

La qualité de l'air en 2024

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 2024

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. + 41 58 463 01 65

luftreinhaltung@bafu.admin.ch | www.bafu.admin.ch

Traduction

Service linguistique de l'OFEV

Mise en page

Funke Lettershop AG

Photo de couverture

Station NABEL de Zürich-Kaserne

© Empa

Téléchargement au format PDF

www.bafu.admin.ch/uz-2522-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 2025

Table des matières

Abstracts		5
Avant-propos		6
1	La pollution de l'air en Suisse en 2024	7
1.1	Comparaison avec les valeurs limites d'immission	7
1.2	Répartition spatiale de la pollution atmosphérique	8
2	Pollution atmosphérique aux stations NABEL en 2024	10
2.1	Comparaison avec les valeurs limites d'immission	10
3	Particularités de l'année 2024	12
4	Évolution et conséquences	14
4.1	Évolution de la pollution atmosphérique	14
4.2	Conséquences de la pollution atmosphérique	15
5	Polluants atmosphériques	16
5.1	Poussières fines et composition	16
5.2	Ozone	18
5.3	Composés azotés	20
5.4	Polluants dans les précipitations	21
5.5	Autres polluants atmosphériques gazeux	22
5.6	Gaz à effet de serre	23
6	Perspectives	26
Annexe		28

Abstracts

This report analyses the state of air quality and the extent of air pollution in Switzerland based on data collected by the National Air Pollution Monitoring Network (NABEL) and by cantonal monitoring networks. In 2024, the ambient air quality standards for ozone were exceeded at all stations. All other air quality standards were met at all NABEL stations. At some cantonal and municipal stations, the limit values for NO₂ and particulate matter are still being exceeded. 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 2024, les valeurs limites d'immission pour l'ozone ont été dépassées dans toutes les stations NABEL. Les valeurs limites pour les autres polluants atmosphériques ont été respectées dans toutes les stations NABEL. Certaines stations cantonales et communales continuent toutefois de dépasser les valeurs limites pour le NO₂ et les particules fines. 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 2024 an allen NABEL-Stationen die Grenzwerte überschritten. Die Grenzwerte für die weiteren Luftschadstoffe wurden an allen NABEL-Stationen eingehalten. Bei einigen Kantonalen und kommunalen Stationen werden die Grenzwerte für NO₂ und Feinstaub immer noch überschritten. 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 2024 i valori limite d'immissione per l'ozono sono stati superati presso tutte le stazioni NABEL. I valori limite per gli altri inquinanti atmosferici sono stati rispettati in tutte le stazioni NABEL. In alcune stazioni cantonali e comunali i valori limite per il NO₂ e il particolato sono ancora superati. 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

La qualité de l'air en Suisse n'a cessé de s'améliorer ces 40 dernières années. Les mesures du réseau national d'observation des polluants atmosphériques (NABEL) démontrent le succès de la politique menée par la Confédération, les cantons et les communes dans le domaine de la protection de l'air. La majorité des valeurs limites d'immission, qui visent à protéger la santé et l'environnement, sont aujourd'hui respectées.

Cependant, les objectifs prévus par la législation ne sont pas encore atteints partout. Les poussières fines, l'ozone et les polluants atmosphériques azotés continuent d'avoir des effets nocifs sur la santé et les écosystèmes. Une réduction des immissions au niveau recommandé par l'Organisation mondiale de la santé aurait des effets bénéfiques considérables pour la santé. Il est donc impératif de poursuivre une politique cohérente de protection de l'air en mettant en œuvre des mesures destinées à réduire davantage les émissions de polluants. L'être humain respire chaque jour environ 15 000 litres d'air : une raison suffisante pour continuer à s'engager en faveur d'un air pur et sain à l'avenir.

En vertu du principe de précaution, les prescriptions en matière d'émissions sont régulièrement adaptées à l'état actuel de la technique. Des procédés et des produits innovants ainsi que le progrès technique général continueront à contribuer à la réduction des émissions de polluants atmosphériques à l'avenir. Les données du réseau NABEL sont essentielles pour documenter l'évolution de la qualité de l'air.

Les mesures du dioxyde de soufre et du sulfate effectuées à la station NABEL de Payerne comptent parmi les plus longues séries de mesures du réseau. Elles ont été lancées dans les années 1970 en réaction aux pluies acides et se poursuivent encore aujourd'hui. Les mesures à long terme montrent non seulement la forte diminution de ces polluants soufrés dans l'air, mais témoignent également du passage réussi à des sources d'énergie plus propres et à des technologies plus efficaces en Suisse et en Europe. Elles prouvent de manière impressionnante l'efficacité mesurable d'une politique environnementale fondée sur des bases scientifiques et montrent que de telles mesures sont indispensables pour mettre en évidence les progrès réalisés et identifier à temps les nouveaux défis.

Simon Liechti
Division Protection de l'air et produits chimiques
Office fédéral de l'environnement (OFEV)

1 La pollution de l'air en Suisse en 2024

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

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 dans 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.

S'agissant du dioxyde d'azote, la valeur limite en moyenne annuelle n'a été dépassée plus qu'à une seule station de mesure située à proximité du trafic routier, et la valeur limite d'immission sur 24 heures a été respectée à toutes les stations.

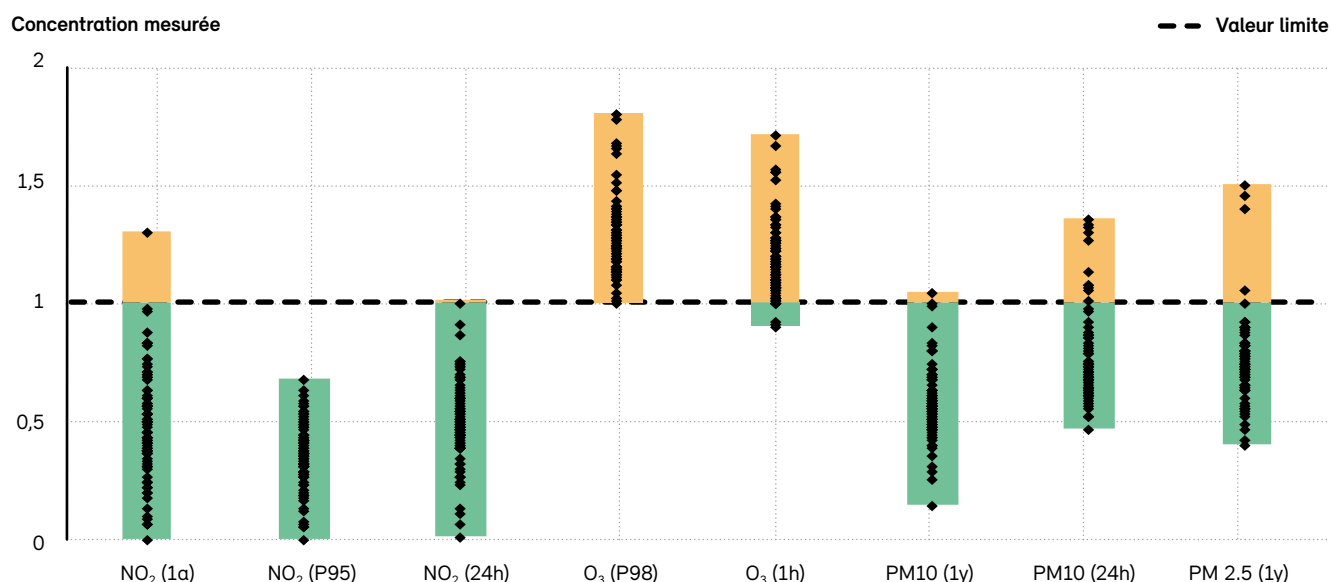
Concernant les poussières fines PM10, les moyennes journalières ont été dépassées en maint endroit à plus de trois reprises, nombre maximal de dépassements autorisés. Cette situation est en partie imputable aux fréquents épisodes de poussières du Sahara. La valeur limite en moyenne annuelle pour les PM10 a été respectée la plupart du temps, alors que celle pour les PM2,5 est encore dépassée à plusieurs stations.

Les valeurs limites d'immission pour l'ozone sont encore dépassées à toutes les stations.

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 à presque toutes les stations de Suisse, et même dépassées très nettement à certaines.

Fig. 1 : Comparaison de la pollution de l'air mesurée avec les valeurs limites d'immission pour l'année 2024

Quotient déduit de la concentration mesurée en 2024 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 (trois dépassements pour les PM10), ce qui explique qu'on utilise respectivement la deuxième et la quatrième plus grande valeur mesurée pour établir la comparaison avec la valeur limite. Polluants : dioxyde d'azote (NO₂), ozone (O₃), 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 de déduire la distribution spatiale de la pollution atmosphérique.

Dioxyde d'azote

La figure 2 montre la distribution spatiale des moyennes annuelles en 2024 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. À l'écart des axes routiers, les concentrations de dioxyde d'azote ont généralement été inférieures aux valeurs limites d'immission. 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 2024 pour les poussières fines (PM_{2,5}). La concentration de poussières fines respirables avoisine la valeur limite d'immission dans certaines régions urbaines, mais se situe souvent 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 : premièrement, plus de la moitié de la charge de PM_{2,5} est composée de particules fines secondaires (aérosols secondaires), qui ne se forment dans l'atmosphère qu'une fois loin des sources des précurseurs. 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. Deuxièmement, les poussières fines sont transportées sur de grandes distances. La formation secondaire de particules fines ainsi que leur transport sur de grandes distances explique l'homogénéité de leur distribution spatiale.

Ozone

En 2024, 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/m³. 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. Le long des routes, les taux d'ozone sont parfois plus bas, du fait de la présence de monoxyde d'azote, qui dégrade l'ozone avant de se transformer en dioxyde d'azote. 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 Commission économique des Nations Unies pour l'Europe (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. Pour déterminer les dépôts d'azote, l'ammoniac et d'autres composés azotés sont mesurés, puis les dépôts d'azote sont modélisés. 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 2024 (valeur limite 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

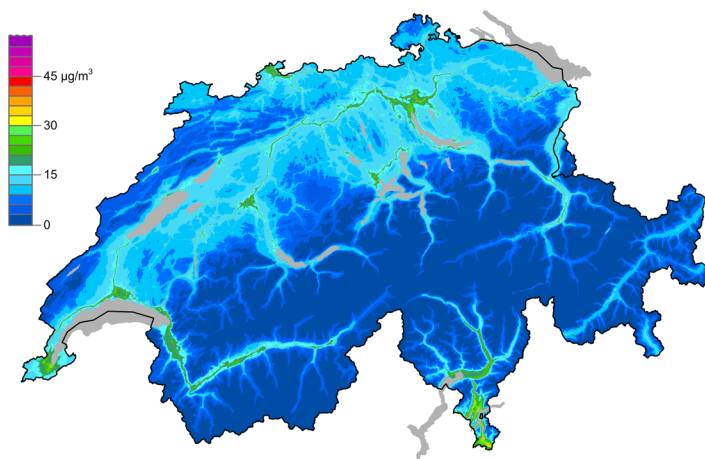
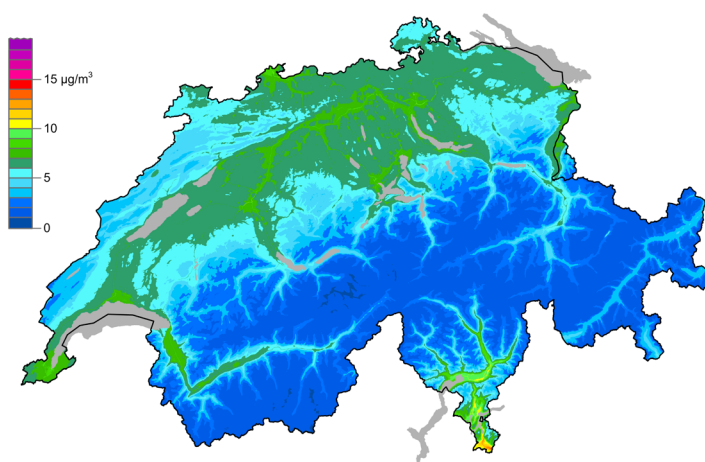


Fig. 3 : Carte des moyennes annuelles de poussières fines (PM_{2,5}) pour l'année 2024 (valeur limite 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)



2 Pollution atmosphérique aux stations NABEL en 2024

Le réseau NABEL mesure la pollution de l'air en Suisse à seize emplacements. Les stations relèvent 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 2024 avec les valeurs limites d'immission de l'OPair. Les dépassements des valeurs limites de l'ozone 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 2024, la charge la plus importante ayant été observée au Tessin, à la station de Lugano. C'est le Tessin qui a également enregistré la moyenne horaire la plus élevée, à savoir $192 \mu\text{g}/\text{m}^3$, alors que le pic relevé dans le nord des Alpes était de $173 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Cependant, en raison des conditions météorologiques, le nombre d'heures de dépassement de la valeur limite d'immission pour l'ozone est resté nettement en dessous de celui des années précédentes. La valeur limite annuelle moyenne pour les $\text{PM}_{2,5}$ a été respectée cette année également à tous les sites du réseau NABEL. Il en va de même pour la valeur limite moyenne journalière des PM_{10} . 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 2024

Polluants : dioxyde de soufre (SO₂), dioxyde d'azote (NO₂), ozone (O₃), 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 ₂ m.a. µg/m ³	NO ₂ m.a. µg/m ³	NO ₂ j>VLI	O ₃ P98 µg/m ³	O ₃ h>VLI	PM10 m.a. µg/m ³	PM10 j>VLI	PM2,5 m.a. µg/m ³
Urbain, trafic	BER	–	21	0	144	6	15	1	8,9
	LAU	–	21	0	115	14	12	1	7,9
Urbain	LUG	0,3	19	0	166	406	14	1	9,3
	ZUE	0,3	17	0	140	123	12	1	8,0
Suburbain	BAS	0,5	13	0	142	109	11	0	7,4
	DUE	0,4	16	0	141	120	11	0	7,2
Rural, autoroute	HAE	0,3	22	0	124	30	12	0	7,9
	SIO	–	23	0	114	4	14	1	6,8
Rural, altitude < 1000 m	MAG	0,5	13	0	148	222	14	1	9,0
	PAY	0,17	8,2	0	129	61	10	0	6,5
	TAE	–	7,3	0	131	97	9,0	1	5,8
	BRM	–	5,4	0	135	146	7,9	0	–
Rural, altitude > 1000 m	CHA	–	2,6	0	137	107	5,7	0	–
	RIG	0,23	3,0	0	135	171	6,3	1	4,2
	DAV	–	2,0	0	102	0	5,1	3	–
Haute montagne	JUN	0,02	0,18	0	115	13	3,0	3	–
Valeur limite d'immission		30	30	1	100	1	20	3	10

3 Particularités de l'année 2024

Un demi-siècle de mesures du dioxyde de soufre et de sulfate à Payerne : documentation d'une réussite en matière de la protection de l'air.

Les polluants atmosphériques peuvent être transportés sur de longues distances et porter atteinte à l'environnement loin du lieu où ils ont été rejetés. Ainsi, dans les années 1970, l'acidification des précipitations observée en Scandinavie a été attribuée en grande partie au transport à longue distance du dioxyde de soufre (SO_2) et de son produit de réaction atmosphérique, le sulfate (SO_4^{2-}), rejetés dans les régions industrialisées d'Europe occidentale et centrale. Les préoccupations relatives aux effets néfastes, sur les écosystèmes naturels, du transport à longue distance des polluants atmosphériques ont stimulé la recherche dans le monde entier et donné lieu, de 1972 à 1977, à un programme international de mesure coordonné par l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE). Comme la plupart des pays d'Europe occidentale et centrale, la Suisse a participé à ce programme et s'est engagée à mettre en place et à exploiter deux stations de mesure.

Les mesures ont débuté en 1973 aux deux sites sélectionnés, à savoir Payerne (site rural sur le Plateau) et le Jungfraujoch (site alpin à 3580 m d'altitude). L'objectif du programme de l'OCDE était de combiner les cadastres des émissions, les mesures météorologiques et les modèles de dispersion afin de calculer les concentrations de SO_2 et SO_4^{2-} dans toute l'Europe et de comparer ces modèles avec les mesures. Les résultats ont montré que des mesures coordonnées au niveau international étaient nécessaires pour réduire la pollution atmosphérique en Europe. Ils ont conduit à la ratification, en 1979, de la Convention CEE-ONU sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance (CLRTAP). Le réseau de mesure du programme de l'OCDE a été transféré au programme européen de surveillance et d'évaluation EMEP (European Monitoring and Evaluation Programme), qui regroupe les activités de mesure et de modélisation à la base de la CLRTAP.

La figure 4 présente les concentrations de SO_2 et SO_4^{2-} mesurées depuis plus de 50 ans à Payerne. L'évolution de ces concentrations montre l'effet des mesures prises en Suisse et dans toute l'Europe pour réduire les émissions de SO_2 . L'introduction de technologies efficaces de réduction des émissions, l'utilisation croissante du gaz à la place du charbon au début des années 1980, l'évolution économique en Europe orientale et la désulfuration des combustibles et carburants fossiles en Europe occidentale dans les années 1990, principalement, ont permis de fortement diminuer les concentrations de SO_2 et de SO_4^{2-} dans l'air.

La baisse relative observée sur la période considérée est légèrement plus forte pour le SO_2 que pour le SO_4^{2-} . Elle s'explique par l'origine et la formation de ces deux substances. En effet, le SO_2 est émis directement dans l'atmosphère, tandis que le SO_4^{2-} se forme dans l'atmosphère par oxydation du SO_2 . La formation du SO_4^{2-} prend des heures, voire des jours. La variabilité et la tendance des concentrations de SO_4^{2-} observées à Payerne reflètent donc les émissions de SO_2 provenant de régions d'Europe même lointaines, alors que les concentrations de SO_2 à Payerne sont influencées essentiellement par les émissions locales et régionales.

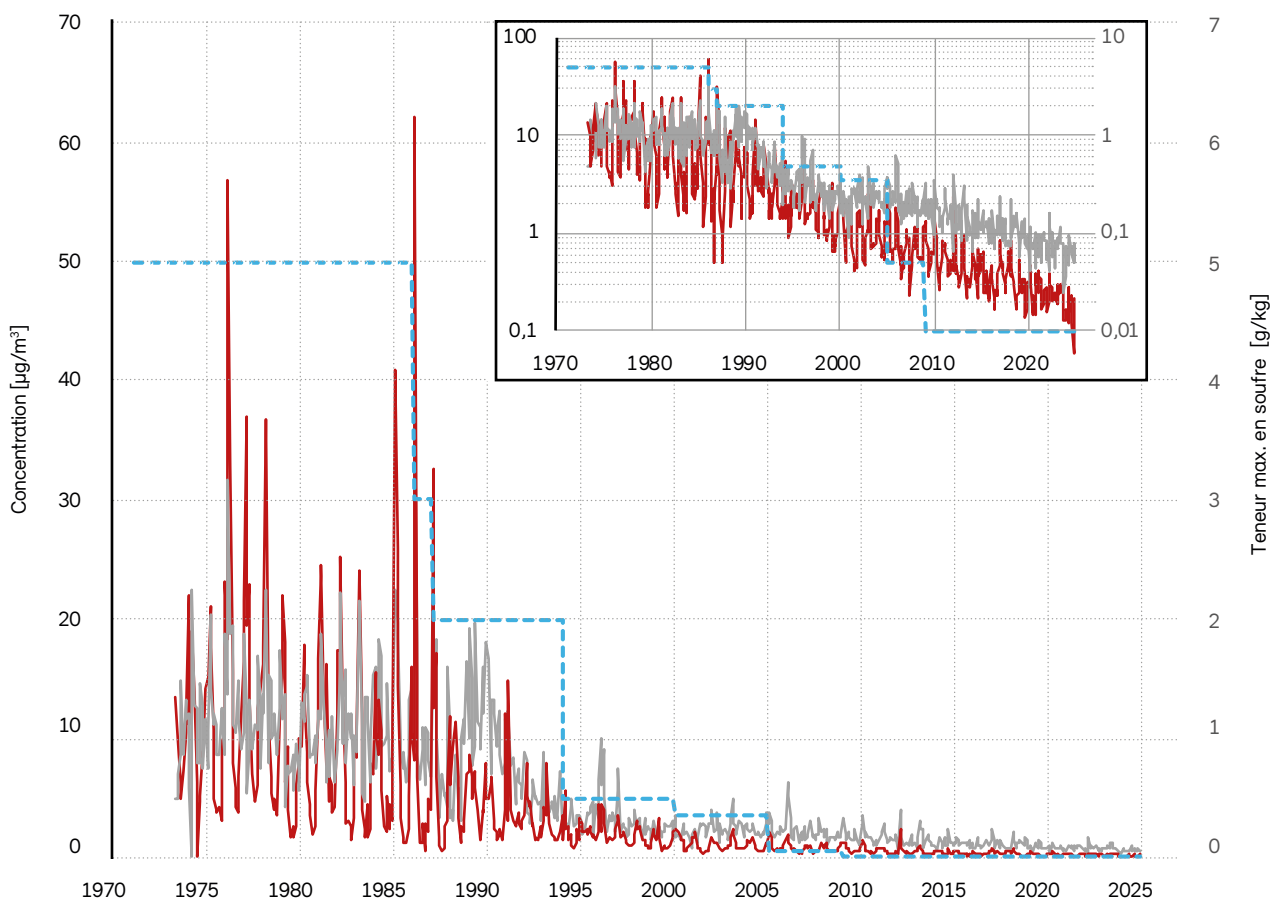
La mesure des polluants atmosphériques depuis plusieurs décennies témoigne de la réussite en matière de lutte contre la pollution atmosphérique. La lutte débute avec le diagnostic d'un problème environnemental, identifie les processus sous-jacents, implique des négociations et des protocoles internationaux et met en œuvre des mesures de réduction des émissions, pour finalement aboutir à une diminution drastique des composés acidifiants et des concentrations de SO_2 dans l'atmosphère – qui sont aujourd'hui bien inférieures aux valeurs limites en vigueur concernant la pollution de l'air.

Pour plus d'informations :

DOI : <https://doi.org/10.2533/chimia.2024.722>

Fig. 4 : Séries chronologiques des concentrations mensuelles moyennes de SO_2 et SO_4^{2-} à Payerne

Les valeurs mesurées pour le SO_2 (ligne rouge) et le SO_4^{2-} (ligne grise) sont représentées sous forme linéaire et logarithmique (illustration insérée). La ligne bleue en traitillés illustre la teneur maximale en soufre autorisée dans le diesel et l'huile de chauffage en Suisse. L'échelle linéaire permet de mieux percevoir les variations absolues des émissions, tandis que l'échelle logarithmique montre la baisse continue et les cycles saisonniers observés ces dernières années pour les faibles concentrations. La teneur maximale en soufre autorisée dans le diesel et l'huile de chauffage a été progressivement réduite de 5 g de soufre par kg de carburant ou combustible avant 1986 à 0,01 g par kg depuis 2009.



4 Évolution et conséquences

Les stations NABEL assurent un suivi de la charge des polluants atmosphériques depuis plusieurs dizaines d'années. Elles ont relevé 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

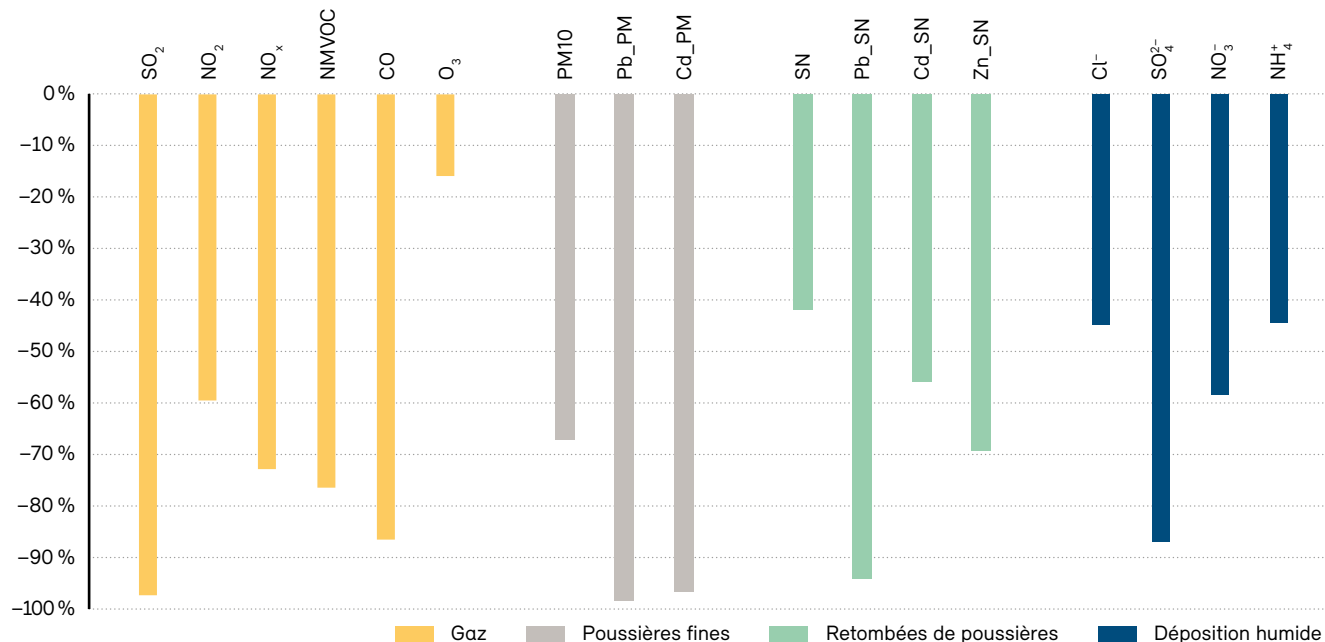
La figure 5 présente une vue d'ensemble de l'évolution moyenne de la pollution atmosphérique enregistrée aux stations NABEL depuis 1988. Tous les polluants affichent une diminution. Les concentrations de gaz émis directement, comme le dioxyde de soufre, les oxydes d'azote, les composés organiques volatils et le monoxyde

de carbone, ont sensiblement diminué 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 5 montre aussi que les concentrations de poussières fines et de métaux lourds qu'elles contiennent ont également nettement baissé depuis la fin des années 1980. Aujourd'hui, les poussières fines contiennent près de 80 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. 5 : Changement de la pollution atmosphérique entre 1988 et 2024

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_2), monoxyde de carbone (CO), dioxyde d'azote (NO_2), oxydes d'azote (NO_x), composés organiques volatils non méthaniques (COVNM), monoxyde de carbone (CO), ozone (O_3), 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^-), sulfate dans les précipitations (SO_4^{2-}), nitrate dans les précipitations (NO_3^-), ammonium dans les précipitations (NH_4^+)

Évolution



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 NO₂ dans l'air, on constate un nombre accru de décès et d'hospitalisations pour affection des voies respiratoires ainsi que 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 ainsi que le cadmium, le plomb et l'amiante font partie des polluants atmosphériques cancérogènes. Ils

sont toxiques pour l'être humain dès d'infimes concentrations 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, ce qui affecte les régimes nutritionnels et la croissance des plantes et génère un appauvrissement de la diversité des espèces. Ces apports d'azote peuvent entraîner la disparition de certaines espèces typiques de plantes dans les écosystèmes dont la teneur en azote est initialement faible, tels que les prairies naturelles riches en espèces et les pelouses sèches, les pâturages alpestres ainsi que les hauts-marais et les bas-marais.

Les acides (produits à partir du dioxyde de soufre et du dioxyde d'azote) causent des dégâts aux bâtiments, tandis que 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 renvoie à la totalité des particules en suspension, PM10, aux particules d'un diamètre inférieur à 10 μm et PM2,5, aux 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. Celles-ci 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.

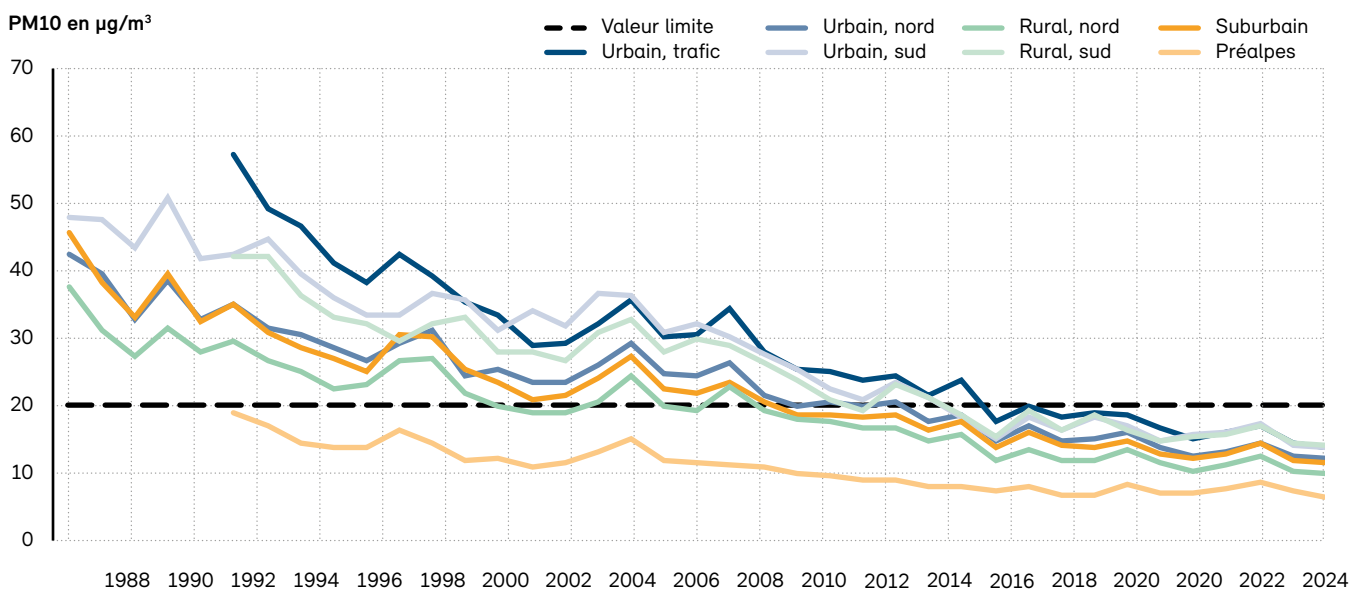
Les particules fines, y compris celles qui peuvent pénétrer dans les poumons, sont recensées comme poussières en suspension (PM10). Celles-ci peuvent être émises directement sous la forme de particules (émissions primaires), mais elles peuvent aussi être constituées d'éléments secondaires issus de la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

La figure 6 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 dans le nord des Alpes ont provoqué des charges de PM10 plus élevées en hiver. L'année dernière, les moyennes annuelles de PM10 étaient légèrement plus élevées, sûrement en raison des fréquents épisodes de poussières du Sahara.

La figure 7 affiche les moyennes annuelles de PM2,5. Depuis 1998, les charges de PM2,5 ont diminué d'environ 60 % et sont aujourd'hui inférieures à 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à toutes les stations NABEL. La figure 8 montre le rapport entre les PM2,5 et les PM10, les premières comptant pour environ 70 % à 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 les conditions sèches entraînent des concentrations élevées de poussières minérales dans l'air.

Fig. 6 : 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 du TSP.



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 9 indique une forte baisse des concentrations de suies au cours des dernières années. La teneur en suie 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 (environ 6 %) plus importante de la concentration massique des PM2,5 qu'aux endroits qui ne sont pas directement exposés au trafic, où elle est en dessous de 5 %.

Fig. 7 : Moyennes annuelles des poussières fines (PM2,5)

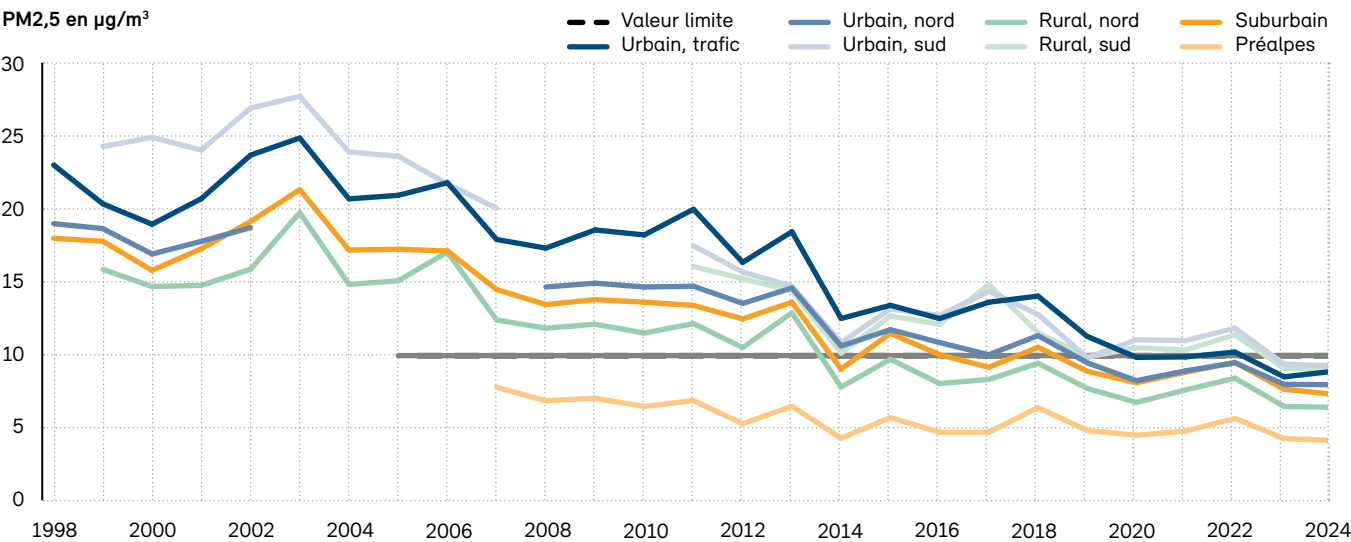
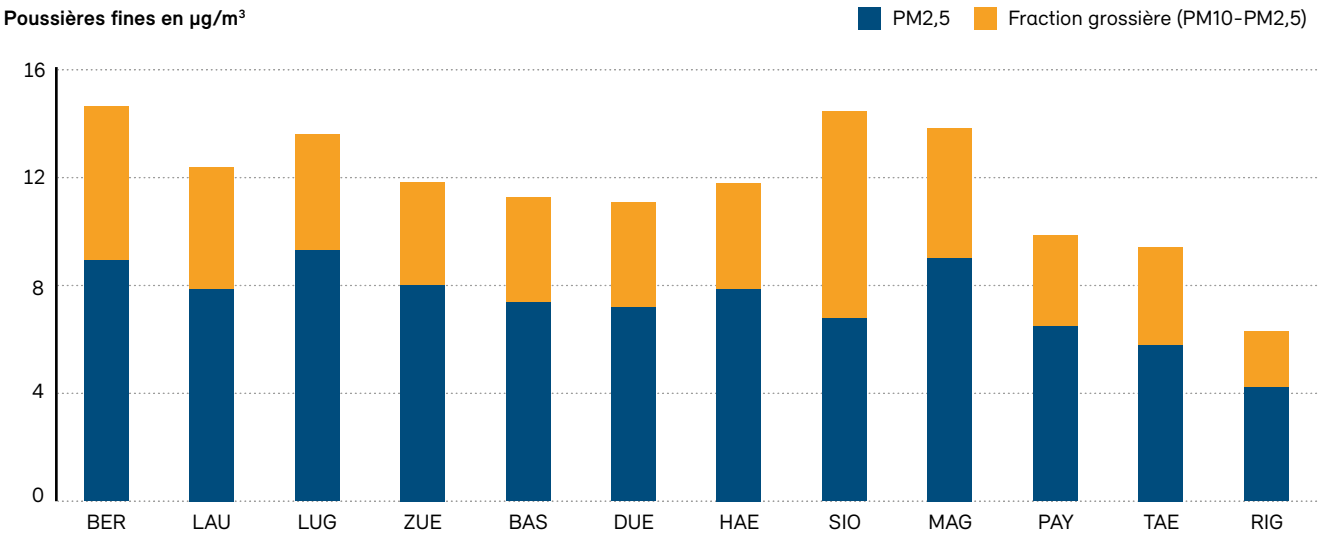


Fig. 8 : Concentrations de PM2,5 et fraction grossière en 2024

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



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/m³. Les plus fortes charges de benzo(a)pyrène ont été mesurées dans des régions rurales du sud des Alpes (Magadino-Cadenazzo 0,34 ng/m³). Des concentrations plus élevées sont mesurées dans les villages où le chauffage au bois est très répandu.

Métaux lourds

La teneur en métaux lourds des poussières fines PM10 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 µm) 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. 10). Tout comme pour les PM10 (fig. 6) et le NO₂ (fig. 13), les concentrations les plus élevées sont mesurées à proximité des axes routiers, où l'on enregistre de fortes variations interannuelles.

5.2 Ozone

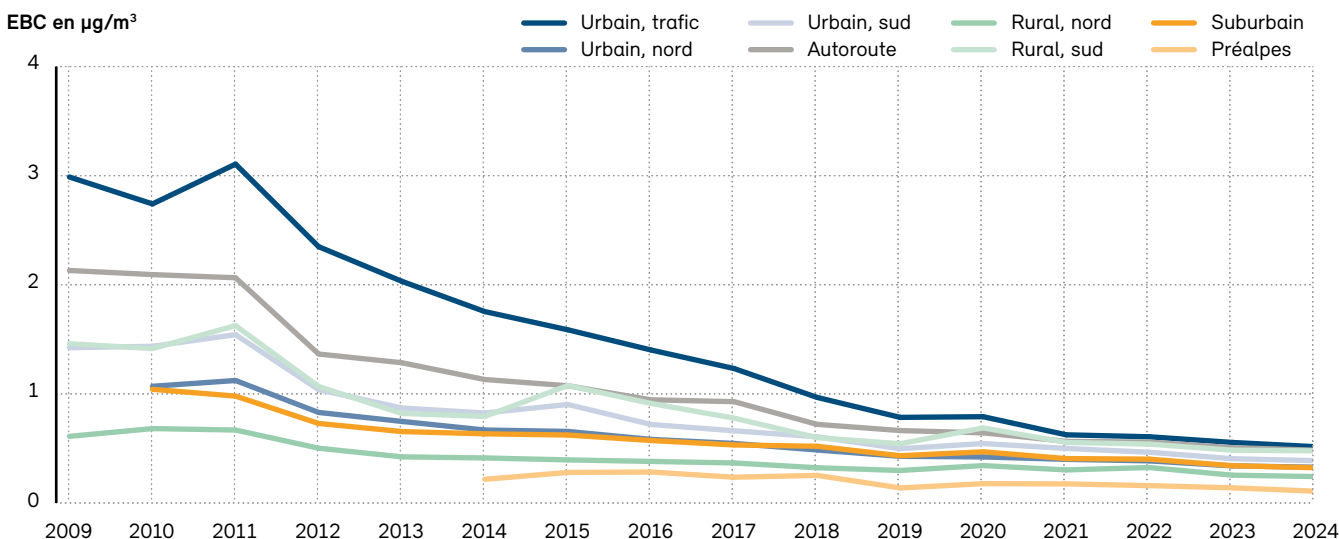
L'ozone est un gaz incolore, à l'odeur légèrement piquante et faiblement soluble dans l'eau. Il est l'un des principaux gaz présents à l'état de trace dans l'atmosphère terrestre et joue un rôle central dans trois problèmes environnementaux majeurs : le smog estival, le « trou de la couche d'ozone »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

Fig. 9 : Moyennes annuelles de suie (EBC = equivalent black carbon)



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 gaz qui influencent le climat. Toutefois, sa durée de vie est relativement courte. La figure 11 dessine l'évolution de la charge d'ozone proche du sol avec le percentile 98 mensuel le plus élevé des moyennes semi-horaires.

Dans toute la Suisse, la valeur limite d'immission fixée à $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ est encore nettement dépassée, bien que la charge d'ozone ait diminué ces dernières décennies. L'ozone suit un parcours annuel typique qui est fondamentalement différent de celui de la plupart des polluants. La représentation des percentiles 98 mensuels (fig. 12) montre que les valeurs les plus élevées apparaissent en été, car le fort rayonnement du soleil favorise la formation d'ozone. En raison des conditions météorologiques, les valeurs enregistrées au début de l'été 2024 ont été légèrement inférieures à celles de l'année précédente.

Fig. 10 : Moyennes annuelles des concentrations en nombre de poussières ultrafines

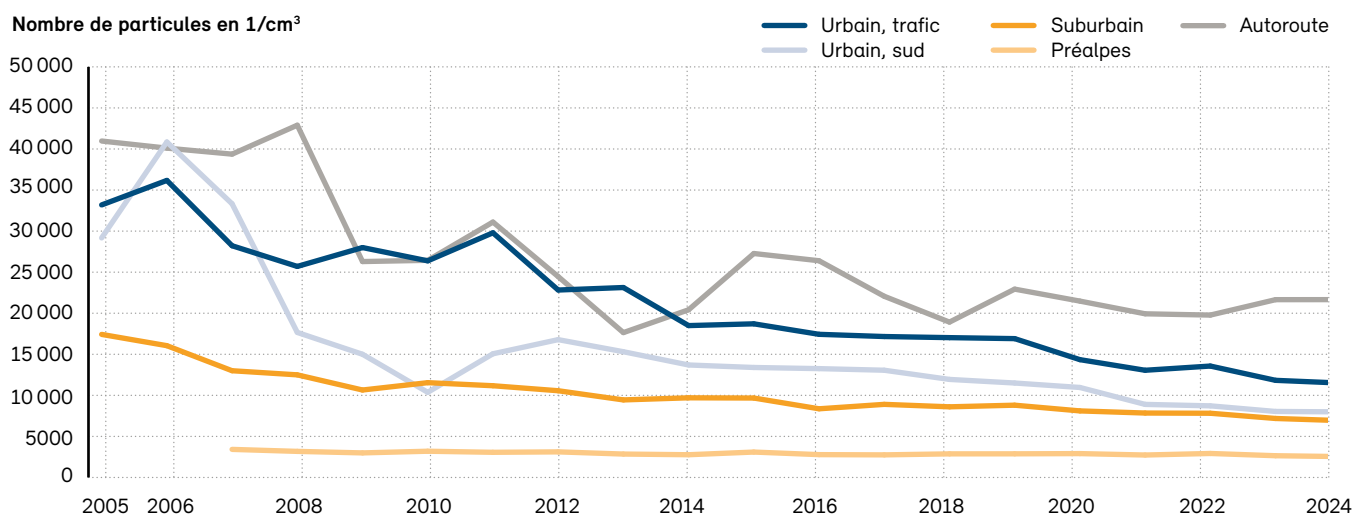
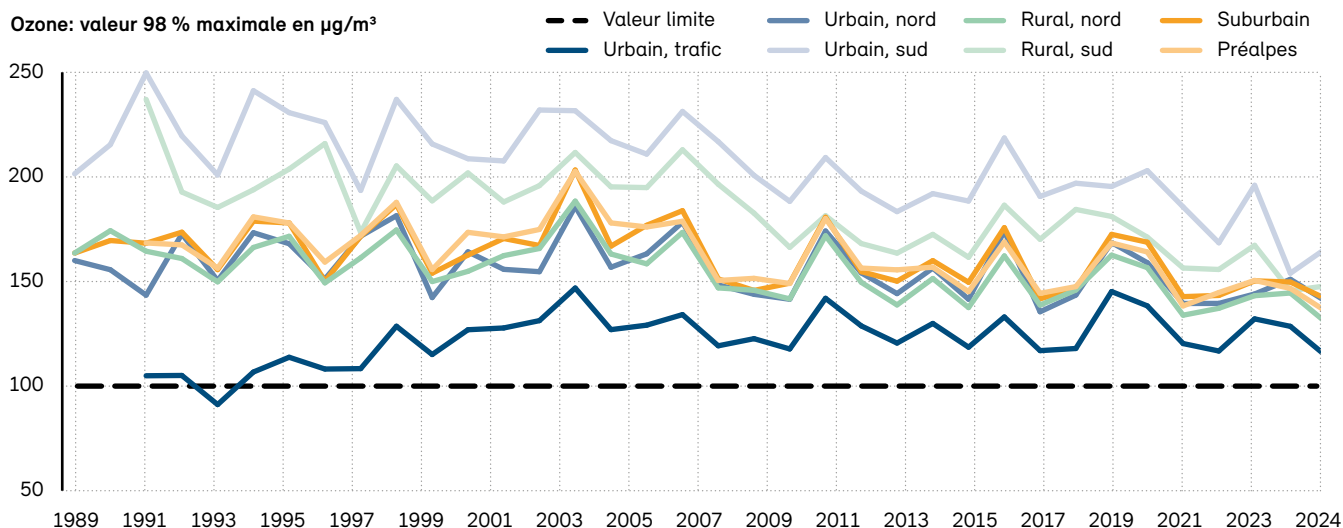


Fig. 11 : Percentile 98 mensuel le plus élevé des moyennes semi-horaires pour l'ozone



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. Les oxydes d'azote désignent la somme de ces deux substances. 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 surfertilisation des écosystèmes.

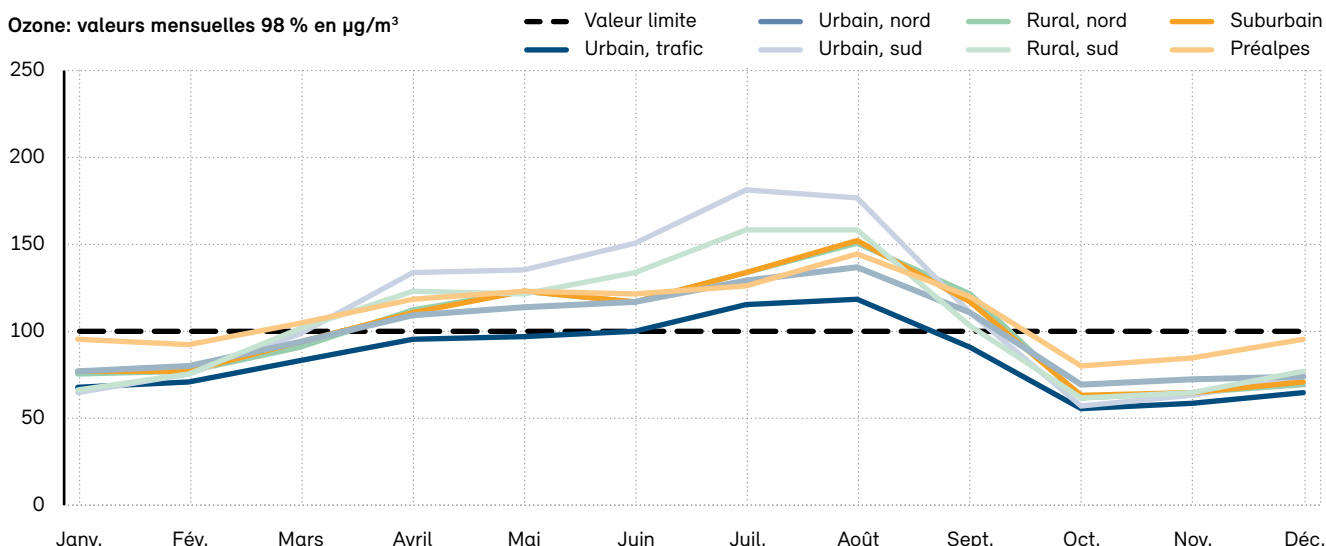
Dioxyde d'azote

L'évolution de la charge de dioxyde d'azote est représentée à la figure 13. La concentration de dioxyde d'azote a diminué à toutes les stations au cours des dernières décennies. Les valeurs limites tant annuelle que journalière ont été respectées à toutes les stations NABEL en 2024 (cf. tab. 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 est élevée (fig. 14) par rapport aux niveaux critiques recommandés dans la convention sur la pollution atmosphérique transfrontière (moyenne annuelle selon le type de végétation comprise entre 1 et 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ d'ammoniac). Les pics les plus élevés sont relevés pendant les périodes d'épandage de lisier.

Fig. 12 : Percentiles 98 mensuels des moyennes semi-horaires pour l'ozone en 2024



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, 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

Fig. 13 : Moyennes annuelles de dioxyde d'azote

Dioxyde d'azote en $\mu\text{g}/\text{m}^3$

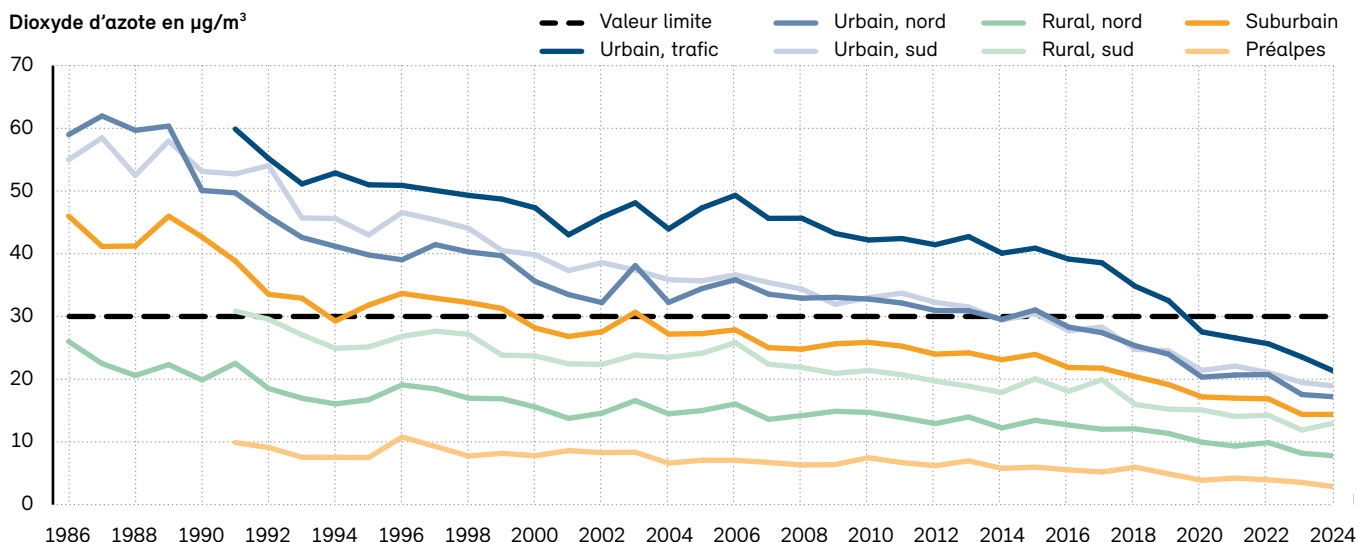
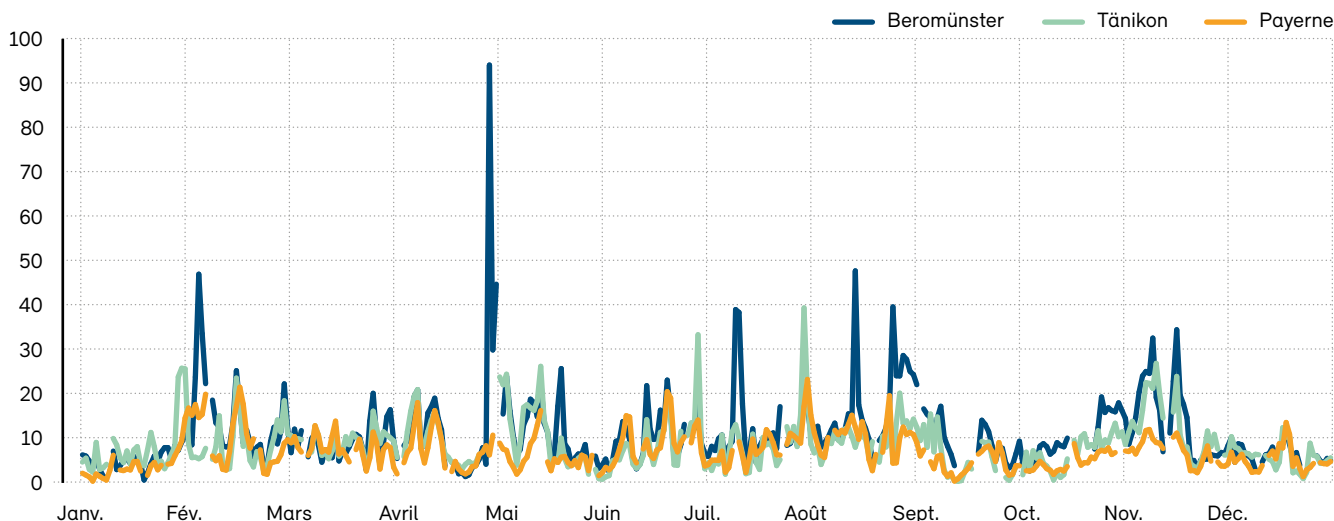


Fig. 14 : Moyennes journalières d'ammoniac en 2024

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

Ammoniac en $\mu\text{g}/\text{m}^3$



dans les eaux. À ce sujet, l'apport direct et indirect d'acides, responsables de l'acidification, et l'apport de substances azotées, responsables 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. 15). Ce phénomène résulte notamment de la baisse de la charge de sulfate (fig. 16), 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, voire à peine diminué au cours des dernières décennies (fig. 17 et 18).

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 baissé au cours des dernières décennies (fig. 19), principalement grâce à la teneur réduite en soufre des carburants et des combustibles.

Fig. 15 : Acidité des précipitations (valeur du pH)

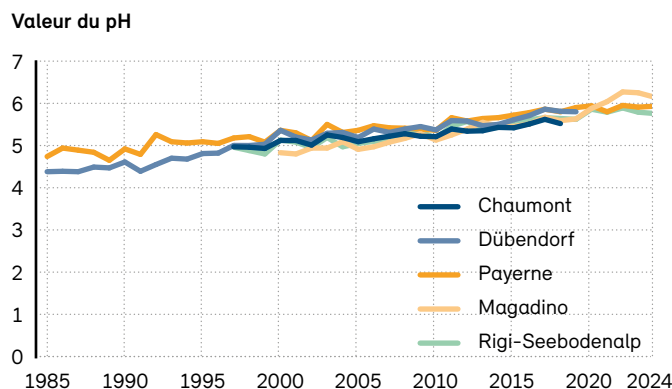


Fig. 16 : Charges annuelles de sulfate dans les précipitations

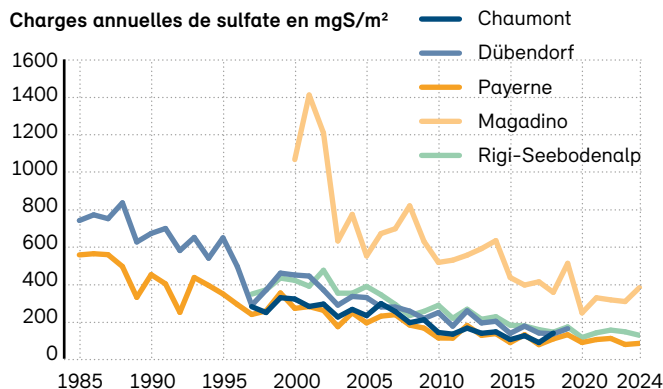


Fig. 17 : Charges annuelles de nitrate dans les précipitations

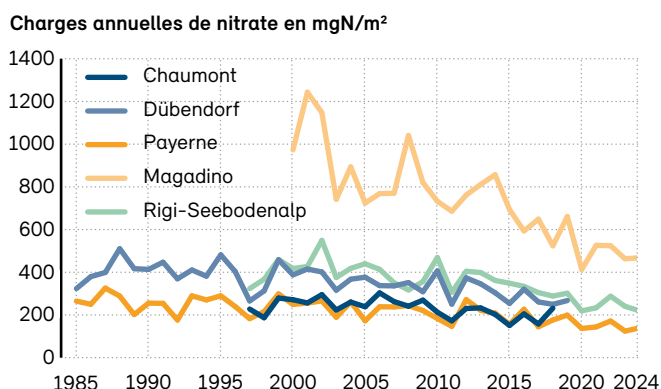
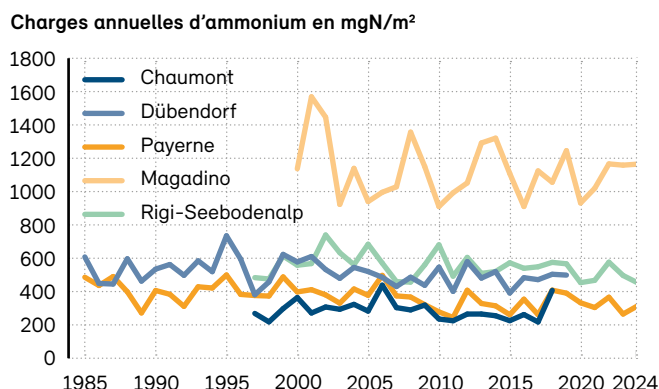


Fig. 18 : Charges annuelles d'ammonium dans les précipitations



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 des valeurs enregistrées à cette époque. 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/m³ est respectée aujourd'hui à toutes les stations NABEL, et toutes les moyennes journalières mesurées sont inférieures à 1,5 mg/m³.

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 considérée 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. 20). Plusieurs COV ont des propriétés cancérogènes (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 cancérogènes. Les concentrations de benzène mesurées à plusieurs stations ont également diminué et se situent aujourd'hui entre 0,3 et 0,6 µg/m³, soit bien en dessous de la valeur indicative de l'UE (5 µg/m³).

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

Fig. 19 : Moyennes annuelles de dioxyde de soufre

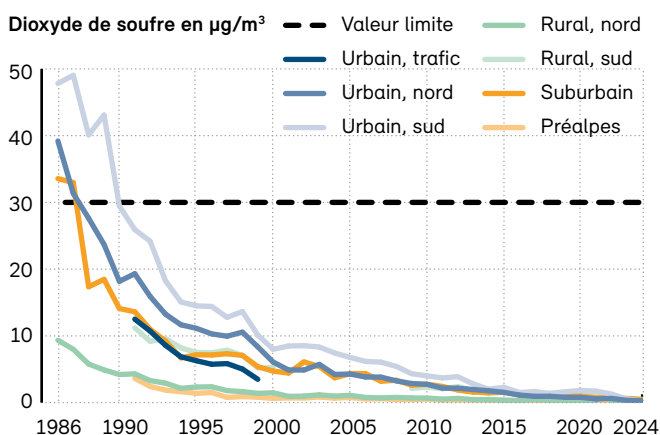
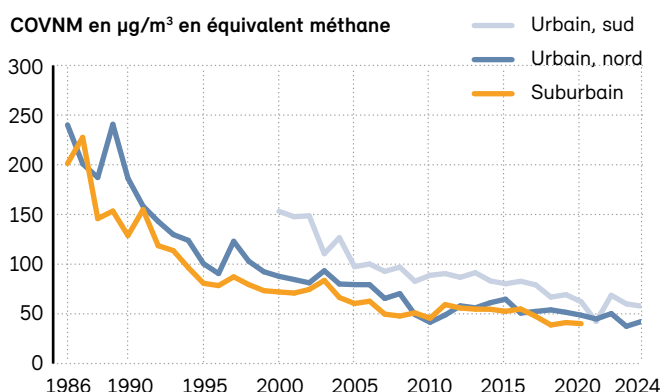


Fig. 20 : Moyennes annuelles des composés organiques volatils non méthaniques (COVNM)



nord. La figure 21 montre les moyennes mensuelles du dioxyde de carbone et du protoxyde d'azote depuis le début des mesures, et la figure 22, 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.

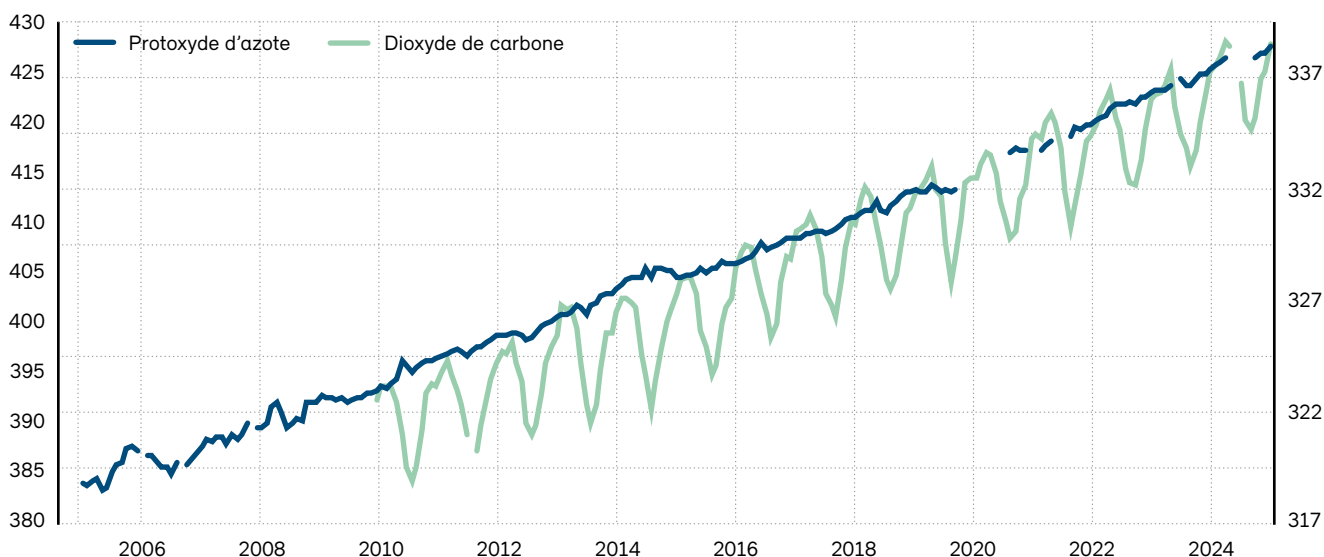
La concentration de dioxyde de carbone (CO_2) révèle de fortes variations saisonnières, qui reflètent essentiellement l'absorption de ce gaz par la végétation au cours de l'été. La concentration de gaz hilarant (N_2O) a augmenté de plus de 5 % depuis le début des mesures en 2005. Ce gaz provient principalement des sols très fertilisés ou il dérive de processus de combustion. Le méthane (CH_4), 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 la suie, l'ozone et le sulfate, jouent également un rôle dans les changements climatiques.

Au Jungfraujoch, on mesure aussi les composés halogénés qui agissent comme gaz à effet de serre. Les deux substances F11 (CCl_3F) et 1,1,1-trichloréthane (CH_3CCl_3) indiquées à la figure 23 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. 21 : Moyennes mensuelles du dioxyde de carbone et du protoxyde d'azote au Jungfraujoch
Dioxyde de carbone en ppm

Protoxyde d'azote en ppb



Le composé F134a (CH_2FCF_3) 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. 23), 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. 22 : Moyennes mensuelles du méthane au Jungfraujoch

Méthane en ppm

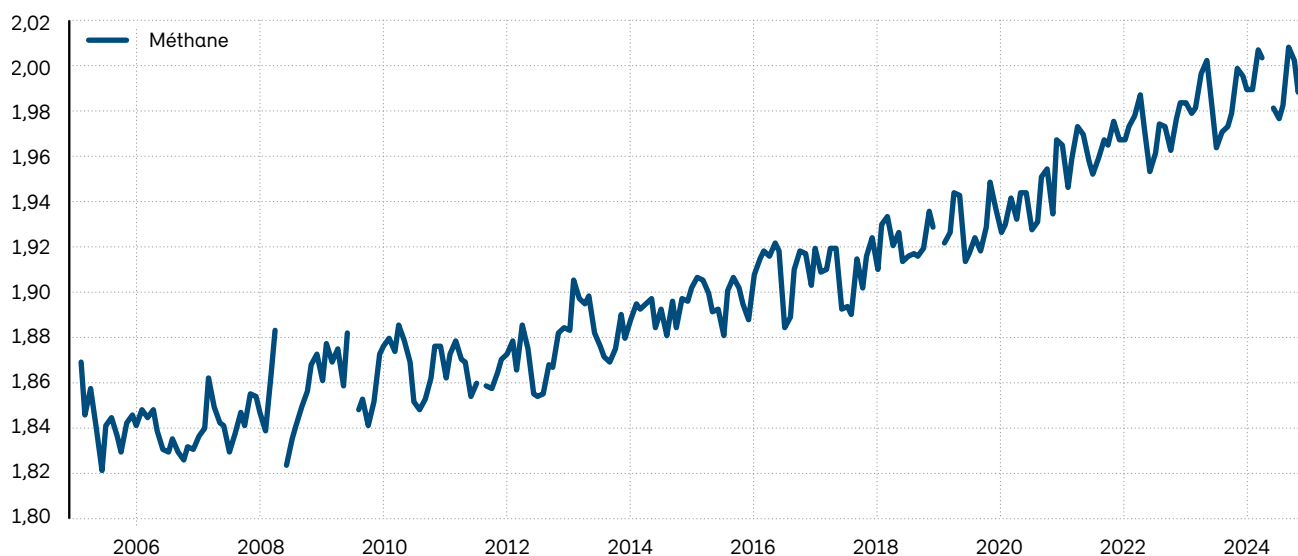
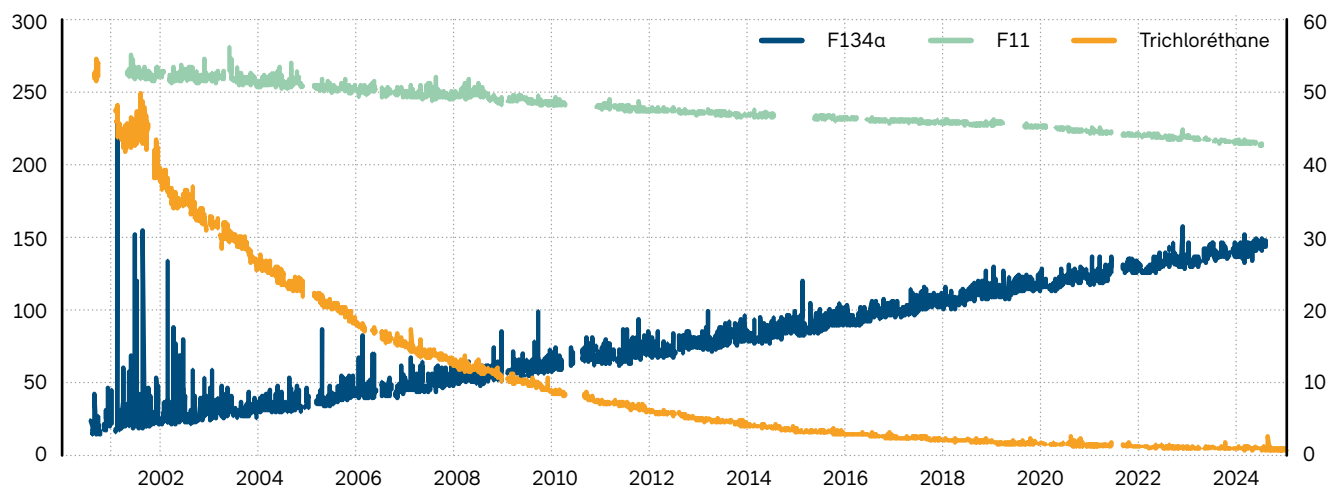


Fig. 23 : Moyennes journalières des composés halogénés au Jungfraujoch

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.

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 nombreux polluants atmosphériques. Parallèlement aux réductions d'émissions, les concentrations des polluants atmosphériques ont diminué (fig. 24 à 27). 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. 27), 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 PM_{2,5} et PM₁₀, les valeurs limites ont été respectées en 2024. S'agissant de l'ozone, par contre, les valeurs limites ont été dépassées aux seize stations du réseau NABEL. Les apports d'azote 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 tous les problèmes en une fois. Toute action qui entraîne une réduction des émissions de polluants est utile. 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. 24 : 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 égaler 100 % en 2000. Les émissions 2024 sont des prévisions qui ne tiennent pas compte des effets possibles provenant de la pandémie de coronavirus.

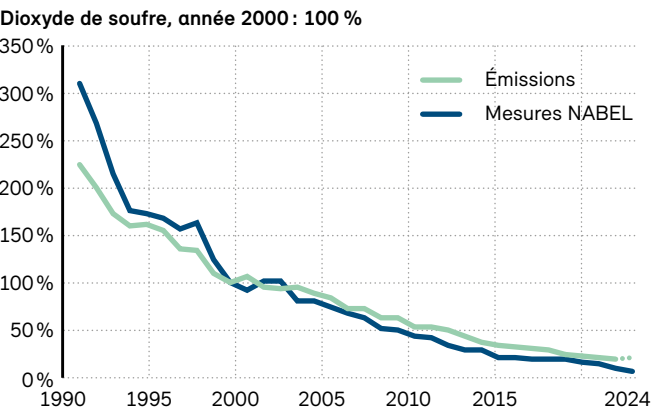


Fig. 25 : Évolution des émissions d'oxydes d'azote et de leur concentration dans l'air ambiant

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

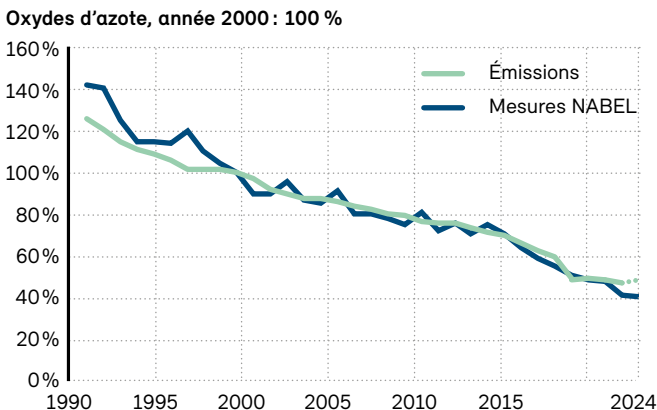


Fig. 26 : Évolution des émissions de COVNM et de leur concentration dans l'air ambiant

COVNM désigne les composés organiques volatils non méthaniques.

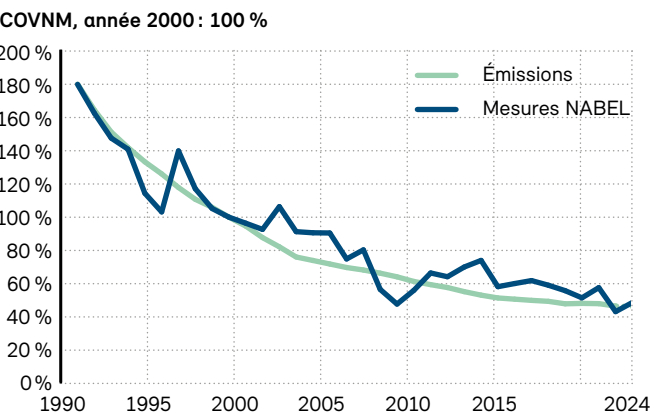
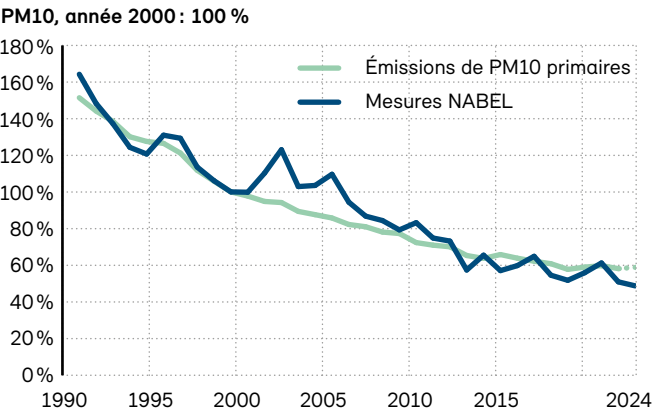


Fig. 27 : Évolution des émissions de PM10 et de leur concentration dans l'air ambiant

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



Annexe

En vertu de l'art. 39, al. 1, de l'ordonnance 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, LPE) et à assurer l'information de la population (art. 10^e 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 à Dübendorf, conformément à l'art. 39, al. 2, 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 projet CLIMGAS-CH au

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

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

Jungfrauoch, 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 via 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 fait 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 > *Thèmes > Air*

Résultats détaillés des mesures du réseau NABEL 2024 : www.bafu.admin.ch > *Thèmes > Thème Air > Pollution de l'air > Qualité de l'air > Données historiques > Rapports annuels et mensuels NABEL*

Description du réseau NABEL : www.bafu.admin.ch > *Thèmes > Thème Air > Pollution de l'air > Réseau de mesures NABEL*

Autres informations sur le réseau NABEL : www.empa.ch/web/s503/nabel

Informations détaillées sur la pollution atmosphérique : www.bafu.admin.ch > *Thèmes > Thème Air > Pollution de l'air*

Mesures des gaz à effet de serre (en anglais) : www.empa.ch/web/s503/climate-gases

Autres rapports NABEL : www.bafu.admin.ch > *Thèmes > Thème Air > Pollution de l'air > Réseau de mesures NABEL > Rapports*

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

Pollution de l'air et santé : www.bafu.admin.ch > *Thèmes > Thème Air > Publications > Pollution de l'air et santé*

www.bafu.admin.ch > *Thèmes > Thème Air > Effets > Effets sur la santé*

Rapport de la Commission fédérale pour l'hygiène de l'air (CFHA) sur les nouvelles lignes directrices OMS relatives à la qualité de l'air 2021 : *Les nouvelles lignes directrices OMS relatives à la qualité de l'air 2021 et leur importance pour l'ordonnance fédérale sur la protection de l'air*