes environnementaux majeurs : le smog estival, le « trou d'ozone » et l'effet de serre.

En été, des concentrations excessives d'ozone se forment à proximité du sol. L'ozone anthropique présent dans les couches d'air proches du sol n'est pas directement émis sous cette forme. Il est synthétisé dans l'atmosphère au cours de réactions photochimiques subies par des pol-

Fig. 11 : Moyennes annuelles de suie (EBC = equivalent black carbon)



luants dits précurseurs, en l'occurrence les oxydes d'azote et les composés organiques volatils. Les taux excessifs d'ozone à proximité du sol sont surtout la conséquence des émissions anthropiques d'oxydes d'azote et de composés organiques volatils.

L'ozone est l'un des oxydants les plus puissants. Ces propriétés lui valent d'être particulièrement nocif pour les tissus humains, animaux et végétaux ainsi que pour les matériaux. Chez l'être humain, l'ozone s'attaque surtout aux voies respiratoires et aux tissus pulmonaires.

Par « trou d'ozone », on entend la dégradation de l'ozone dans les couches les plus élevées de l'atmosphère (stratosphère : 10 à 50 km d'altitude). Cette couche d'ozone protège les êtres humains et les écosystèmes contre un rayonnement UV trop intense. Cet ozone est dégradé par les substances organiques halogénées à longue durée de vie (p. ex. les CFC).

En plus des rayons UV, l'ozone absorbe également les rayons infrarouges. Présent à l'état de trace dans la stratosphère et dans la troposphère, il fait ainsi partie des

Fig. 12 : Moyennes annuelles des concentrations en nombre de poussières ultrafines

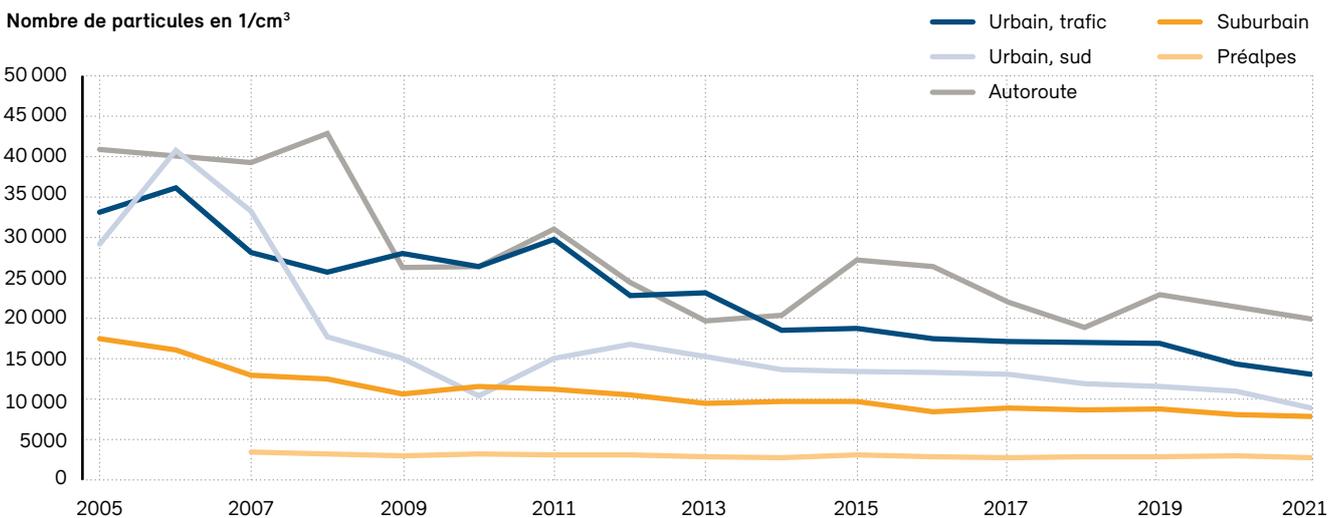
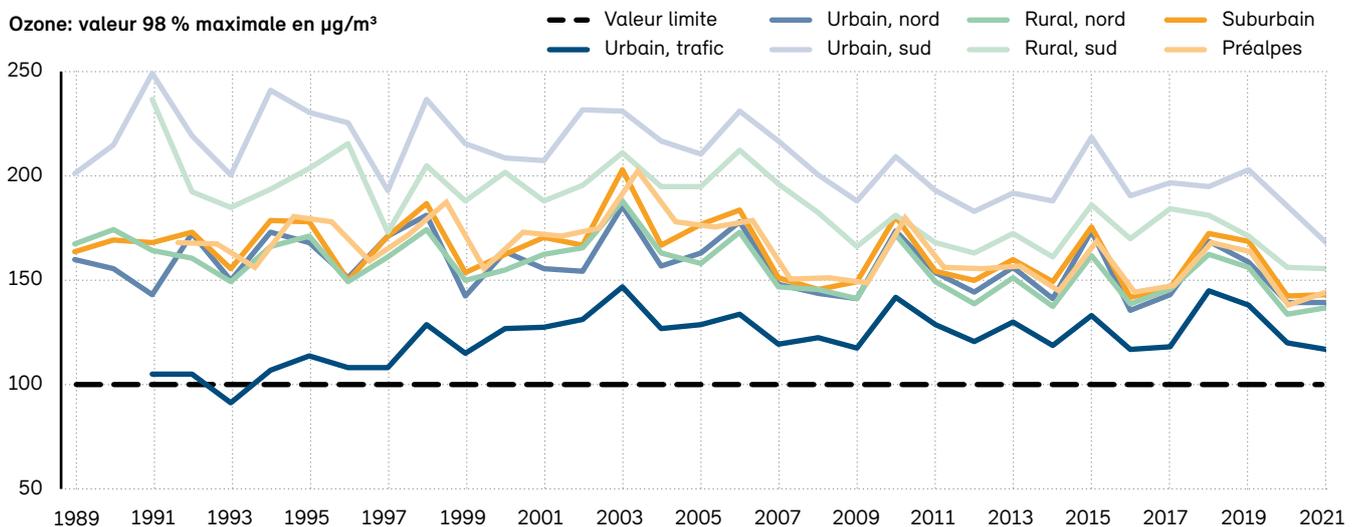


Fig. 13 : Percentile 98 mensuel le plus élevé des moyennes semi-horaires pour l'ozone



gaz qui influencent le climat. Toutefois, sa durée de vie est relativement courte.

La figure 13 dessine l'évolution de la charge d'ozone proche du sol avec le percentile 98 mensuel le plus élevé des moyennes semi-horaires. La plupart des stations en Suisse ont enregistré une baisse de cette valeur au cours des dernières décennies, mais elle reste toutefois à un niveau trop élevé. L'ozone suit un parcours annuel typique qui est fondamentalement différent de celui de la plupart des polluants. Les concentrations mesurées en été sont sensiblement plus élevées qu'en hiver. La représentation des percentiles 98 mensuels (fig. 14) montre que les valeurs les plus élevées apparaissent en été, car le fort rayonnement du soleil favorise la formation d'ozone.

### 5.3 Composés azotés

Les principaux composés d'azote intéressants du point de vue de la protection de l'air sont le monoxyde d'azote et le dioxyde d'azote. La somme de ces deux substances est désignée par oxydes d'azote. Le monoxyde d'azote est un gaz incolore et inodore, tandis que le dioxyde d'azote présente une teinte brun-rouge ; lorsqu'il est concentré, son odeur est piquante et il est irritant. En outre, les oxydes

d'azote jouent un rôle dans la formation du nitrate, qui contribue à la charge de poussières fines.

Les émissions d'oxydes d'azote sont formées lors de la combustion de carburants et de combustibles fossiles, surtout lorsque la température de combustion est élevée ; les molécules sont synthétisées à partir de l'azote et de l'oxygène atmosphériques et lors de la combustion des composés azotés contenus dans la biomasse. En fait, la majeure partie des oxydes d'azote sont émis sous forme de monoxyde, qui, une fois dans l'air, se transforme assez rapidement en dioxyde d'azote, plus toxique.

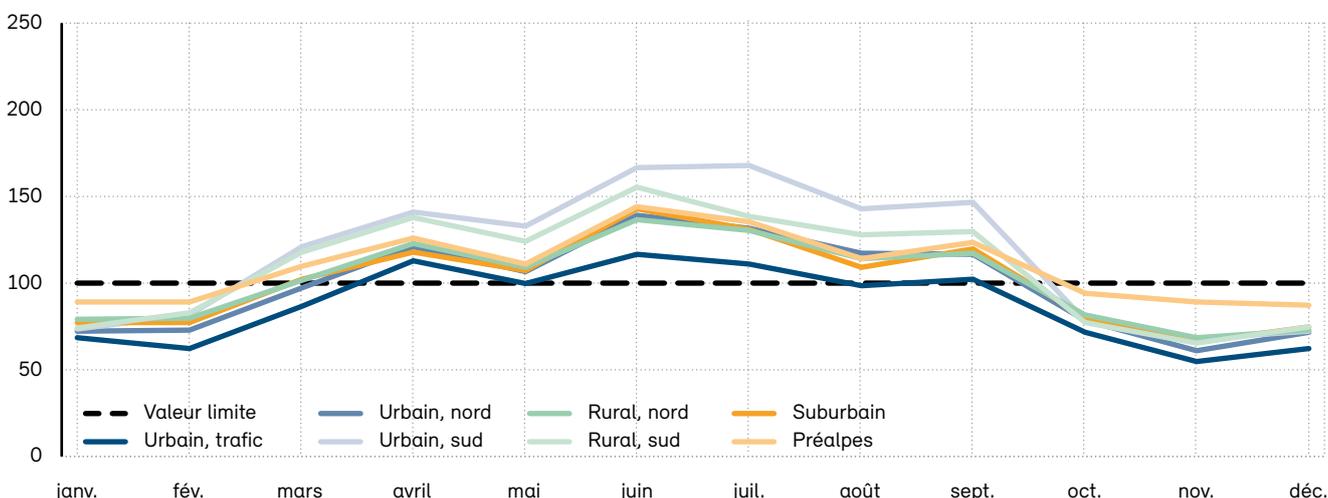
C'est surtout le dioxyde d'azote qui produit des effets nuisibles pour l'être humain. Il favorise, conjointement avec d'autres gaz irritants, les affections des voies respiratoires. En outre, les oxydes d'azote sont des précurseurs de l'ozone troposphérique et des poussières fines. Ils contribuent, avec l'ammoniac, à la surfumure des écosystèmes.

#### Dioxyde d'azote

L'évolution de la charge de dioxyde d'azote est représentée à la figure 15. La concentration de dioxyde d'azote a diminué à toutes les stations au cours des dernières décennies. Les valeurs limites tant annuelle que jour-

Fig. 14 : Percentiles 98 mensuels des moyennes semi-horaires pour l'ozone en 2021

Ozone: valeurs mensuelles 98 % en µg/m³



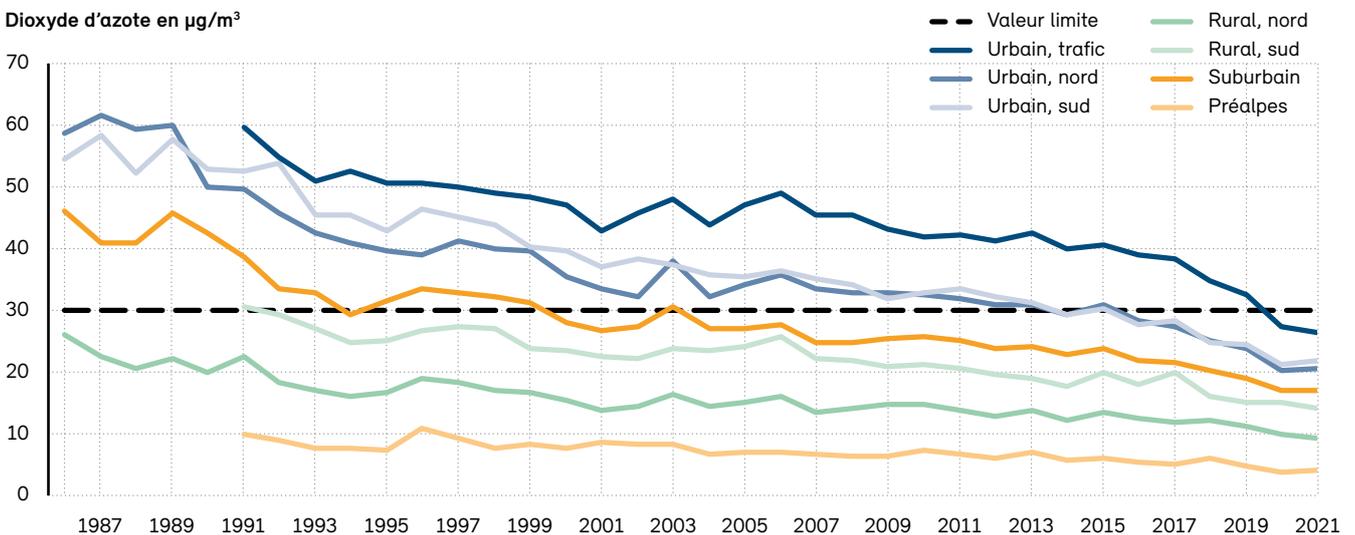
nalière ont été respectées à toutes les stations NABEL en 2021 (cf. tableau 1).

**Ammoniac**

L'ammoniac est issu en majeure partie de l'élevage de bétail. Il est mesuré à trois stations NABEL avec une haute résolution temporelle. Des mesures des concentrations sont effectuées à d'autres stations à l'aide

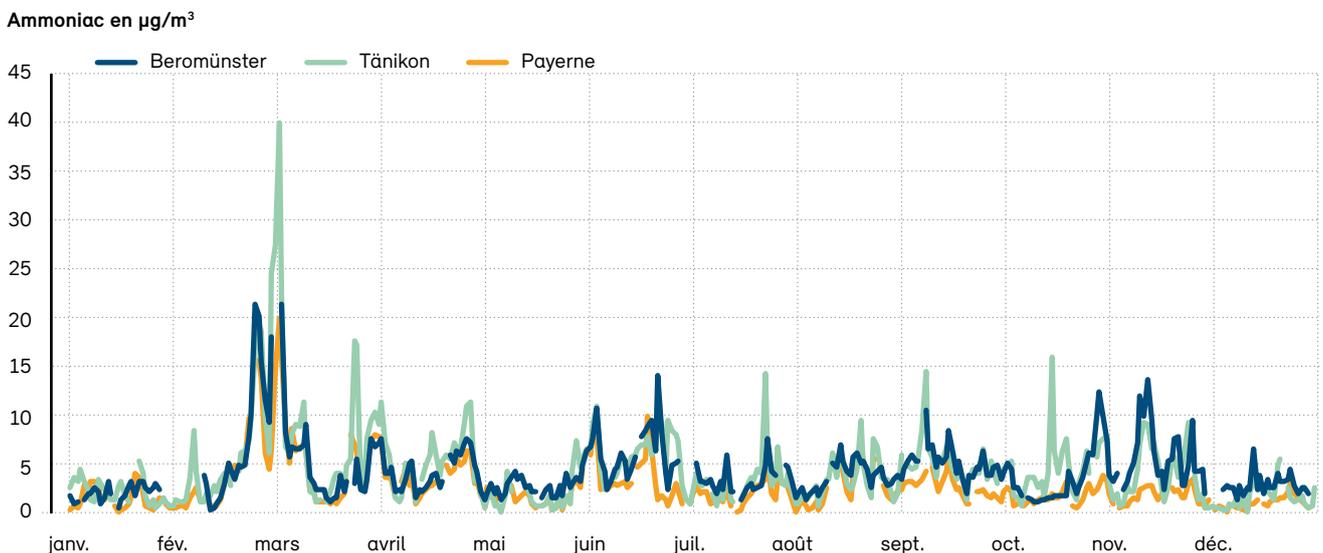
de capteurs passifs. La charge d'ammoniac mesurée aux trois stations était élevée (fig. 16) par rapport aux niveaux critiques recommandés par la convention sur la pollution atmosphérique transfrontière (moyenne annuelle selon le type de végétation entre 1 et 3 µg/m<sup>3</sup> d'ammoniac). Les pics les plus élevés sont relevés pendant les périodes d'épandage de lisier.

**Fig. 15 : Moyennes annuelles de dioxyde d'azote**



**Fig. 16 : Moyennes journalières d'ammoniac en 2021**

L'ammoniac est mesuré à trois stations NABEL situées en milieu rural.



### 5.4 Polluants dans les précipitations

Les polluants primaires émis dans l'air, de même que les polluants secondaires issus de la transformation de ces substances, sont éliminés de l'atmosphère par une série de processus. Les dépôts humides représentent un processus d'élimination important. Cependant, les polluants parviennent également dans le sol par un processus de dépôt sec (sédimentation de particules, dépôts de gaz) et d'interception (dépôt inerte de gouttelettes d'eau et de particules sur la surface de la végétation, appelé également « dépôt occulte »). L'importance relative des différents processus de dépôt dépend de plusieurs facteurs, des composants considérés, des facteurs météorologiques, chimio-atmosphériques et topographiques, ainsi que de la nature de la surface de dépôt (p. ex. la végétation). L'analyse des eaux de pluie permet d'obtenir des informations sur une partie des polluants atmosphériques qui parviennent dans le sol et dans les eaux. À ce sujet, l'ap-

port direct et indirect d'acides, responsable de l'acidification, et l'apport de substances azotées, responsable de l'eutrophisation des écosystèmes sensibles, jouent un rôle particulièrement important.

Le pH est une mesure de la concentration des ions hydrogène (H+) et indique l'acidité de la pluie. Plus le pH est bas, plus la pluie est acide. La valeur du pH résulte de la réaction des composés acides et basiques absorbés par la pluie. Elle a fortement augmenté ces dernières décennies, ce qui signifie que les eaux de pluie sont aujourd'hui moins acides que dans les années 1980 (fig. 17). Ce phénomène résulte notamment de la baisse de la charge de sulfate (fig. 18), qui reflète la forte diminution de la charge de dioxyde de soufre. Les concentrations annuelles d'azote réactif sous forme de nitrate et d'ammonium dans les précipitations ont moins diminué au cours des dernières décennies et à peine sous forme d'ammonium (fig. 19 et 20).

Fig. 17 : Acidité des précipitations (valeur du pH)

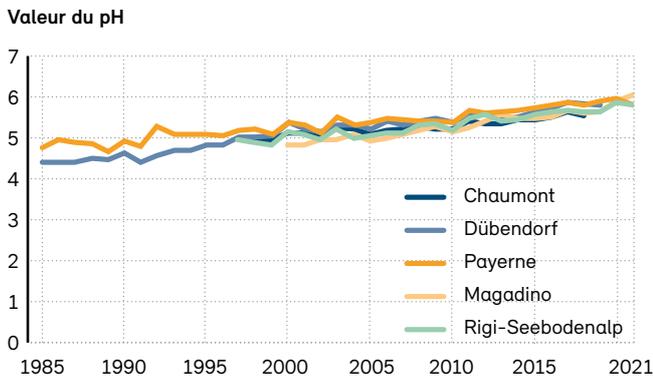


Fig. 18 : Charges annuelles de sulfate dans les précipitations

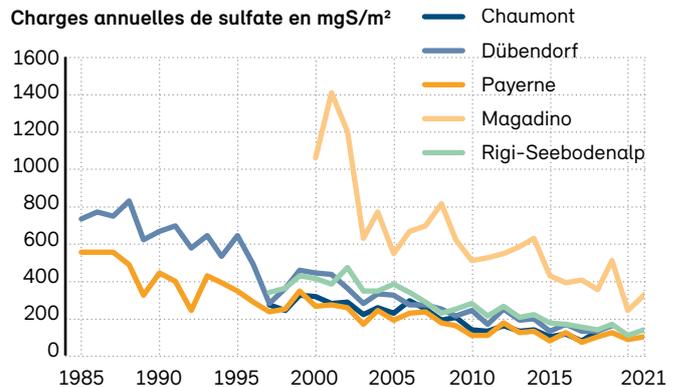


Fig. 19 : Charges annuelles de nitrate dans les précipitations

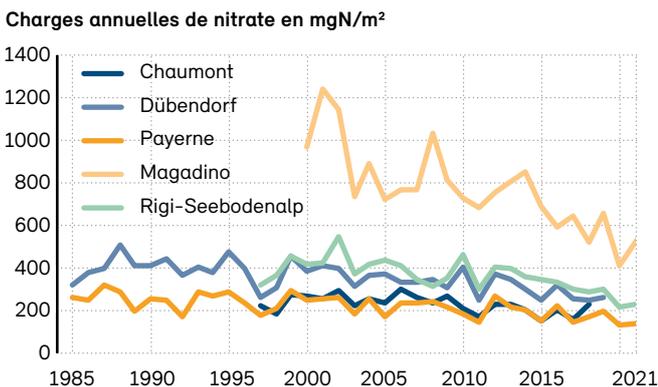
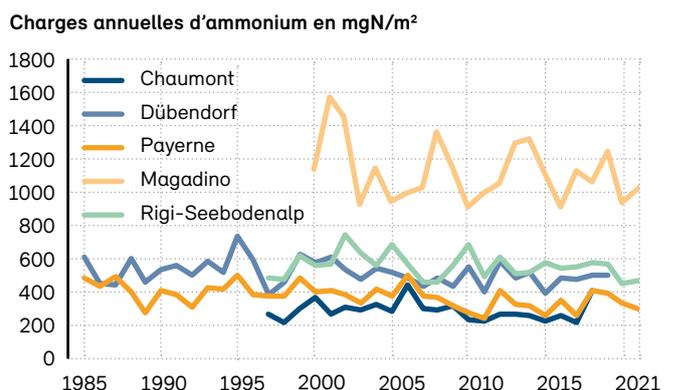


Fig. 20 : Charges annuelles d'ammonium dans les précipitations



## 5.5 Autres polluants atmosphériques gazeux

### Dioxyde de soufre

Le dioxyde de soufre est un gaz incolore, irritant et très soluble dans l'eau ; lorsqu'il est fortement concentré, son odeur est piquante. Il se forme principalement lors de la combustion de carburants et de combustibles contenant du soufre. Les émissions de dioxyde de soufre ont atteint leur maximum en 1980 ; aujourd'hui, elles représentent moins d'un dixième des valeurs maximales relevées à l'époque. Le dioxyde de soufre est un précurseur majeur de la formation des pluies acides, car le sulfate peut se former dans l'atmosphère à partir du dioxyde de soufre. La concentration de dioxyde de soufre a nettement diminué au cours des dernières décennies (fig. 21), principalement grâce à la teneur réduite en soufre des carburants et des combustibles.

### Monoxyde de carbone

Le monoxyde de carbone est un gaz incolore et inodore dégagé par presque tous les processus de combustion, en particulier lorsque celle-ci est incomplète. C'est au milieu des années 1970 que les émissions de monoxyde de carbone ont atteint leur plus haut niveau. Depuis lors, elles ont diminué jusqu'à moins d'un tiers de ces valeurs. Contrairement au dioxyde de soufre, au dioxyde d'azote et à l'ozone, le monoxyde de carbone n'est pas un gaz irritant. Cependant, il empêche la fixation de l'oxygène sur l'hémoglobine du sang, réduisant ainsi la capacité de transport d'oxygène par le sang. La charge de monoxyde de carbone a pu être grandement réduite avec des processus de combustion améliorés et des équipements de

post-traitement des gaz d'échappement. La valeur limite journalière de 8 mg/m<sup>3</sup> est respectée aujourd'hui à toutes les stations NABEL et toutes les moyennes journalières mesurées sont inférieures à 1 mg/m<sup>3</sup>.

### Composés organiques volatils

Le groupe des composés organiques volatils (COV) englobe de très nombreuses substances contenant toutes du carbone. Conjointement aux oxydes d'azote, les COV sont des précurseurs de l'ozone. Cependant, la capacité à former de l'ozone varie fortement d'un COV à l'autre et l'échelle de temps considéré joue également un rôle déterminant. Ainsi, les COV dont la réactivité est très grande sont responsables de l'apparition de pics d'ozone à court terme, dans les environs immédiats des sources ; les COV dont la réactivité est plus faible contribuent en revanche à l'élévation du taux d'ozone de fond sur de vastes étendues. Les concentrations d'hydrocarbures volatils ont beaucoup diminué depuis la fin des années 1980 (fig. 22). Plusieurs COV ont des propriétés cancérigènes (p. ex. le benzène), d'autres sont toxiques, la toxicité variant considérablement d'une substance à l'autre. Les composés aromatiques (benzène, toluène, éthylbenzène et xylènes) sont présents dans l'essence pour moteurs. Si le benzène est indésirable dans l'air que nous respirons, c'est surtout en raison de ses propriétés cancérigènes. Les concentrations de benzène mesurées à plusieurs stations ont également diminué et se situent aujourd'hui entre 0,3 et 0,5 µg/m<sup>3</sup>, soit bien en dessous de la valeur indicative de l'UE qui est de 5 µg/m<sup>3</sup>.

Fig. 21 : Moyennes annuelles de dioxyde de soufre

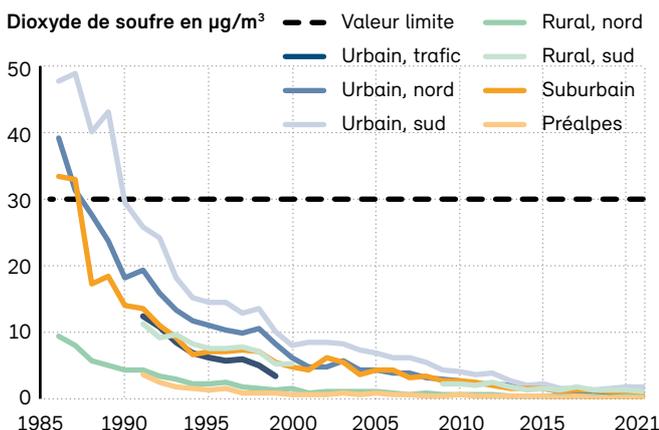
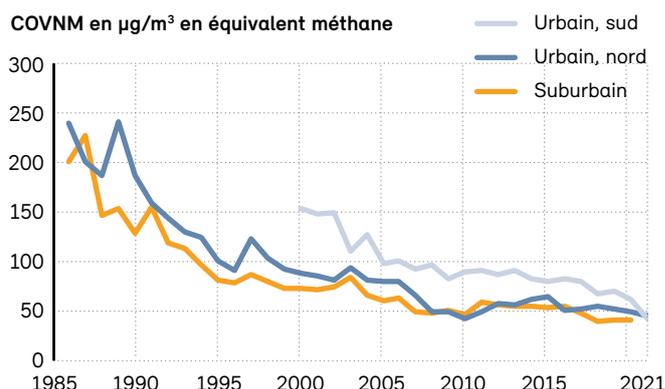


Fig. 22 : Moyennes annuelles des composés organiques volatils non méthaniques (COVNM)



## 5.6 Gaz à effet de serre

Le réseau NABEL mesure aussi les gaz à effet de serre à la station de recherche du Jungfraujoch. L'altitude élevée de la station, 3580 m, permet d'observer la concentration de gaz présents à l'état de trace. Certains jours, l'air des basses altitudes remonte au Jungfraujoch, ce qui permet d'évaluer les émissions suisses et européennes. Les gaz à effet de serre contribuant le plus aux changements climatiques anthropiques sont le dioxyde de carbone, le méthane et le protoxyde d'azote. Comme ces gaz sont persistants, la concentration mesurée au Jungfraujoch est influencée par les émissions de tout l'hémisphère nord. La figure 23 montre les moyennes mensuelles du dioxyde de carbone et du protoxyde d'azote depuis le début des mesures et la figure 24, les moyennes mensuelles du méthane. Les concentrations des trois gaz à effet de serre ont augmenté ces dernières années. La hausse coïncide avec l'évolution observée à d'autres stations de fond de l'hémisphère nord.

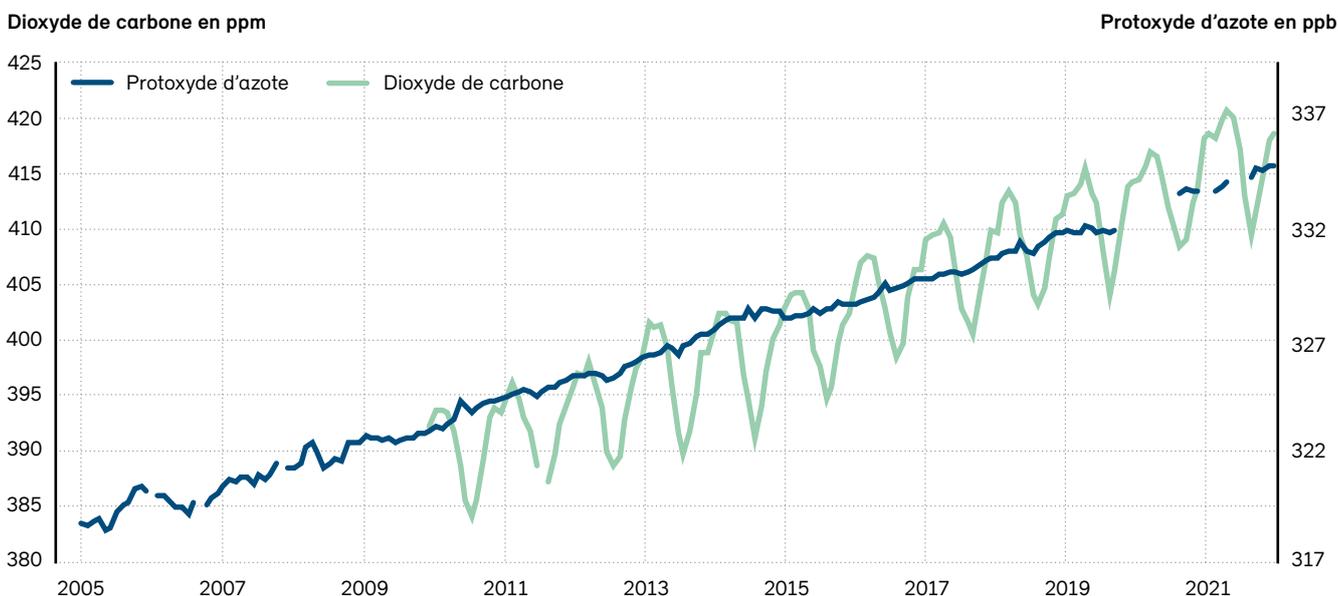
La concentration de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) révèle de fortes variations saisonnières, qui reflètent essentiellement l'absorption de ce gaz par la végétation au cours de l'été. La concentration de gaz hilarant (protoxyde d'azote, N<sub>2</sub>O) a augmenté de presque 5 % depuis le début des mesures en 2005. Ce gaz provient des sols très fertilisés ou dérive de processus de combustion. Le méthane (CH<sub>4</sub>), élément principal du gaz naturel, est libéré lors de l'exploitation de gisements d'agents énergétiques fossiles. Il

provient aussi de l'agriculture, en particulier de l'élevage. La teneur en méthane dans l'atmosphère ne cesse d'augmenter. Or, en plus de favoriser l'effet de serre, le méthane contribue dans une large mesure à la formation d'ozone dans les couches supérieures de la troposphère.

D'autres composés mesurés par le réseau NABEL, tels que la suie, l'ozone et le sulfate, jouent également un rôle dans le changement climatique.

Au Jungfraujoch, on mesure aussi les composés halogénés qui agissent comme gaz à effet de serre. Les deux substances F11 (CCl<sub>3</sub>F) et 1,1,1-trichloréthane (CH<sub>3</sub>CCl<sub>3</sub>) indiquées à la figure 25 contiennent des atomes de chlore et contribuent à la destruction de la couche protectrice d'ozone dans la couche supérieure de l'atmosphère. C'est pourquoi le Protocole de Montréal en limite la production et l'utilisation dans le monde entier. Le F11, utilisé dans les mousses et les aérosols, a une longue durée de vie et persiste des dizaines d'années dans l'atmosphère. Ce qui explique que la concentration de fond n'a que peu diminué depuis l'année 2000. Aucun pic de concentration marqué n'est mesuré, ce qui signifie qu'il n'y a que de faibles sources de F11 en Europe. La production et l'utilisation de trichloréthane, employé comme solvant, ont aussi été restreintes par le Protocole de Montréal. Comme ce gaz a une courte durée de vie dans l'atmosphère, on observe déjà un net recul de sa concentration depuis l'année 2000.

Fig. 23 : Moyennes mensuelles du dioxyde de carbone et du protoxyde d'azote au Jungfraujoch

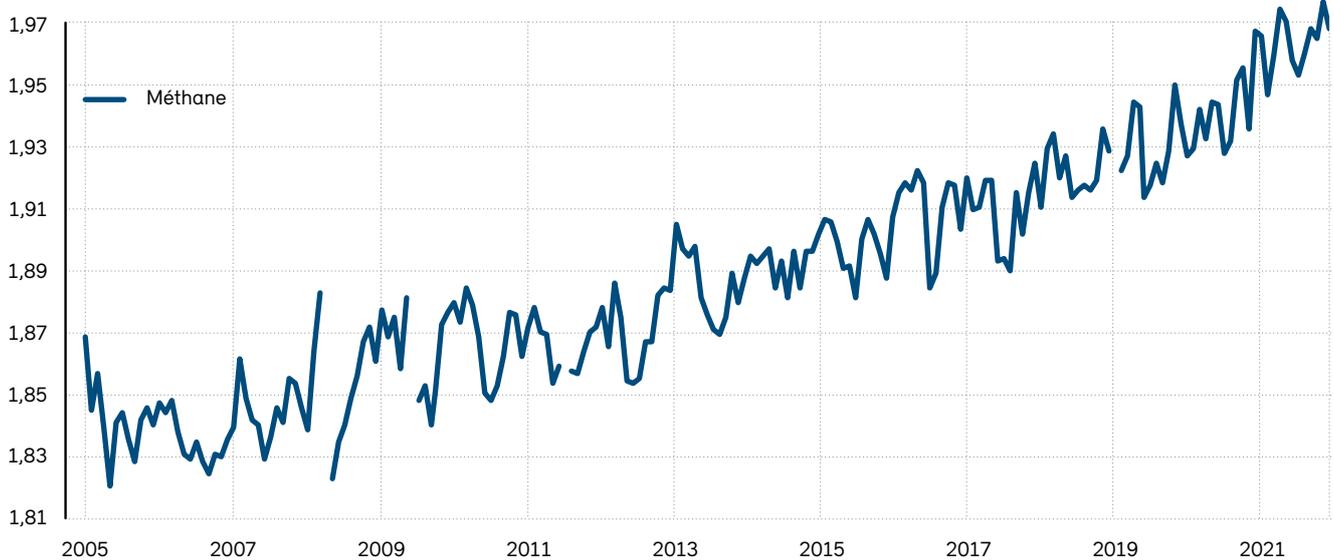


Le composé F134a (CH<sub>2</sub>FCF<sub>3</sub>) est utilisé comme produit réfrigérant dans les systèmes de climatisation des voitures, ainsi que pour la production de mousses, par exemple pour des isolants. Selon les accords internationaux en vigueur, il peut être fabriqué et utilisé, mais il doit entrer dans la statistique des gaz à effet de serre prévue par le Protocole de Kyoto. Le F134a, dont la concentration de fond a nettement augmenté (fig. 25), remplace d'autres substances ayant été interdites. Lorsque l'air provenant de zones de

basse altitude arrive au Jungfraujoch depuis la Suisse ou d'autres pays, on observe une nette hausse des concentrations de F134a. Depuis quelques années, le F134a et d'autres hydrocarbures fluorés à longue durée de vie ayant une incidence sur le climat, font l'objet d'un « phase-down » dans le cadre de l'amendement de Kigali, qui complète le Protocole de Montréal. C'est pourquoi la concentration de ces substances dans l'atmosphère devrait diminuer à l'avenir.

**Fig. 24 : Moyennes mensuelles du méthane au Jungfraujoch**

Méthane en ppm

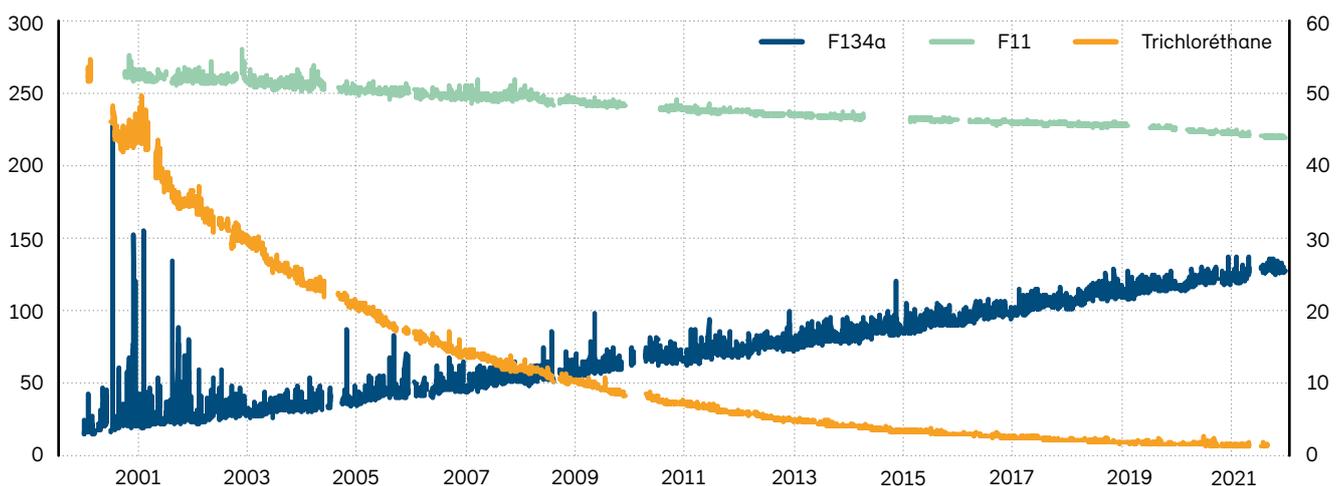


**Fig. 25 : Moyennes journalières des composés halogénés au Jungfraujoch**

Les substances autorisées, comme le F134a, affichent une hausse de la concentration au Jungfraujoch, alors que les concentrations de substances interdites, comme le F11 et le trichloréthane, diminuent.

Substances F134a et F11 en ppt

Trichloréthane en ppt



## 6 Perspectives

La pollution atmosphérique en Suisse a pu être sensiblement réduite depuis le milieu des années 1980. C'est là le résultat des actions entreprises en Suisse et dans d'autres pays d'Europe pour diminuer les émissions. En effet, le renforcement des prescriptions pour les émissions des installations stationnaires et des véhicules et les incitations d'ordre économique (p. ex. taxes d'incitation sur les COV) ont permis de réduire les rejets de polluants atmosphériques. Parallèlement aux réductions d'émissions, les concentrations des polluants atmosphériques ont diminué (fig. 26 à 29). Les mesures du réseau NABEL confirment la baisse des émissions. Les émissions de poussières fines primaires ont cependant moins diminué que les concentrations de PM10 mesurées (fig. 29), ce qui signifie qu'une part importante de la diminution de ces dernières est due à la réduction des précurseurs gazeux de la part des poussières fines secondaires.

Des succès importants ont été remportés en ce qui concerne le dioxyde de soufre, le monoxyde de carbone ainsi que les métaux lourds comme le plomb, le cadmium et le zinc, autant de polluants dont les concentrations mesurées sont en général très inférieures aux valeurs limites d'immission. Pour ce qui est des poussières fines PM10 et PM2,5, les valeurs limites ont parfois été dépassées en 2021. Par contre, les concentrations d'ozone ont dépassé les valeurs limites dans les 16 stations du réseau NABEL. Les apports d'azote et d'acide dans les écosystèmes sont eux aussi encore trop importants. L'objectif de bonne qualité de l'air n'est pas encore atteint, en dépit des succès obtenus par la politique suisse de protection de l'air. D'autres réductions des émissions sont donc nécessaires.

L'amélioration de la qualité de l'air est une tâche complexe. Elle doit se faire en plusieurs étapes, car il n'existe pas de mesure unique qui puisse résoudre le problème en une fois. Toute action est utile si elle amène une réduction des émissions de polluants. De plus, comme les polluants ne s'arrêtent pas aux frontières, il faut également déployer des efforts à l'échelle internationale. Un grand pas a été fait avec le Protocole relatif à la réduction de l'acidification, de l'eutrophisation et de l'ozone troposphérique (Protocole de Göteborg) de la Convention de la CEE-ONU

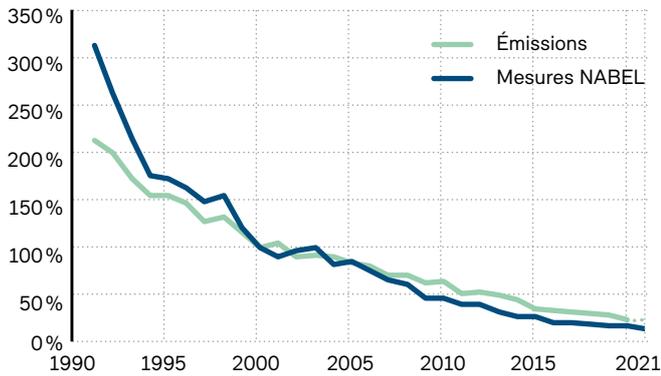
sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance. Ce protocole fixe pour les États signataires en Europe et en Amérique du Nord des objectifs nationaux de réduction des émissions d'oxydes d'azote, de dioxyde de soufre, d'ammoniac, de composés organiques volatils et de poussières fines, à remplir dès 2020 et au-delà.

Les résultats des mesures du réseau NABEL corroborent le succès de la politique de protection de l'air menée jusqu'à présent par la Confédération, les cantons et les communes. Le présent rapport annuel, avec son évaluation de la pollution atmosphérique, est une partie essentielle du contrôle des résultats et montre clairement qu'il faudra prendre d'autres mesures de protection de l'air.

**Fig. 26 : Évolution des émissions de dioxyde de soufre et de sa concentration dans l'air ambiant**

Les concentrations mesurées par le réseau NABEL et les quantités émises ont été graduées pour évaluer 100 % en 2000. Les émissions 2021 sont des prévisions qui ne tiennent pas compte des effets possibles provenant de la crise du Covid-19.

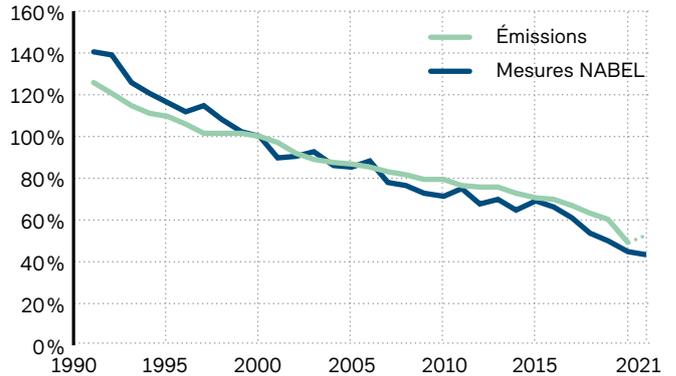
**Dioxyde de soufre, année 2000: 100 %**



**Fig. 27 : Évolution des émissions d'oxydes d'azote et de leur concentration dans l'air ambiant**

Les oxydes d'azote désignent la somme du monoxyde d'azote et du dioxyde d'azote.

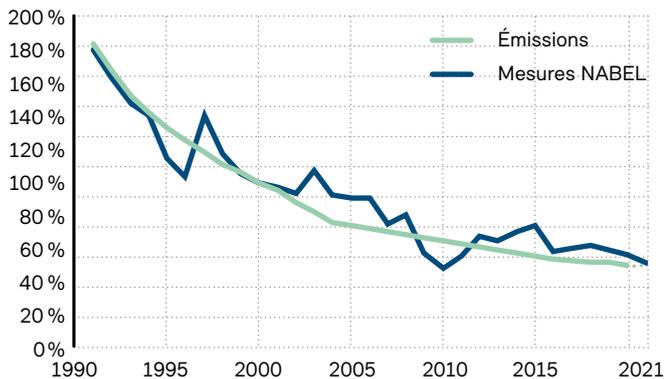
**Oxydes d'azote, année 2000: 100 %**



**Fig. 28 : Évolution des émissions de COVNM et de leur concentration dans l'air ambiant**

COVNM désigne les composés organiques volatils non méthaniques.

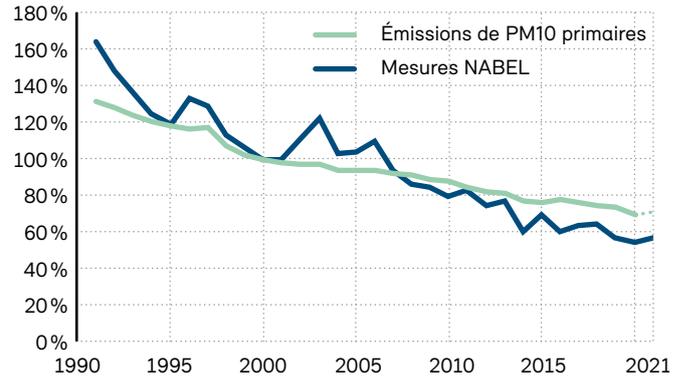
**COVNM, année 2000: 100 %**



**Fig. 29 : Évolution des émissions de PM10 et de leur concentration dans l'air ambiant**

Seules les émissions de PM10 primaires ont été prises en compte.

**Poussières fines PM10, année 2000: 100 %**



# Annexe

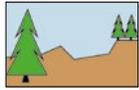
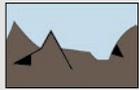
En vertu de l'art. 39, al. 1, de l'ordonnance du 16 décembre 1985 sur la protection de l'air (OPair), l'Office fédéral de l'environnement procède à des relevés sur la pollution atmosphérique dans l'ensemble du pays. Le réseau NABEL est en particulier destiné à l'accomplissement de cette tâche légale. Instrument central pour l'exécution de l'OPair, il sert à vérifier l'efficacité des mesures adoptées pour lutter contre la pollution de l'air (art. 44 de la loi sur la protection de l'environnement) et à assurer l'information de la population (art. 10e LPE). L'exploitation et l'entretien des systèmes de mesure, l'assurance qualité ainsi que le contrôle des données sont assurés par le Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et de recherche (Empa) à Dübendorf conformément à l'art 39 al. 2 de l'OPair.

Le réseau NABEL constitue un élément essentiel pour l'observation de l'environnement. Il a été étendu de 8 à

16 stations à la suite d'une décision du Conseil fédéral de 1988 et couvre ainsi tous les types de pollutions importantes que l'on rencontre en Suisse. Le réseau sert aussi à contrôler l'efficacité des mesures de limitation des émissions polluantes adoptées au cours des 35 dernières années.

Les mesures du réseau NABEL couvrent les principaux polluants qui peuvent porter atteinte à la santé humaine ou à l'environnement, qu'ils soient sous forme de particules, de gaz ou de précipitations. Sont déterminés en premier les polluants atmosphériques qui sont réglés dans l'OPair ou qui doivent être relevés dans le cadre des accords internationaux sur la protection de l'air. Ils constituent ainsi le programme de mesure de base du réseau NABEL. Pour les autres questions, ce programme est complété par des projets limités dans le temps, comme le

Tab. 2 : Classement des stations NABEL par type de site

	Type de site	Code	Station	Altitude
	Urbain, trafic	BER LAU	Bern-Bollwerk Lausanne-César-Roux	536 m 530 m
	Urbain	LUG ZUE	Lugano-Università Zürich-Kaserne	280 m 409 m
	Suburbain	BAS DUE	Basel-Binningen Dübendorf-Empa	316 m 432 m
	Rural, autoroute	HAE SIO	Härkingen-A1 Sion-Aéroport-A9	431 m 483 m
	Rural, altitude <1000 m	MAG PAY TAE BRM	Magadino-Cadenazzo Payerne Tänikon Beromünster	203 m 489 m 538 m 797 m
	Rural, altitude >1000 m	CHA RIG DAV	Chaumont Rigi-Seebodenalp Davos-Seehornwald	1136 m 1031 m 1637 m
	Haute montagne	JUN	Jungfrauoch	3580 m

projet CLIMGAS-CH au Jungfraujoch, qui mesure différents gaz à effet de serre afin de déterminer leur évolution dans le temps de manière fiable.

Le réseau NABEL procède aussi à l'évaluation de nouvelles méthodes de mesure et met ses connaissances à la disposition des autorités et des exploitants de réseaux de mesure cantonaux et communaux. De plus, certaines stations NABEL servent de référence pour la mesure de la distribution verticale de gaz à l'état de trace, effectuée avec des ballons sondes ou par satellites. Le réseau livre par ailleurs des données de référence pour calibrer et valider les modèles de diffusion qui permettent de déterminer la répartition des polluants atmosphériques.

Avec les mesures du réseau NABEL, complétées par celles des réseaux cantonaux et communaux, il est possible de fournir à la population des informations détaillées et actuelles sur la qualité de l'air, par exemple sur Internet ou par les applications airCheck ou MétéoSuisse pour smartphones. Les rapports annuels du réseau NABEL complètent ces informations et fournissent une interprétation des résultats ainsi qu'une vue d'ensemble de l'évolution pluriannuelle.

Le réseau NABEL répond aux exigences internationales de la Convention CEE-ONU sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance (CLRTAP ; programme EMEP), de l'Agence européenne pour l'environnement ainsi que de la Veille de l'atmosphère globale de l'Organisation météorologique mondiale.

La charge polluante en Suisse n'est pas répartie pareillement sur tout le territoire. Les différences proviennent en premier lieu du type de station et des sources d'émission qu'on y trouve. Il est de ce fait utile de classer les stations de mesure par type sur la base d'une évaluation des environs et de la pollution mesurée, comme le présente le tableau ci-dessus. Le réseau NABEL relève la charge de polluants atmosphériques à ces différents types de station.

### Informations complémentaires sur Internet

Des informations détaillées sur les thèmes abordés dans le présent rapport, sur les questions de protection de l'air ainsi que sur des données actuelles et historiques se trouvent sur Internet sous :

[www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/air.html](http://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/air.html)

Résultats détaillés des mesures du réseau NABEL 2021 :

[www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/air/etat/donnees/donnees-historiques/rapports-annuels-et-mensuels-nabel.html](http://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/air/etat/donnees/donnees-historiques/rapports-annuels-et-mensuels-nabel.html)

Description du réseau NABEL :

[www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/air/etat/donnees/reseau-national-d-observation-des-polluants-atmospheriques--nabe.html](http://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/air/etat/donnees/reseau-national-d-observation-des-polluants-atmospheriques--nabe.html)

Autres informations sur le réseau NABEL :

[www.empa.ch/web/s503/nabel](http://www.empa.ch/web/s503/nabel)

Informations détaillées sur la pollution atmosphérique :

[www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/air/etat/donnees.html](http://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/air/etat/donnees.html)

Mesures des gaz à effet de serre (en anglais) :

[www.empa.ch/web/s503/climate-gases](http://www.empa.ch/web/s503/climate-gases)

Autres rapports NABEL :

[www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/air/etat/donnees/reseau-national-d-observation-des-polluants-atmospheriques--nabe/rapports-nabel.html](http://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/air/etat/donnees/reseau-national-d-observation-des-polluants-atmospheriques--nabe/rapports-nabel.html)

Stratégie fédérale de protection de l'air du 11 septembre 2009, Feuille fédérale n° 40, 2009, page 5941

[www.admin.ch/ch/f/ff/2009/5941.pdf](http://www.admin.ch/ch/f/ff/2009/5941.pdf)

Pollution de l'air et santé :

[www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/air/publications-etudes/publications/pollution-de-l-air-et-sante.html](http://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/air/publications-etudes/publications/pollution-de-l-air-et-sante.html)

[www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/air/info-specialistes/effets-de-la-pollution-atmospherique/effets-de-la-pollution-atmospherique-sur-la-sante.html](http://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/air/info-specialistes/effets-de-la-pollution-atmospherique/effets-de-la-pollution-atmospherique-sur-la-sante.html)