



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

MétéoSuisse

Département fédéral de l'intérieur DFI

Office fédéral de météorologie et de climatologie MétéoSuisse

Rapport climatologique 2024



Rapport climatologique 2024

Éditeur

Office fédéral de météorologie et de climatologie
MétéoSuisse
Département climat
Operation Center 1
CH-8058 Zürich-Flughafen

 meteosuisse.ch

 serviceclient@meteosuisse.ch

Rédaction

Elias Zubler, Stephan Bader, Thomas Schlegel

Auteurs

Stephan Bader, Simone Bircher, Martine Collaud Coen,
Anke Duguay-Tetzlaff, Christoph Frei, Sophie Fukutome,
Regula Gehrig, Eliane Maillard Barras, Giovanni Martucci,
Gonzague Romanens, Rolf Rüfenacht, Christoph Spirig,
Laurent Vuilleumier, Elias Zubler

Distribution

OFCL, Vente des publications fédérales
CH-3303 Berne

 www.publicationsfederales.admin.ch

Numéro d'article : 313.013.f 09.25 80 860571551/2

ISSN : 2296-1496

Merci de bien vouloir citer le présent rapport comme suit :

MétéoSuisse 2025 : Rapport climatologique 2024.
Office fédéral de météorologie et de climatologie.
MétéoSuisse, Zurich. 100 p.

Table des matières

	Résumé	4
	Summary	7
1	Évolution du climat en 2024	8
2	Diagrammes représentant l'évolution annuelle	18
	Température, durée d'ensoleillement et précipitations Berne-Zollikofen	18
	Température, durée d'ensoleillement et précipitations Lugano	19
	Évolution annuelle du rayonnement global	20
	Limite du zéro degré en atmosphère libre	22
	Altitude de la tropopause	23
	Fortes précipitations exceptionnelles	24
	Cycle annuel du rayonnement UV erythémal	25
	Série de mesures de l'ozone d'Arosa/Davos	26
	Mesures de l'ozone à Payerne	28
	Mesures des aérosols au Jungfraujoch	30
	Poussières du Sahara	31
	Développement de la végétation	32
	Printemps	32
	Été	33
	Automne	34
	Saison pollinique	36
3	Particularités de l'année 2024	42
3.1	Été marqué par des intempéries	42
3.2	Des précipitations record en Suisse orientale	44
3.3	Beaucoup de foehn au Nord des Alpes	46
4	Climat global et événements météorologiques	50
4.1	Une année exceptionnellement chaude au niveau mondial	51
4.2	El Niño et La Niña	52
4.3	Événements particuliers	54
5	Surveillance du climat	58
5.1	Atmosphère	60
5.1.1	Mesures au sol	60
5.1.2	Atmosphère libre	74
5.1.3	Composition de l'atmosphère	80
5.2	Terres émergées	84
5.3	Origine des données et méthodes	90
	Références	95

Résumé

La température moyenne annuelle à l'échelle nationale a atteint 7,2°C. L'année 2024 a ainsi été 1,4°C plus chaude que la période de référence 1991–2020 et s'est classée au troisième rang depuis le début des mesures en 1864, derrière les deux années précédentes, 2022 et 2023. Dans certaines stations situées dans les Alpes centrales et orientales, 2024 a été l'année la plus chaude depuis le début des mesures. Cela a été le cas à Davos, Elm, Engelberg et au Säntis. L'année 2024 s'inscrit ainsi dans la tendance au réchauffement observée depuis plusieurs décennies. La Suisse a connu l'hiver le plus doux depuis le début des mesures en 1864, avec un écart de +2,8°C par rapport à la période de référence 1991–2020. La température en février a été aussi douce qu'un mois de mars supérieur à la moyenne et a établi de nouveaux records avec 4,6°C au-dessus de la référence 1991–2020. L'hiver 2023/2024 a également été très arrosé, avec des précipitations atteignant 130 à 160 % de la référence 1991–2020.

Le printemps 2024 a été plus doux que la moyenne, avec de nombreuses précipitations et peu de soleil. L'été a commencé par de nombreux orages en juin. Le Sud des Alpes et le Valais ont été particulièrement touchés. Localement, les fortes précipitations ont provoqué des inondations. Dans la Mesolcina, une coulée de boue a causé d'importants dégâts et malheureusement aussi des victimes.

Après les intempéries de juin, le mois de juillet a été chaud et le mois d'août s'est montré le deuxième plus chaud depuis le début des mesures en 1864. Août 2024 a également été localement le deuxième mois d'août le plus ensoleillé depuis le début des relevés. Avec 0,9°C au-dessus de la période de référence 1991–2020, la Suisse a enregistré le neuvième automne le plus doux depuis le début des mesures en 1864. L'automne s'est terminé par une longue période de haute pression et un ensoleillement important dans certaines régions en novembre.

Au niveau mondial, l'année 2024 a été la plus chaude depuis le début des mesures en 1850. Elle a même dépassé l'année précédente, qui a déjà été exceptionnellement chaude. Elle a été supérieure de 1,2°C à la référence 1961–1990. La chaleur a dominé sur tous les continents. Les dix dernières années, depuis 2015, ont été les plus chaudes depuis le début des mesures.

L'évolution de la température en Suisse sur le long terme, de 1864 à 2024, montre clairement les effets du changement climatique anthropique à l'échelle mondiale. L'augmentation de la température à long terme en Suisse depuis la période de référence préindustrielle 1871–1900 s'élève à 2,9°C. La température augmente en

toutes saisons. Conformément à l'augmentation générale des températures en Suisse, le nombre de jours estivaux a nettement augmenté, tandis que le nombre de jours de gel a diminué. Parallèlement à la température, on observe une élévation de la limite du zéro degré. Le réchauffement général se traduit également par un développement plus précoce de la végétation.

L'évolution des précipitations en Suisse entre 1864 et 2024 est dominée par des fluctuations décennales et annuelles. En hiver, on constate une augmentation à long terme des précipitations. Au cours des autres saisons, il n'y a pas de changement à long terme dans les sommes pluviométriques. Toutefois, des études montrent que la fréquence et l'intensité des fortes précipitations journalières ont augmenté. Si l'on considère les 40 dernières années, les étés suisses sont toutefois devenus plus secs en moyenne. Outre une légère diminution des précipitations, l'augmentation de l'évaporation a contribué à ces conditions plus sèches.

Au cours des 50 à 60 dernières années, on constate une nette diminution de la neige fraîche et de l'enneigement dans les Alpes.

La situation de l'ozone dans la haute atmosphère au-dessus de la Suisse est restée stable ces dernières années, après une diminution de l'ozone total d'environ 6 % entre 1970 et 1995.





Summary

The national mean annual temperature reached 7.2°C, placing the year 2024 at 1.4°C above the reference period 1991–2020 and ranking it third since measurements began in 1864, behind the previous two years, 2022 and 2023. At individual measuring stations in the central and eastern Alpine regions, 2024 was the warmest year on record. Davos, Elm, Engelberg, and Säntis all reported record-breaking annual temperatures. This confirms the clear warming trend observed over the past decades.

Switzerland experienced its mildest winter on record since 1864, with a deviation of +2.8°C from the reference period 1991–2020. February temperatures were as warm as those of an exceptionally mild March, setting new benchmarks at 4.6°C above the 1991–2020 reference. The winter of 2023/2024 was also exceptionally wet, with precipitation reaching 130–160% of the reference period.

Spring 2024 was warmer than average, with high precipitation levels and below-average sunshine. The summer began with severe storms in June, particularly affecting the southern Alpine region and the canton of Valais. In some areas, the heavy rainfall led to flooding. In Misoix, a debris flow caused significant destruction and, tragically, loss of life.

Following the June storms, July was warm, and August became the second warmest on record since 1864. In some locations, August 2024 was also the second sunniest August ever recorded. With temperatures 0.9°C above the 1991–2020 reference period, Switzerland experienced its ninth mildest autumn on record. The autumn ended with prolonged high-pressure weather, bringing plenty of sunshine to many regions in November.

Globally, 2024 was the warmest year since measurements began in 1850, exceeding the 1961–1990 reference by 1.2°C. Warmth dominated on all continents. The last ten years since 2015 have been the warmest since the beginning of measurements.

A clear sign of man-made global climate change is reflected in the long-term temperature trend in Switzerland from 1864 to 2024. The temperature increase in Switzerland from the pre-industrial reference period 1871–1900 to the present day amounts to 2.9°C. The temperature is increasing in all seasons. In line with the general temperature increase in Switzerland, the number of summer days has risen significantly, while the number of frost days has decreased. A rise of the zero degree level can be observed in agreement with the temperature increase. The general warming is also reflected in an earlier vegetation development.

Precipitation development in Switzerland in the period 1864–2024 is dominated by decadal and year-to-year fluctuations. A long-term increase in precipitation can be observed in winter. In the other seasons, there is no long-term change in precipitation sums. However, studies show that the frequency and intensity of daily heavy precipitation has increased. On the other hand, looking at the last 40 years, Swiss summers have become drier on average. In addition to slight decreases in precipitation, increasing evaporation has contributed to the drier conditions.

There has been a clear decline in snowfall and snow depth in the Alpine region over the last 50–60 years.

The ozone situation in the higher atmosphere above Switzerland has remained stable in recent years. This follows a decrease in total ozone of around 6% between 1970 and 1995.

1 Évolution du climat en 2024

La Suisse a connu une nouvelle année extrêmement chaude. Elle a débuté par l'hiver le plus doux depuis le début des mesures. Le printemps a été particulièrement pluvieux dans de nombreuses régions, surtout au Sud des Alpes. L'été a été marqué par le deuxième mois d'août le plus chaud depuis le début des mesures et par quelques graves intempéries. A la fin de l'automne, les régions de basse altitude des deux côtés des Alpes ont enregistré des chutes de neige record.

Température annuelle proche des records

La température moyenne annuelle à l'échelle nationale a atteint 7,2°C. L'année 2024 a ainsi été 1,4°C plus chaude que la période de référence 1991–2020. L'année 2023 avait atteint une moyenne nationale de 7,3°C. La valeur la plus élevée depuis le début des mesures en 1864 a été enregistrée en 2022, avec 7,4°C.

Dans certains sites des Alpes centrales et orientales, il s'agit de l'année la plus chaude depuis le début des mesures. Cela a été le cas à Davos, Elm, Engelberg et au Säntis. Au Sud des Alpes, la moyenne régionale annuelle s'est située 1,3°C au-dessus de la période de référence 1991–2020. L'année précédente, 2023, avait déjà enregistré un écart de 1,4°C par rapport à la référence. L'année 2022 occupe également la première place au Sud, avec un écart de 1,5°C au-dessus de la référence.

L'hiver le plus doux avec un record en février

La Suisse a connu l'hiver le plus doux depuis le début des mesures en 1864. La température de l'hiver 2023/24 a été supérieure de 2,8°C à celle de la période de référence 1991–2020. L'hiver 2019/20 avait été tout aussi doux, avec une température supérieure de 2,6°C à la référence.

Le mois de décembre 2023 a été 2,0°C plus doux que la période de référence 1991–2020. Il s'agit du cinquième mois de décembre le plus doux depuis le début des mesures en 1864. Le mois de janvier 2024 a également été très doux, avec 1,6°C au-dessus de la référence. Localement, il s'agit de l'un des mois de janvier les plus doux depuis le début des mesures. Plusieurs sites ont mesuré des records de températures maximales journalières.

Avec 4,6°C au-dessus de la référence, la température en février 2024 a atteint un nouveau record. Sur l'ensemble des mois, il s'agit du deuxième écart mensuel positif le plus élevé depuis le début des mesures en 1864. Seul le mois de juin 2003 a enregistré un écart positif légèrement supérieur, avec 4,7°C au-dessus de la référence 1991–2020. La douceur exceptionnelle en février a été suivie d'un mois de mars plus doux que la moyenne.

Au Sud des Alpes, les températures en février ont localement dépassé de loin les valeurs connues jusqu'à présent. A Poschiavo, par exemple, le mois a été 1,6°C plus chaud que le précédent record de février 2020. Le foehn du nord a certainement contribué à ces températures exceptionnelles pour un mois de février. Du 2 au 5 février, il a apporté des conditions très douces dans certaines régions du Sud.

Un hiver riche en précipitations

Le mois de décembre 2023 a été marqué par des précipitations largement excédentaires dans toute la Suisse. Dans plus de 90 stations, il a figuré parmi les cinq, voire les trois mois de décembre les plus arrosés depuis le début des mesures. Des records locaux ont été enregistrés en décembre. En janvier, le Nord des Alpes a reçu des précipitations souvent excédentaires, tandis que le Sud des Alpes et l'Engadine ont finalement connu le mois de février le plus arrosé ou le deuxième plus arrosé depuis le début des mesures.

Sur l'ensemble de l'hiver 2023/24, les sommes pluviométriques ont atteint 130 à 160 % de la période de référence 1991–2020. En Engadine, les valeurs se sont généralement situées autour de 180 % de la référence. Au Sud des Alpes, les sommes hivernales ont même dépassé localement 180 % de la référence. Localement, cet hiver a été l'un des dix plus pluvieux depuis le début des mesures.

Beaucoup de neige dans les Alpes orientales

Dans les hautes altitudes des Alpes orientales, l'enneigement a été nettement supérieur à la moyenne 1991–2020 pendant tout l'hiver. Dans les autres régions montagneuses du Nord des Alpes et du Valais, des hauteurs de neige supérieures à la moyenne ont été enregistrées pendant une période prolongée au début de l'hiver. Dans les montagnes du Sud des Alpes, des quantités considérables de neige fraîche sont tombées, surtout entre fin février et début mars. Ce n'est qu'à partir de cette période que le manteau neigeux du Sud des Alpes s'est maintenu pendant une période prolongée nettement au-dessus de la moyenne 1991–2020.

Un printemps doux, arrosé et peu ensoleillé

En moyenne nationale, la température du printemps a dépassé de 0,8 °C la référence, se classant ainsi au 7^e rang des printemps les plus chauds depuis 1864. Le mois de mars a été particulièrement doux, tandis que les températures en avril ont été légèrement supérieures à la référence et celles de mai dans la fourchette de référence.

Durant le printemps 2024, la plupart des régions de Suisse ont enregistré des précipitations excédentaires. Les conditions très humides ont été particulièrement marquées au Sud des Alpes et dans les régions voisines. Les mois de mars et mai, très pluvieux, ont été à l'origine de ce printemps arrosé. Plusieurs stations disposant de séries de mesures centenaires ont enregistré l'un des dix printemps les plus arrosés. Pour certaines d'entre elles, il s'agit même de l'un des trois printemps les plus arrosés jamais enregistrés. A Elm, avec environ 600 mm, le printemps 2024 occupe la première place depuis le début des mesures en 1878. Seul le printemps 1896 a été aussi arrosé.

Durant le printemps, l'ensoleillement n'a atteint que 70 à 80 % de la période de référence 1991–2020. Dans plusieurs stations, ce printemps a été l'un des dix moins ensoleillés depuis le début des mesures. Samedan, en Haute-Engadine, a enregistré le printemps le moins ensoleillé depuis le début des mesures en 1901. Le printemps 1988 avait été le dernier printemps aussi peu ensoleillé dans cette région.

Juillet chaud, deuxième mois d'août le plus chaud

La température moyenne de l'été 2024 à l'échelle nationale a dépassé de 1,6 °C celle de la période de référence 1991–2020. Il s'agit du sixième été le plus chaud depuis le début des mesures en 1864. Dans les Alpes, il s'agit localement du troisième ou quatrième été le plus chaud depuis le début des mesures.

La température nationale en juin n'a que légèrement dépassé celle de la période de référence 1991–2020. Au Sud des Alpes, la température en juin est restée légèrement inférieure à la référence dans de nombreux endroits. Par la suite, la Suisse a connu le dixième mois de juillet le plus

chaud depuis le début des mesures en 1864. Sur certains sites en altitude et au Sud des Alpes, il s'agit de l'un des cinq mois de juillet les plus chauds depuis le début des mesures. L'été s'est terminé par le deuxième mois d'août le plus chaud depuis le début des mesures en 1864. Neuf stations avec des séries de mesures de plus de 60 ans ont enregistré le mois d'août le plus chaud depuis le début des mesures. Au Weissfluhjoch et au Säntis, il s'agit même du mois le plus chaud depuis le début des mesures.

Avec un mois d'août extrêmement chaud, le Sud des Alpes a connu un nombre inhabituel de nuits tropicales. Lugano a enregistré un nombre record de 41 nuits tropicales au cours des trois mois d'été. Le précédent record, établi lors de l'été caniculaire de 2003, a été nettement plus bas avec 33 nuits tropicales.

Juin régionalement arrosé, août très ensoleillé

Les trois mois d'été ont globalement connu des précipitations déficitaires, comprises entre 70 et 90 % de la référence 1991–2020. Au Sud des Alpes, certaines stations ont enregistré moins de 60 % de la référence estivale.

Les quantités enregistrées en juin ont atteint régionalement 140 à 180 % de la référence 1991–2020. Au Nord des Alpes, l'un des mois de juin les plus arrosés depuis le début des mesures a été enregistré localement. En juillet et en août, en revanche, les cumuls mensuels sont restés largement déficitaires. De nombreux sites disposant de séries de mesures sur plus de 60 ans ont enregistré l'un des mois d'août les moins pluvieux. Dans quelques sites, il s'agit même du mois d'août le moins pluvieux depuis le début des mesures.

Après un mois de juin gris et un mois de juillet normalement ensoleillé, le mois d'août a été très ensoleillé. En de nombreux endroits, l'ensoleillement en août a oscillé entre 120 et 130 % de la référence 1991–2020. Certains sites avec des séries de mesures de plus de 60 ans ont enregistré l'un des dix mois d'août les plus ensoleillés. A Genève et à Locarno Monti, il s'agit du deuxième mois d'août le plus ensoleillé depuis le début des mesures.

Graves intempéries en été

Le mois de mai, marqué par de fortes précipitations en fin de mois et d'autres précipitations importantes au début du mois de juin, a entraîné une situation tendue de crue avec des inondations en Suisse orientale, du lac des Quatre-Cantons au lac de Constance et le long du Rhin.

Dans la nuit du 20 au 21 juin, de l'air chaud et humide provenant du sud a traversé les Alpes et apporté de fortes précipitations dans les vallées du sud du Valais et au Sud des Alpes. Combinées à la fonte des neiges suite aux chaleurs des jours précédentes, ces précipitations ont entraîné des débits importants. Dans les régions de Zermatt (Valais) et de la Mesolcina (Sud des Alpes), des torrents en crue et les éboulis qu'ils ont emportés ont causé des dégâts considérables.

Le 29 juin, de l'air humide et instable a été acheminé vers la région alpine depuis le sud. De puissants orages se sont abattus sur certaines parties du Haut-Valais et du Tessin, apportant en peu de temps d'énormes quantités de précipitations. Les pluies torrentielles ont fait gonfler les ruisseaux et les rivières en peu de temps, qui ont débordé de leur lit. Les crues et les éboulis entraînés par les torrents ont de nouveau causé des dégâts considérables.

Dans la nuit du 6 au 7 juillet, de fortes précipitations se sont abattues du Sud du Tessin jusqu'en Haute-Engadine, en passant par le Val Bregaglia. Les eaux des torrents en crue et les éboulis qu'ils ont entraînés ont causé des dégâts localisés. Ceux-ci ont toutefois été bien moins importants que lors des intempéries dévastatrices du mois de juin dernier.

Le 12 août, des orages violents accompagnés de fortes précipitations se sont abattus localement sur l'Oberland bernois en peu de temps. Les masses d'eau et de débris ont causé d'importants dégâts aux maisons, aux routes et aux installations ferroviaires à Brienz. La route et la ligne ferroviaire menant à Grindelwald ont également été interrompues par des masses d'eau et de débris.

Un automne doux avec une fin de saison ensoleillée

Avec 0,9°C au-dessus de la période de référence 1991–2020, la Suisse a enregistré le neuvième automne le plus doux depuis le début des mesures en 1864. Après un mois de septembre légèrement plus frais que la moyenne, les mois d'octobre et de novembre ont été particulièrement doux, surtout en altitude. Au niveau national, octobre a été le huitième mois le plus chaud et, localement en altitude, le cinquième mois le plus chaud depuis le début

des mesures. Par la suite, certaines stations alpines ont enregistré l'un des mois de novembre les plus doux depuis le début des mesures.

Les trois mois d'automne ont connu des précipitations excédentaires dans de nombreuses régions. En raison des mois de septembre et octobre maussades, l'ensoleillement de l'automne est resté déficitaire. Localement, octobre a été le mois le moins ensoleillé depuis plus de 20 ans. En novembre, une situation de haute pression persistante a apporté un ensoleillement excédentaire dans la plupart des régions de Suisse. Localement, les Alpes ont enregistré le deuxième mois de novembre le plus ensoleillé depuis le début des mesures.

Deux puissants épisodes hivernaux

Durant la première quinzaine de septembre, une baisse brutale des températures a provoqué des chutes de neige exceptionnelles dans les régions de haute altitude. A Arosa, 44 cm de neige fraîche sont tombés jusqu'au milieu du mois, soit la sixième plus forte accumulation de neige fraîche enregistrée au cours de la première quinzaine de septembre. De fortes chutes de neige dans la dernière décade de novembre ont battu des records de neige fraîche en un jour pour un mois de novembre dans les régions de basse altitude des deux côtés des Alpes. Avec 42 cm, Lucerne a enregistré la valeur la plus élevée jamais mesurée en novembre depuis le début des relevés en 1883. Il s'agit également de la plus forte accumulation de neige fraîche en une journée depuis le début des mesures.

Poussière du Sahara et aurores boréales

Pendant les jours de Pâques, fin mars-début avril 2024, un puissant courant sud-ouest a transporté beaucoup de poussière du Sahara vers la Suisse. L'après-midi du Vendredi saint, la poussière a envahi les Alpes depuis le sud sous forme de voiles épais, réduisant considérablement la visibilité en peu de temps. A de nombreux endroits, la visibilité a été réduite à 5–7 km. Ce n'est que le dimanche de Pâques que l'air est redevenu plus clair.

Du 10 au 11 mai 2024 et du 10 au 11 octobre 2024, de magnifiques aurores boréales ont pu être observées en Suisse. Grâce à un ciel dégagé, elles ont été bien visibles dans la nuit du 10 au 11 mai. Du 10 au 11 octobre, il a fallu un peu de chance, car il y avait en de nombreux endroits des nuages assez épais qui ont limité la vue sur le ciel nocturne coloré.

Bilan annuel

En 2024, la température annuelle au Nord des Alpes et au Sud des Alpes a souvent dépassé la période de référence 1991–2020 de 1,0 à 1,5 °C. Dans les Alpes, les valeurs ont généralement oscillé entre 1,3 et 1,7 °C au-dessus de la référence. En moyenne nationale, la température annuelle a dépassé de 1,4 °C la période de référence 1991–2020.

Les sommes pluviométriques en 2024 ont atteint l'équivalent de 90 à 115 % de la période de référence 1991–2020 dans la plupart des régions de Suisse. Sur le Plateau central et oriental ainsi qu'en Valais, les valeurs ont atteint localement 120 à 130 % de la référence. Stabio, dans le Sud du Tessin, a enregistré la quatrième année la plus arrosée depuis le début des mesures en 1982, avec près de 150 % de la référence. Hallau (SH), avec un peu plus de 130 % de la référence, a connu la troisième année la plus arrosée depuis le début des mesures en 1959.

L'ensoleillement en 2024 a souvent atteint l'équivalent de 80 à 90 % de la période de référence 1991–2020. Sur le Tessin méridional, les valeurs ont atteint autour de 95 % de la référence. Seul le site du Hörnli dans l'Oberland zurichois a mesuré un ensoleillement très légèrement excédentaire. Dans les Alpes, il s'agit dans certains cas de l'une des dix années les moins ensoleillées depuis le début des mesures.

Station	Altitude	Température [°C]			Ensoleillement [h]			Précipitations [mm]		
	m	moyenne	référence ¹	écart ²	somme	référence ¹	% ³	somme	référence ¹	% ³
Berne	553	10.6	9.3	1.3	1542	1797	86	1022	1022	100
Zurich	556	11.0	9.8	1.2	1508	1694	89	1281	1108	116
Genève	420	12.1	11.0	1.1	1693	1887	90	908	946	96
Bâle	316	12.2	11.0	1.2	1539	1687	91	831	842	99
Engelberg	1036	8.4	6.8	1.6	1263	1380	92	1762	1568	112
Sion	482	11.7	10.7	1.0	1965	2158	90	635	583	109
Lugano	273	13.9	13.0	0.9	2019	2120	95	1786	1567	114
Samedan	1709	3.8	2.4	1.5	1589	1767	90	782	710	110

¹ Moyenne sur plusieurs années 1991–2020
² Écart à la période de référence 1991–2020
³ Pourcentage par rapport à la période de référence 1991–2020 (référence = 100 %)

Tableau 1.1
Valeurs annuelles pour une sélection de stations en comparaison avec la période de référence 1991–2020.



Température, précipitations et durée d'ensoleillement de l'année 2024

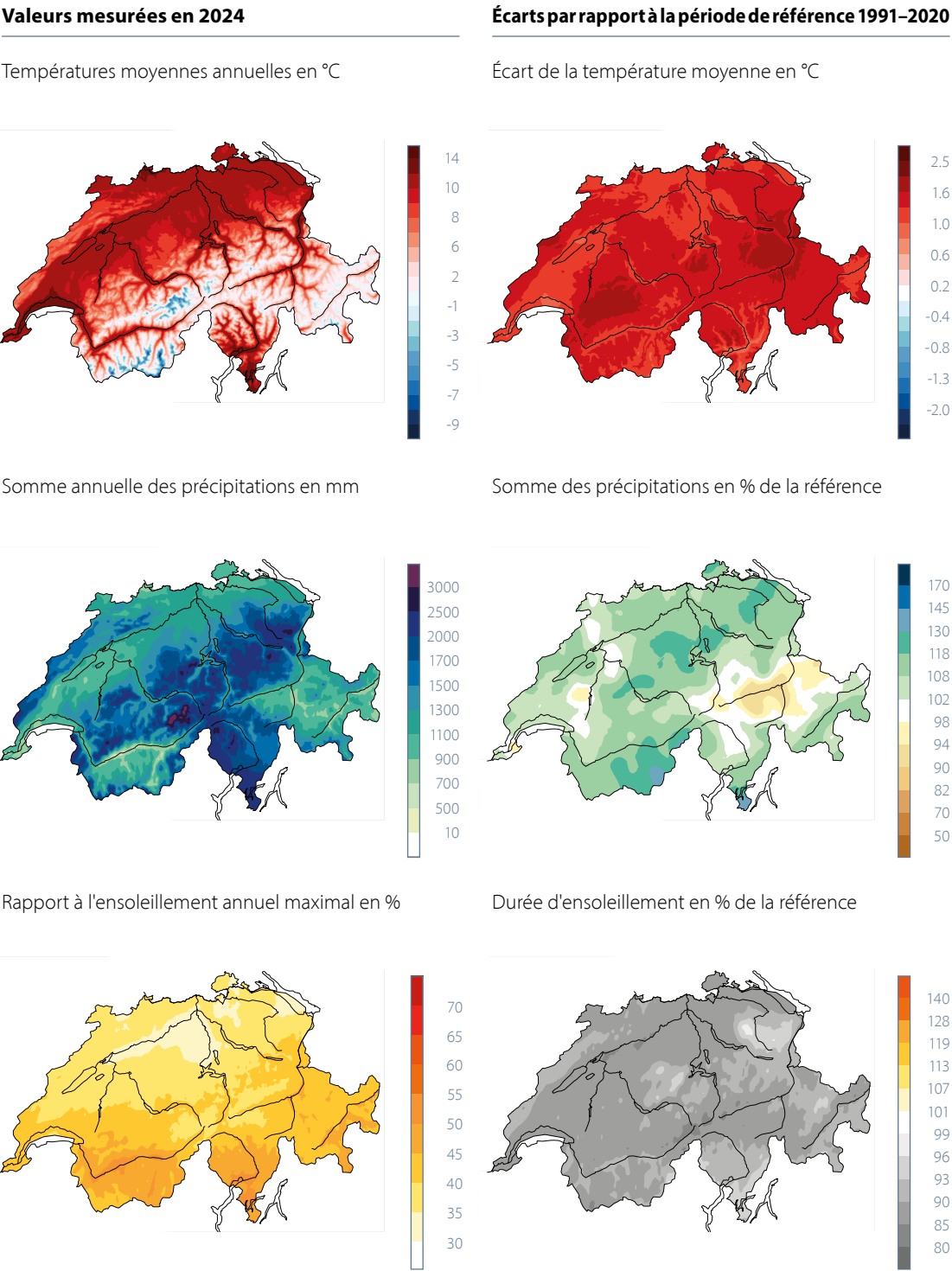
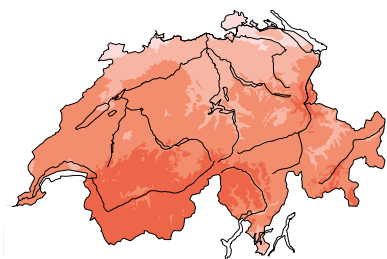


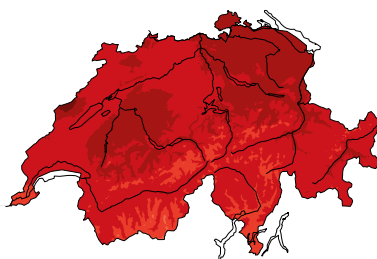
Figure 1.1
Répartition spatiale des températures, des précipitations et de la durée d'ensoleillement en 2024. Les valeurs mesurées sont représentées à gauche et les rapports à la période de référence 1991–2020 à droite.

Température mensuelle 2024 écart à la période de référence 1991–2020

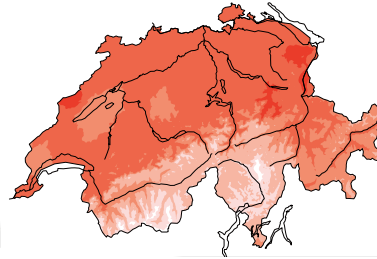
Janvier 2024



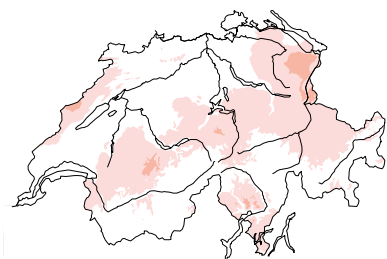
Février 2024



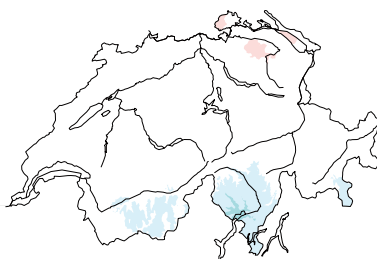
Mars 2024



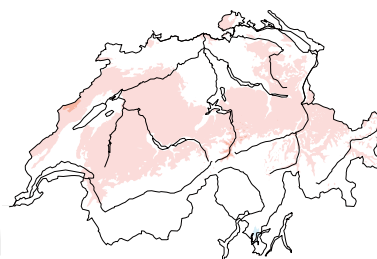
Avril 2024



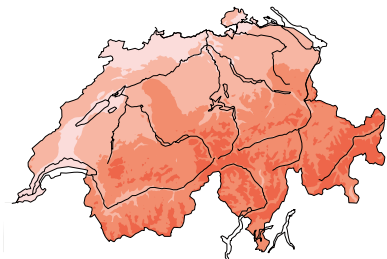
Mai 2024



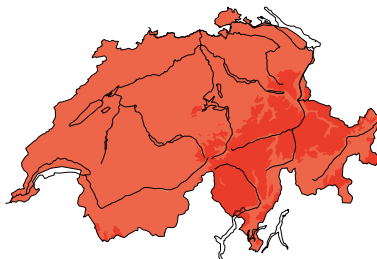
Juin 2024



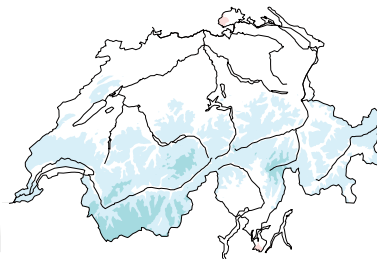
Juillet 2024



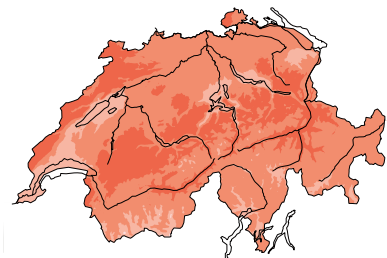
Août 2024



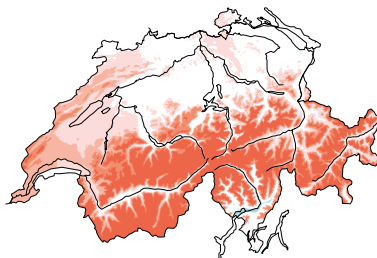
Septembre 2024



Octobre 2024



Novembre 2024



Décembre 2024

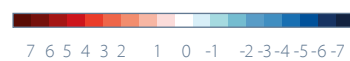
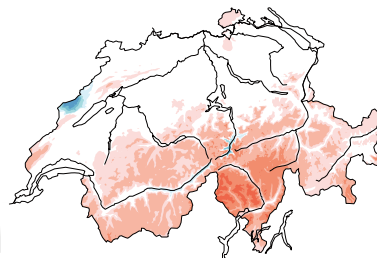
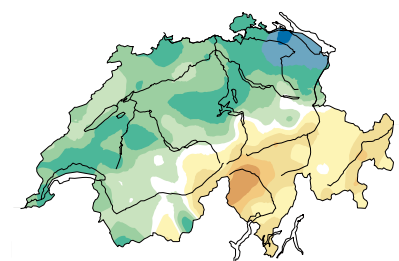


Figure 1.2

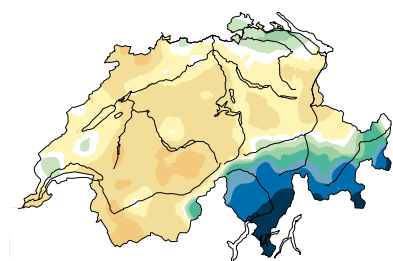
Répartition spatiale de la température mensuelle en tant qu'écart par rapport à la période de référence 1991–2020 en °C.

Précipitations mensuelles 2024 en % de la période de référence 1991–2020

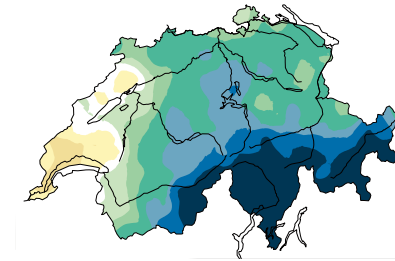
Janvier 2024



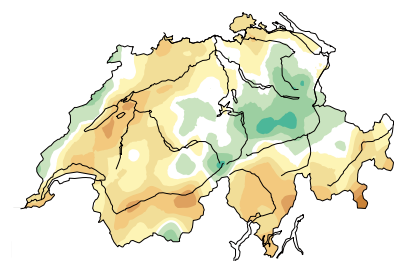
Février 2024



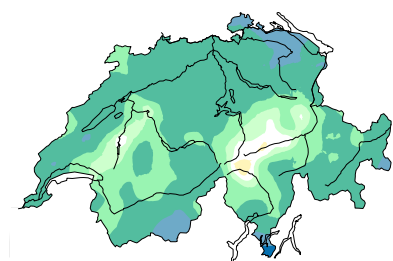
Mars 2024



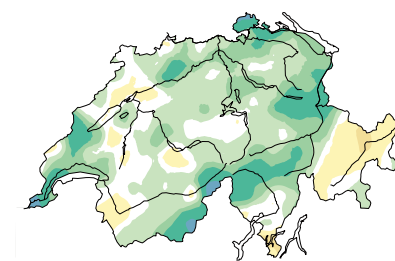
Avril 2024



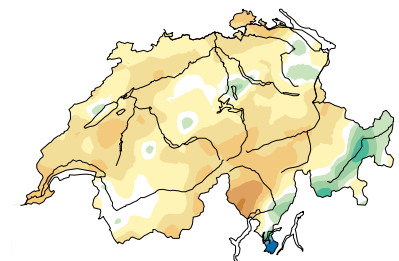
Mai 2024



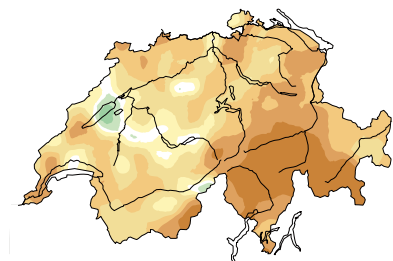
Juin 2024



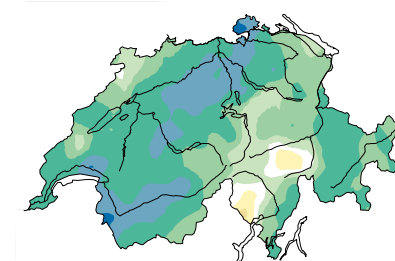
Juillet 2024



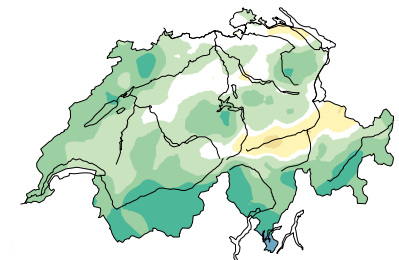
Août 2024



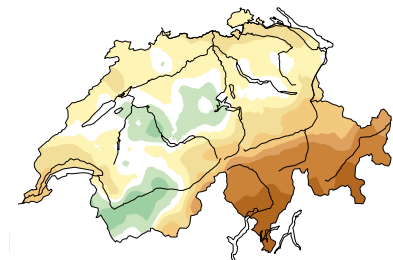
Septembre 2024



Octobre 2024



Novembre 2024



Décembre 2024

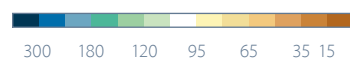
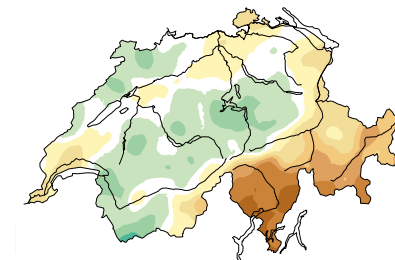


Figure 1.3

Répartition spatiale des précipitations mensuelles en % de la période de référence 1991–2020.

Durée mensuelle d'ensoleillement 2024 en % de la période de référence 1991–2020

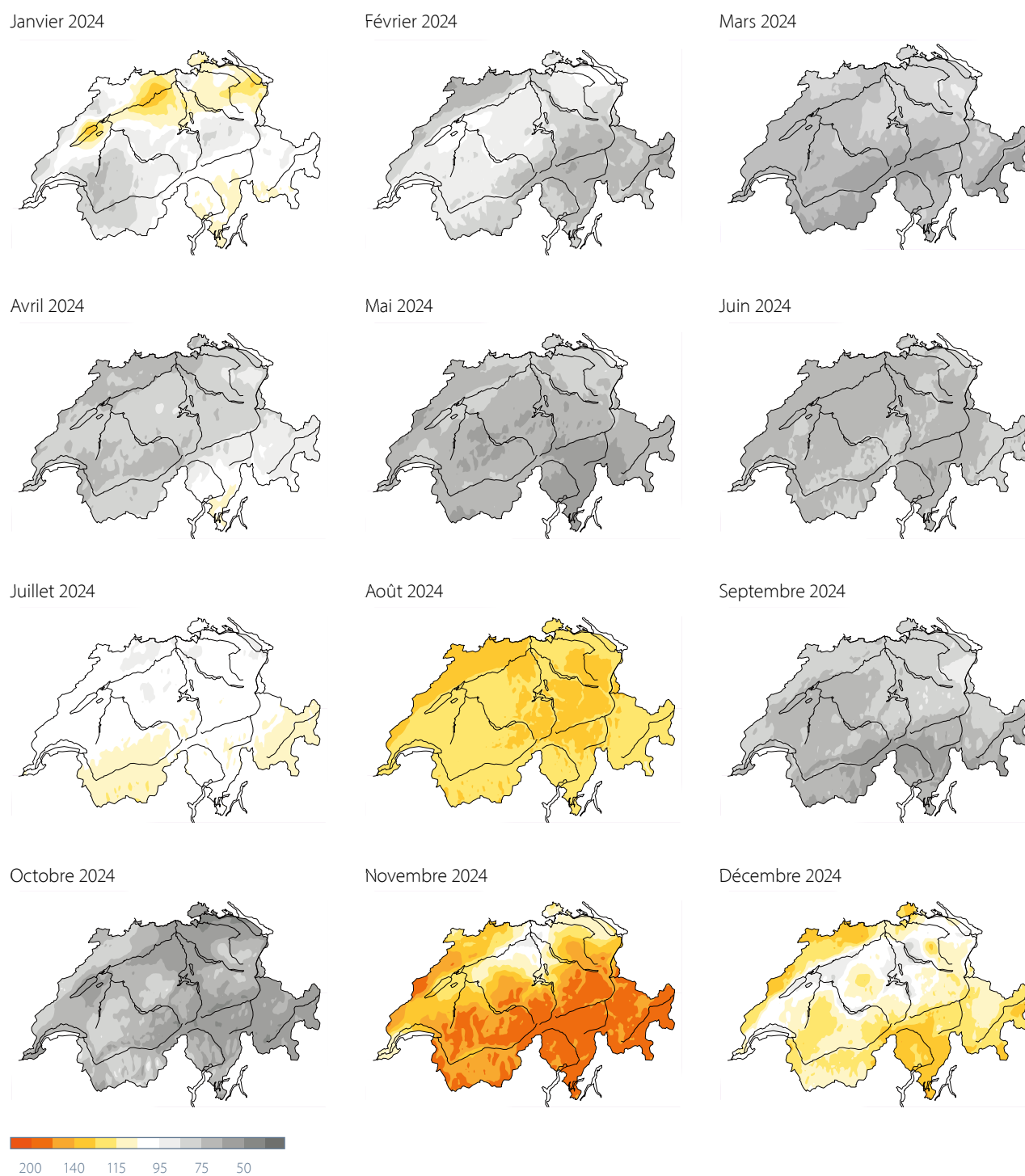


Figure 1.4

Répartition spatiale de la durée mensuelle d'ensoleillement en % de la période de référence 1991–2020.



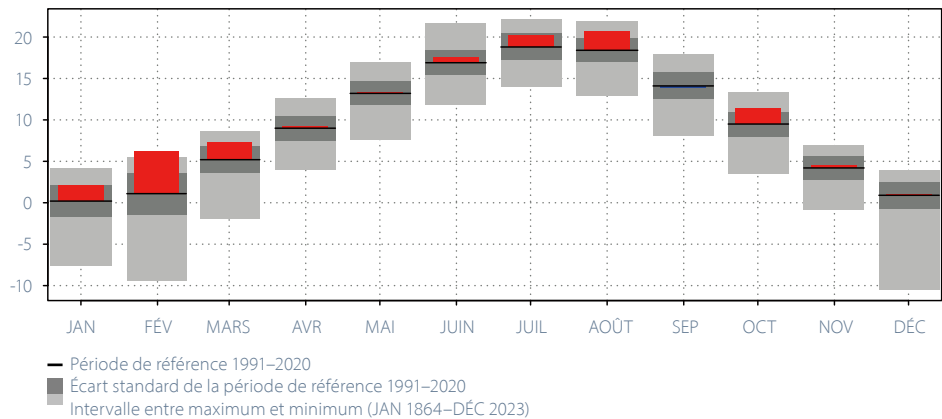


2 Diagrammes représentant l'évolution annuelle

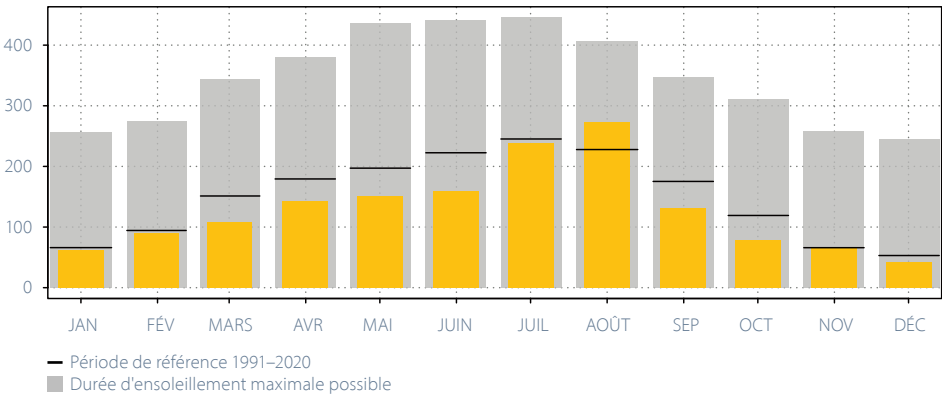
Température, durée d'ensoleillement et précipitations Berne-Zollikofen (553 m) 1.1. au 31.12.2024

Figure 2.1
Évolution annuelle de la température mensuelle, de la durée mensuelle d'ensoleillement et des sommes mensuelles de précipitations à la station de mesure de Berne-Zollikofen.

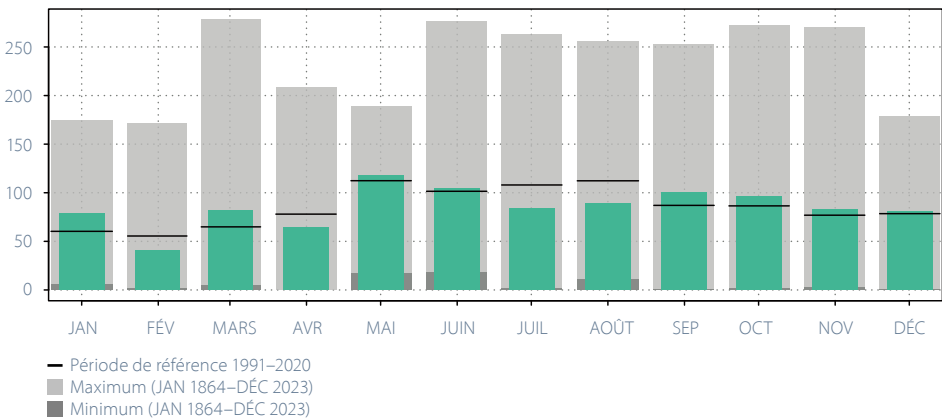
Moyenne mensuelle de la température de l'air en °C
Moyenne : 10,6 ; Référence : 9,3



Durée mensuelle d'ensoleillement en h
Somme : 1541,6 ; Référence : 1797,1



Somme mensuelle des précipitations en mm
Somme : 1021,6 ; Référence : 1021,8



Température, durée d'ensoleillement et précipitations Lugano (273 m) 1.1. au 31.12.2024

Moyenne mensuelle de la température de l'air en °C

Moyenne : 13,9 ; Référence : 13,0

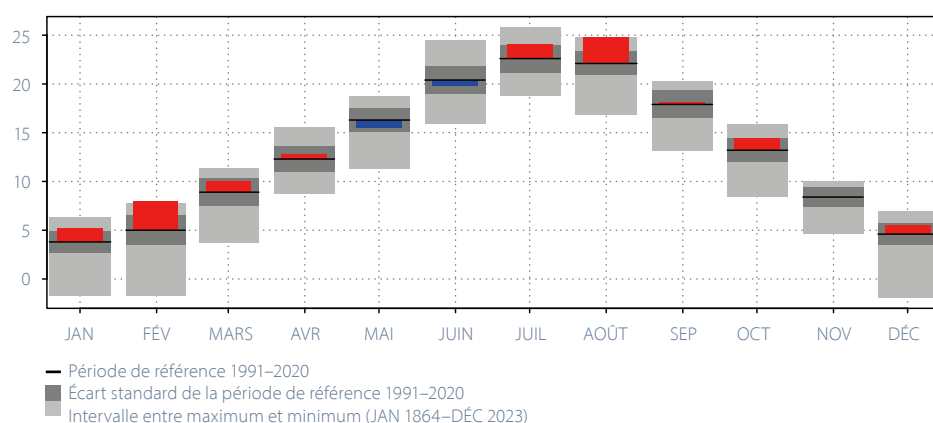
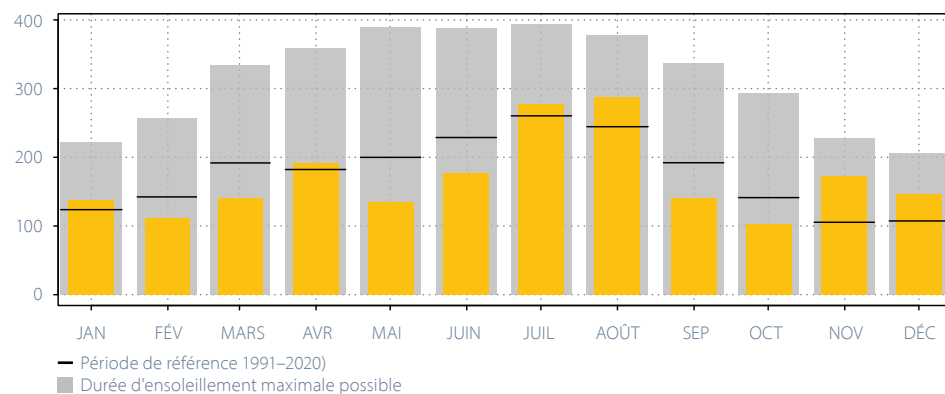


Figure 2.2

Évolution annuelle de la température mensuelle, de la durée mensuelle d'ensoleillement et des sommes mensuelles de précipitations à la station de mesure de Lugano.

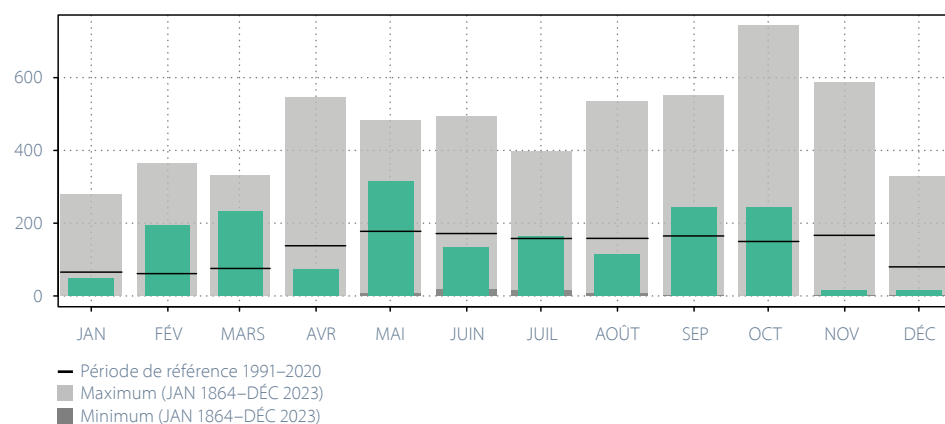
Durée mensuelle d'ensoleillement en h

Somme : 2019,2 ; Référence : 2119,8



Somme mensuelle des précipitations en mm

Somme : 1786,3 ; Référence : 1566,6



Évolution annuelle du rayonnement global

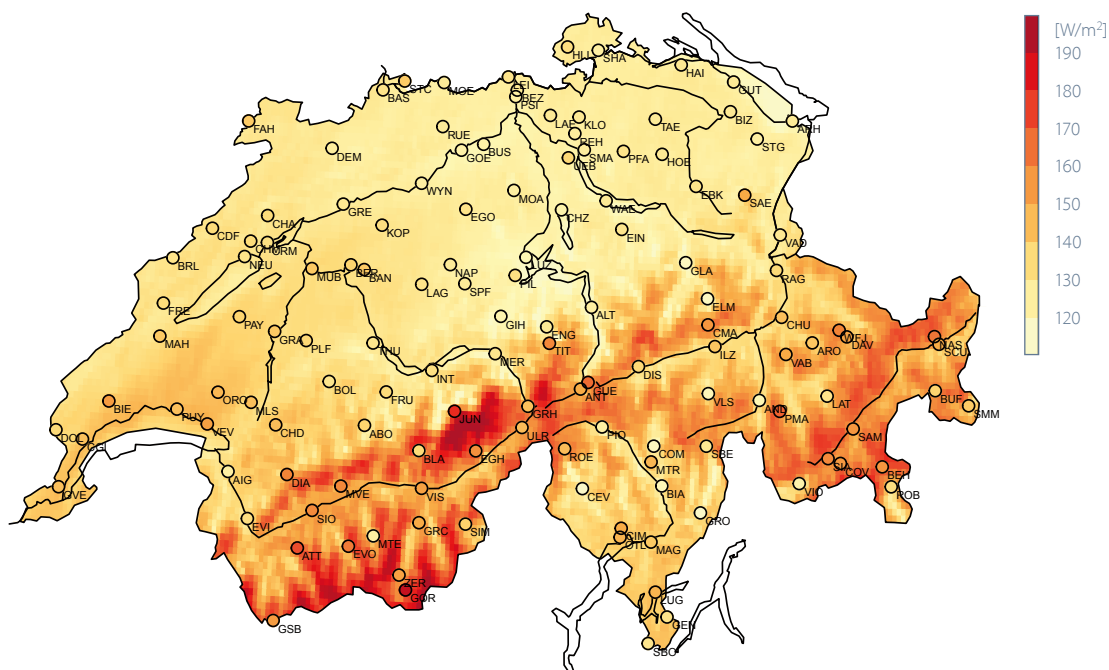
Le rayonnement global désigne l'ensemble du rayonnement solaire à ondes courtes qui atteint la surface horizontale de la Terre. Le rayonnement global revêt une importance particulière dans le domaine de la production d'énergie.

En 2024, le rayonnement global moyen annuel a atteint des valeurs maximales de 180 W/m^2 (Figure 2.3). En 2024, le rayonnement global le plus élevé a également été mesuré sur la crête principale des Alpes. Sur le Plateau, la plupart des stations ont enregistré des valeurs très faibles, comprises entre 130 et 140 W/m^2 . Au Tessin également, le rayonnement est resté nettement inférieur à la normale par rapport à la période 2004–2023, avec environ 145 W/m^2 .

Sur le Plateau, la station de Kloten a enregistré 132 W/m^2 . Sur l'extrême ouest de la Suisse, dans la région de Genève, des valeurs nettement plus élevées, de 145 W/m^2 , ont été enregistrées. Le rayonnement solaire des régions montagneuses se distingue nettement du reste de la Suisse : alors qu'au Tessin, région ensoleillée de la Suisse, 148 W/m^2 ont été enregistrés à Lugano, le rayonnement solaire annuel au Jungfrauoch a été de 177 W/m^2 .

Figure 2.3

Moyenne annuelle du rayonnement global (W/m^2) pour 2024, à partir de données satellites. Les cercles donnent les mesures correspondant aux données des stations. Etant donné que les satellites mesurent sur une grille de $2 \times 2 \text{ km}$ et que les stations au sol mesurent en un point, il existe des différences dues à l'ombrage local, aux bancs de brouillard locaux et aux altitudes différentes.



Par rapport à la moyenne de 2004–2023, l'année 2024 a été marquée par un rayonnement solaire nettement déficitaire. En Suisse, à quelques exceptions près, les valeurs enregistrées ont été inférieures de 7 à 10 W/m² à celles de la période de référence 2004–2023. Seuls les sommets de la crête principale des Alpes ont affiché des valeurs de rayonnement normales.

Sous nos latitudes, le rayonnement global présente un cycle saisonnier marqué qui suit la trajectoire du soleil (Figure 2.4). Les moyennes journalières du rayonnement global varient toutefois fortement en raison de la nébulosité qui change chaque jour.

L'année 2024 a commencé avec un rayonnement solaire normal en janvier dans toutes les régions du pays. Février marque le début d'une longue période principalement nuageuse. En février, le rayonnement solaire a été bien inférieur à la référence, en particulier dans les vallées alpines. Mars a été extrêmement nuageux dans toutes les régions

du pays. En avril, seul le Tessin a enregistré un rayonnement solaire moyen. Mai a de nouveau été très nuageux dans toute la Suisse. Les écarts les plus importants par rapport à la référence sont enregistrés en mai au Tessin. En juin également, l'ensoleillement a été exceptionnellement faible en Suisse. Même sur la crête principale des Alpes, les valeurs de rayonnement global ont été légèrement déficitaires en juin. A la fin du mois de juillet, une longue période ensoleillée a fait son retour. Cependant, le rayonnement mensuel est resté dans la référence dans une grande partie de la Suisse. En août, un rayonnement global supérieur à la moyenne a été enregistré pour la première fois en 2024, principalement sur le Plateau et dans la région de Bâle. De septembre à mi-octobre, le soleil a de nouveau peu brillé dans toute la Suisse. Le mois de novembre a commencé par une période ensoleillée. Le rayonnement a donc été supérieur à la référence en novembre, notamment au Tessin. L'année 2024 s'est terminée comme elle a commencé, avec des valeurs de rayonnement dans la référence.

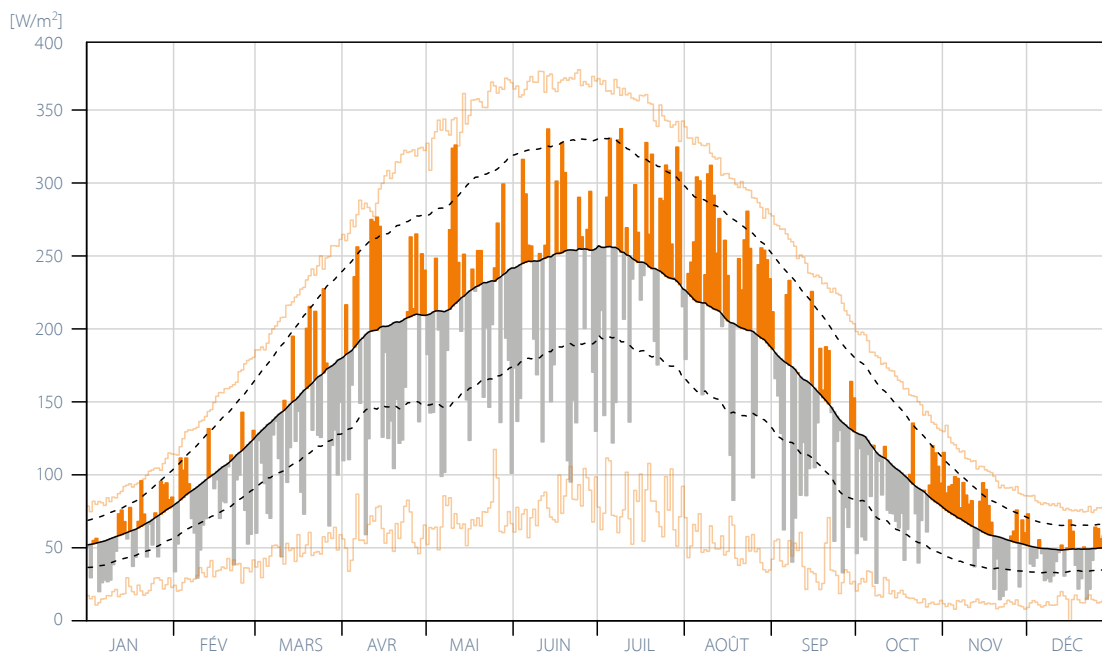


Figure 2.4
Moyenne journalière du rayonnement global pour toute la Suisse pour 2024. Les barres orange indiquent un rayonnement supérieur à la moyenne et les barres grises des valeurs inférieures à la moyenne par rapport à la période 2004–2023.

Limite du zéro degré en atmosphère libre

L'évolution de la limite du zéro degré, est déterminée à partir des mesures des ballons-sondes lâchés quotidiennement à Payerne deux fois par jour à 11 h et 23 h UTC. La précision du calcul de l'altitude du zéro degré varie selon les différentes conditions thermodynamiques de l'atmosphère. Dans des situations d'inversion avec plusieurs valeurs de limite du zéro degré le long du même profil, l'altitude la plus élevée est retenue. Lorsque, au moment du radiosondage, la température mesurée est en dessous du zéro degré déjà au niveau du sol, une limite théorique du zéro degré est calculée par extrapolation de la température en partant de la valeur au sol et en y ajoutant $0,5^{\circ}\text{C}$ par 100 mètres d'altitude de moins. L'altitude de la station de Payerne étant de 491 mètres, pendant les jours marqués par des températures au niveau du sol de $-2,5^{\circ}\text{C}$ ou plus basses (souvent pendant des jours de glace, c.-à-d. des jours sans dégel), l'application de cette formule résulte en une limite du zéro degré au-dessous du niveau de la mer.

La Figure 2.5 montre l'évolution annuelle des altitudes journalières du zéro degré pendant l'année 2024. Les valeurs sont représentées autant en valeur absolue (mètre au-dessus du niveau de la mer) qu'en tant qu'anomalies par rapport aux valeurs de référence journalières calculées sur la période de référence 1991–2020 (courbe noire). Les zones en bleu et en rouge dans le graphique montrent les anomalies plus froides et plus chaudes par rapport à la référence. La valeur médiane annuelle calculée sur la période 1991–2020 vaut 2605 m. La médiane annuelle de l'altitude du zéro degré pour cette dernière année 2024 est égale à 2857 m, soit 252 m plus haut que la médiane de référence et 142 m plus haut que la

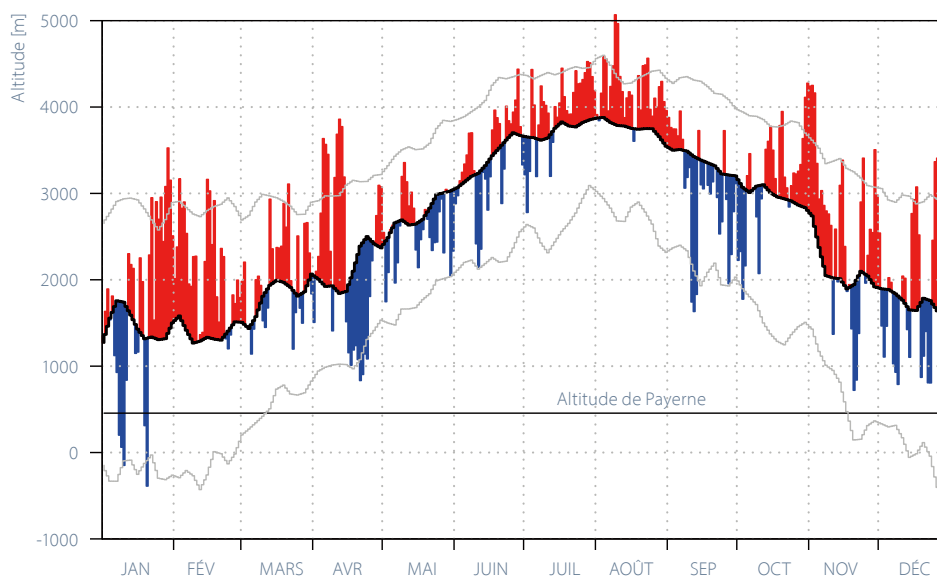
médiane de l'année 2023. Le pourcentage d'anomalies négatives pendant l'année 2024 est de 36,4 %, par rapport à la valeur de 43,3 % de l'année 2023. Par conséquent, le pourcentage des anomalies positives (en rouge) durant l'année 2024 a augmenté par rapport à l'année 2023 en passant de 56,7 % à 63,6 %. La valeur maximale de la série annuelle a été mesurée le 10 août 2024 avec une valeur de 5068 m, soit 84 m plus bas qu'en 2023 qui avait marqué le record absolu depuis le début des mesures en 1954. Le 20 janvier, l'altitude mesurée de -389 m, représente le minimum de la série annuelle, soit 530 m plus haut qu'en 2023. Les mois de janvier, avril et septembre ont présenté des valeurs journalières en dessous du niveau du sol dont une partie dépasse le 5^e centile (barres bleues dépassant la courbe grise inférieure). Au total, le pourcentage d'anomalies négatives en dessous du 5^e centile a été de 2,7 %. A l'opposé, le pourcentage des jours où les écarts de la limite de zéro degré par rapport à la référence ont dépassé le seuil du 95^e centile en 2024 (barres rouges dépassant la courbe grise supérieure) équivaut à 14,0 %.

Les phases prolongées avec un isotherme zéro degré relativement élevé, qui se sont produites à plusieurs reprises au cours de l'année 2024 et de façon très prononcée pendant les périodes janvier–avril et octobre–décembre, sont un autre indicateur de la chaleur exceptionnelle de cette année qui suit les records déjà atteints en 2022 et 2023. Cela montre également que l'excédent de chaleur a le plus souvent concerné aussi bien les basses que les hautes altitudes. De façon générale, la valeur médiane annuelle de la hauteur de zéro degré en 2024 contribue à la tendance positive des valeurs annuelles commencé dans la moitié des années 1980 (voir chapitre 5.1.2.).

Figure 2.5

Médiane 2024 : 2857 m ; Période de référence 1991–2020 : 2605 m

Altitude de la limite du zéro degré en atmosphère libre au-dessus de Payerne en 2024 mesurée par le radiosondage aérologique de 23 h UTC et 11 h UTC. La valeur médiane (période de référence 1991–2020) a été calculée avec des données homogénéisées et lissées avec un filtre numérique (ligne noire). Les lignes grises en dessus et dessous de la valeur de référence montrent les percentiles 5% et 95% de la distribution de données.



Altitude de la tropopause

La tropopause sépare la troposphère, couche dans laquelle la majorité des phénomènes météorologiques se forment et évoluent, de la stratosphère très sèche et très stable d'un point de vue thermodynamique. Elle se caractérise toujours par un changement notable du profil de température et correspond souvent à la température la plus basse de ces deux couches. Son altitude peut être déterminée à partir des mesures des ballons-sondes lâchés quotidiennement à Payerne deux fois par jour à 11 h et 23 h UTC. Le calcul de l'altitude de la tropopause est effectué à l'aide d'un algorithme automatique conformément à une directive de l'OMM (voir chapitre 5.3, Bases de données et méthodes).

La série temporelle en Figure 2.6, montre l'évolution annuelle des valeurs médianes journalières de la hauteur de la tropopause pendant l'année 2024. Une température plus élevée dans la colonne d'air entraîne une tropopause plus haute. C'est pourquoi la médiane de la période de référence 1991–2020 (ligne noire) présente une évolution annuelle marquée, avec des valeurs plus élevées en été et plus basses en hiver. Les altitudes de la tropopause sont représentées autant en valeur absolue (mètres au-dessus du niveau de la mer) que par rapport aux valeurs médianes journalières calculées sur la période de référence 1991–2020. Les valeurs en bleu et en rouge dans le graphique montrent les anomalies par rapport à la valeur de référence. L'arrivée d'une masse d'air polaire (ou arctique) dans l'atmosphère au-dessus de la Suisse a comme conséquence un abaissement de la hauteur de la tropopause, qui selon les différents cas peut atteindre une valeur plus basse que la référence (en bleu). Au contraire, lors de l'arrivée d'une masse d'air chaud d'origine tropicale (maritime ou continentale) au-dessus de la Suisse, la hauteur de la

tropopause augmente (en rouge) par rapport aux valeurs de référence. La médiane des valeurs de hauteur de la tropopause pour l'année 2024 a été de 11'560 m, c'est-à-dire 305 m plus haut que la médiane de référence placée à 11'255 m. Les valeurs médianes journalières ont été plus basses que la valeur de référence dans le 44,7 % du temps (en bleu). Les valeurs médianes journalières sont restées au-dessus de la référence pendant le 55,3 % du temps. Les valeurs mesurées ont été au-dessus de la valeur de référence quasi-systématiquement pendant le début d'année en janvier et février et pendant la période estivale entre mi-juillet et début de septembre. La période avec des anomalies négatives plus marquées correspond au printemps, spécialement pendant les mois d'avril à juin.

Par rapport à l'année précédente, le nombre d'extrêmes chauds en 2024 a diminué en marquant le 9 % des écarts positifs qui ont dépassé le 95^e centile. Seulement le 5,2 % des anomalies négatives sont restées en dessous du 5^e centile. La hauteur maximale de l'année a été mesurée le 10 août avec une tropopause à 14'607 m d'altitude. Le 23 décembre, le minimum de l'altitude de la tropopause de 7564 m a été enregistré.

Le nombre croissant de dépassements du 95^e centile, respectivement le nombre décroissant de valeurs inférieures au 5^e centile (courbes grises) sont d'autres indicateurs du réchauffement des dernières décennies. Avec la progression du changement climatique, il faut s'attendre à ce que le nombre d'anomalies positives et le nombre de dépassements du 95^e centile de la période de référence 1991–2020 continuent d'augmenter.

Médiane 2024 : 11'560 m ; Période de référence 1991–2020 : 11'255 m

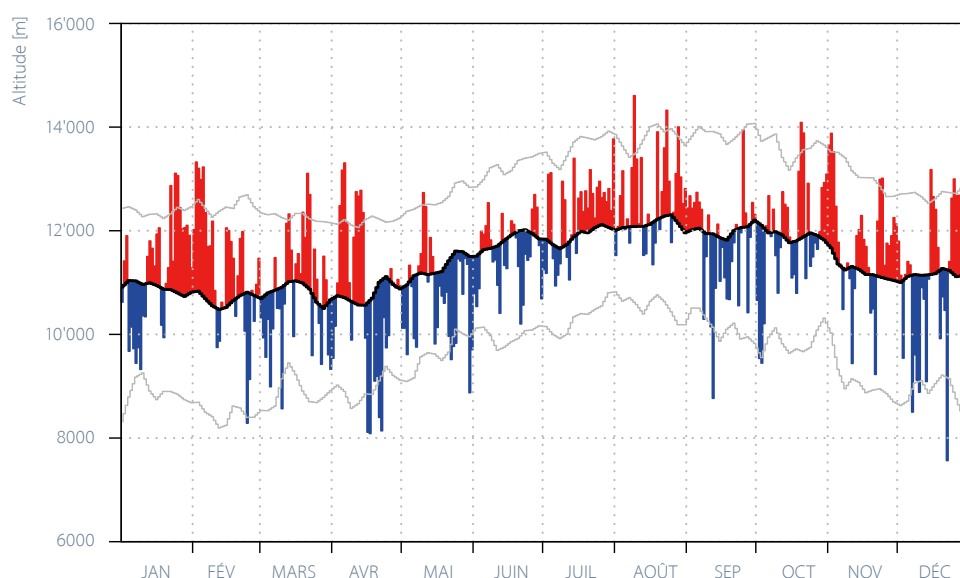


Figure 2.6

Altitude de la tropopause au-dessus de Payerne en 2024 mesurée par le radiosondage aérologique de 23 h UTC et 11 h UTC. La valeur médiane (période de référence 1991–2020) a été calculée avec des données homogénéisées et lissées avec un filtre numérique (ligne noire). Les lignes grises en dessus et dessous de la valeur de référence montrent les percentiles 5% et 95% de la distribution de données.

Fortes précipitations exceptionnelles

Pour évaluer si un événement météorologique exceptionnel s'est produit, des analyses de fréquence (ou analyses des valeurs extrêmes) sont effectuées. Ces analyses renseignent sur la fréquence à laquelle on peut s'attendre à ce qu'un événement d'une certaine ampleur soit dépassé en moyenne sur plusieurs années, par exemple tous les 10 ans ou tous les 20 ans. Cette donnée de fréquence est appelée période de retour. Une méthode statistique (analyse spatiale des valeurs extrêmes avec période de base 1961–2020) permet d'évaluer, pour chaque site de mesure des précipitations, la plus forte somme de précipitations sur 1 jour enregistrée au cours de l'année de référence. L'estimation des périodes de retour est liée à de grandes incertitudes, en particulier pour les événements rares.

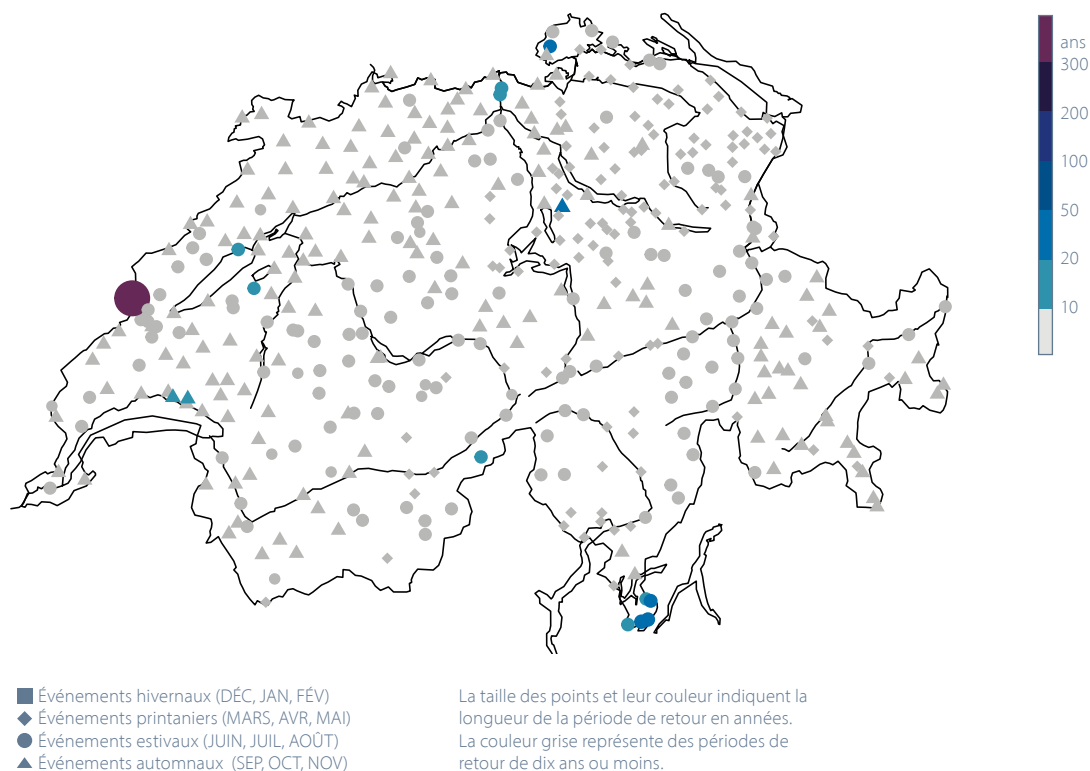
Au cours des mois d'été, plusieurs épisodes météorologiques violents ont provoqué des précipitations importantes pendant quelques heures à plusieurs jours (Chapitre 3.1). Le Sud des Alpes et le Valais ont été particulièrement touchés. Les précipitations journalières maximales en 2024, mesurées de 6 h à 6 h UTC, n'ont toutefois atteint des valeurs exceptionnelles que ponctuellement et de manière dispersée dans toute la Suisse. Le 25 juin, des orages

ont éclaté sur le versant nord des Alpes et dans l'ouest du Jura. Une cellule orageuse s'est formée au-dessus du Jura, provoquant un nouveau record de précipitations journalières d'environ 130 mm au poste pluviométrique de L'Auberson. La période de récurrence de cet événement est actuellement estimée à bien plus de 100 ans.

Dans le sillage d'un courant d'altitude provenant du sud-ouest, de violents orages ont éclaté le 7 juillet 2024 dans le Sud du Tessin, en particulier dans le Mendrisiotto. Coldrerio et Morbio Superiore ont enregistré ce jour-là respectivement 186 mm et 195 mm de précipitations, ce qui correspond à un événement qui se produit environ tous les 45 ans à ces endroits.

En outre, en 2024, surtout en juillet, août et septembre, d'autres précipitations journalières maximales avec des périodes de retour de plus de 10 ans ont été enregistrées, par exemple aux stations de mesure de Hallau, Bezau, Pully, Neuchâtel et Binn.

Figure 2.7
**Périodes de retour
(en années) des plus
importantes sommes de
précipitations sur 1 jour
(06 h–06 h) en 2024,
différenciés par saison.**



Cycle annuel du rayonnement UV erythémal

La partie UV-B du spectre solaire est d'une grande importance car ce rayonnement a une influence significative sur les êtres vivants et se révèle dans certains cas un problème de santé publique (cancer de la peau, dommages à la cornée, etc.) alors que dans d'autre cas il peut être bénéfique (production de vitamine D). Les mesures UV sont faites avec des biomètres UV érythémal. Ces instruments mesurent l'intensité du rayonnement UV avec un filtre érythémal dont la réponse reproduit la sensibilité de la peau, principalement aux UV-B avec une petite contribution des UV-A. Ces mesures sont faites par Météo-Suisse à Davos depuis mai 1995, au Jungfraujoch depuis novembre 1996, à Payerne depuis novembre 1997 et à Locarno-Monti depuis mai 2001.

La comparaison des moyennes glissantes mensuelles avec les cycles annuels moyens montre qu'en 2024 le rayonnement UV a été similaire au cycle annuel moyen au début de l'année jusqu'en début avril. Un peu avant mi-avril (du 12 au 14), des valeurs très élevées du rayonnement UV ont été mesurées aux quatre stations. Certaines moyennes journalières sont aussi élevées que les valeurs moyennes mesurées en juin et juillet.

Hormis les facteurs liés à la position du soleil dans le ciel et à l'altitude, qui ne changent pas d'une année à l'autre, les principaux facteurs influençant l'intensité du rayonnement UV sont la couverture nuageuse et la quantité d'ozone dans l'atmosphère (principalement dans la couche d'ozone).

Du 12 au 14 avril, une combinaison de journées ensoleillées avec une faible couverture nuageuse et de faibles valeurs de la colonne totale d'ozone explique les valeurs élevées du rayonnement UV. Ce phénomène a été limité dans le temps, la colonne totale d'ozone ayant été plutôt élevée les 6 et 16 avril. De fin avril à mi-juillet, le rayonnement UV moyen a été moins élevé qu'en moyenne à Locarno-Monti, Payerne et dans une moindre mesure à Davos. Un ensoleillement en dessous de la moyenne durant le printemps 2024 ainsi qu'au mois de juin en est la cause.

De mi-juillet à fin août, les valeurs mesurées sont en revanche supérieures à la moyenne à Locarno-Monti, Payerne, au Jungfraujoch et dans une moindre mesure à Davos. Cela est aussi dû à l'ensoleillement, supérieur à la moyenne durant cette période. De fin août à la fin de l'année, le rayonnement UV mesuré aux quatre stations est revenu au niveau moyen du cycle annuel.

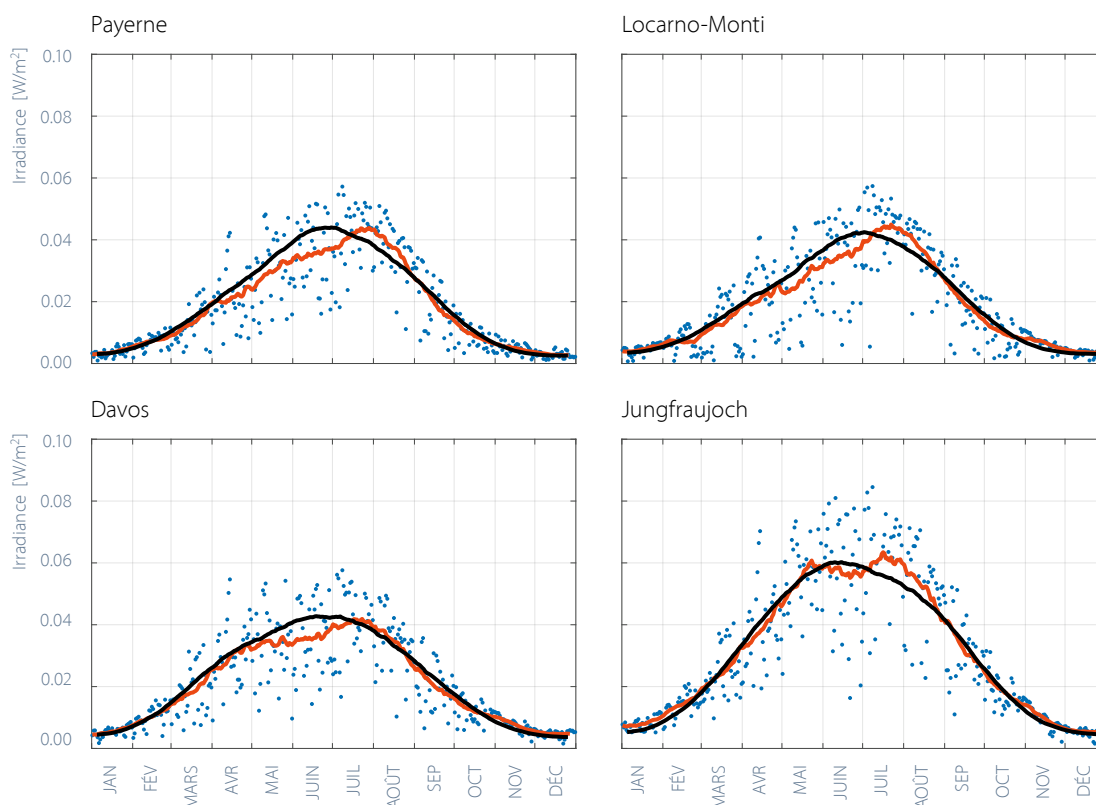


Figure 2.8
Moyennes journalières 2024 de l'irradiance UV érythémale à Payerne, Locarno-Monti, Davos et au Jungfraujoch, moyennes glissantes mensuelles (31 jours) correspondantes et cycles annuels moyens établis sur les années 1995–2023 (Davos), 1997–2023 (Jungfraujoch), 1998–2023 (Payerne) et 2001–2023 (Locarno-Monti).

• Journalier
— Mensuel 2024
— Mensuel climatologie

Série de mesures de l'ozone d'Arosa/Davos

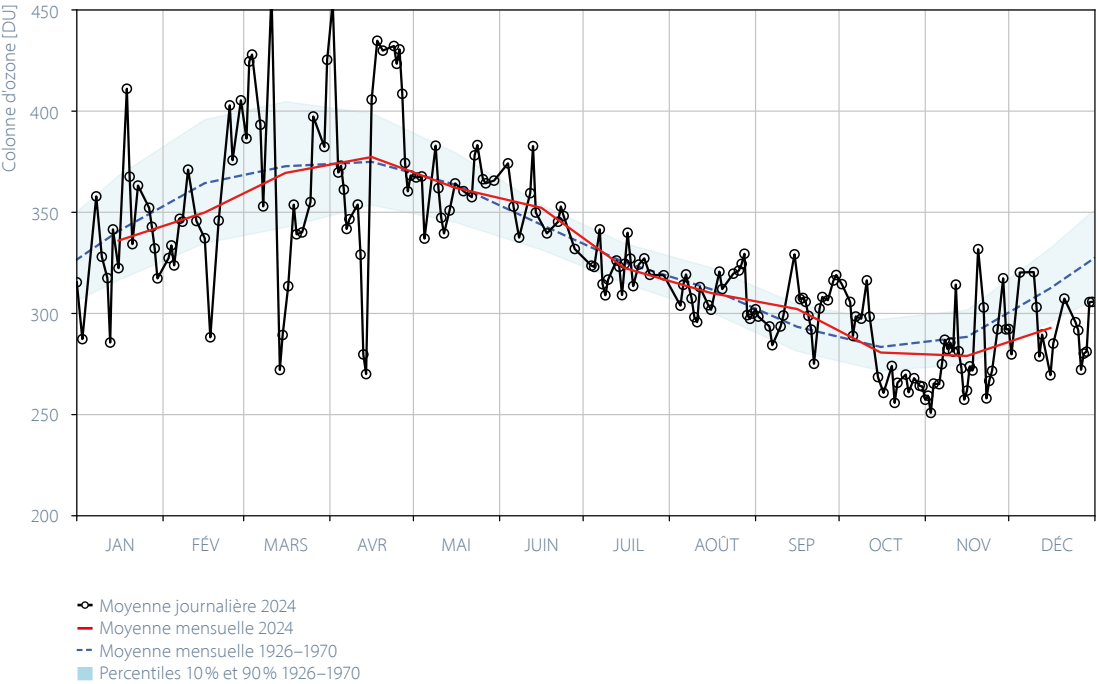
Les mesures de la colonne d'ozone ont été toutes effectuées à Arosa depuis 1926 puis à Davos depuis 2018. En 2024, l'évolution annuelle de la colonne totale d'ozone à Davos (Figure 2.9) montre la fluctuation annuelle typique, avec les valeurs élevées en hiver et au printemps et les valeurs plus basses en automne. L'évolution annuelle de la colonne totale d'ozone est dominée par le transport d'ozone à partir de la région du Pôle Nord, où l'on atteint le niveau maximum d'ozone à la fin de la nuit polaire, donc au début du printemps.

La période de référence 1926–1970 correspond à l'état de la couche d'ozone avant la perturbation d'origine anthropique. La baisse continue de l'ozone total mesurée depuis Arosa a débuté vers 1970, époque à laquelle les émissions de substances responsables de la destruction

de la couche d'ozone ont fortement augmenté. À partir des années 2000, on observe une stabilisation de la colonne d'ozone en dessus de la Suisse.

En 2024, les valeurs annuelles d'ozone ont été tout à fait comparables à la période de référence 1926–1970 (voir aussi Figure 5.18). Figure 2.9 montre que ce constat est applicable à tous les mois de l'année 2024. La variabilité pour les mois de mars et avril 2024 est particulièrement prononcée. Elle est vraisemblablement liée à la dynamique du vortex polaire et non pas à des incertitudes de la mesure. En effet, les instruments colocalisés observent une variation similaire (voir également Figure 5.18) et la baisse de la colonne d'ozone avant la mi-avril (du 12 au 14) se traduit par une augmentation prononcée du rayonnement UV en Suisse (voir Figure 2.8).

Figure 2.9
Evolution annuelle de la colonne totale d'ozone mesurée à Davos en 2024. Le graphique montre la concentration d'ozone en Dobson Units (DU; 100 DU = 1 mm d'ozone pur à 1013 hPa et 0 °C). Courbe noire : moyennes journalières. Courbe rouge : moyennes mensuelles. La courbe bleue montre le cycle annuel moyen au cours de la période 1926–1970, avant que ne survienne le problème de la destruction de la couche d'ozone.



Les profils d'ozone sont mesurés par un spectrophotomètre Dobson depuis 1956 à Arosa, puis dès octobre 2018 à Davos, ce qui constitue la plus longue série temporelle au monde. La variation annuelle d'ozone en DU pour 2024 est représentée en couleur sur le graphique suivant (Figure 2.10) et les valeurs moyennes des années 1970 à 1980 sont représentées en noir (courbes de niveau pour 20, 40, 60 et 80 DU). Ceci permet de visualiser en fonction de l'altitude les différences des valeurs d'ozone de l'année en cours par rapport aux valeurs climatologiques.

Les profils d'ozone stratosphérique de l'année 2024 ont présenté des valeurs inférieures à la moyenne climatologique entre le 8 et le 13 décembre 2024 lors du déplacement du vortex polaire sous nos latitudes.

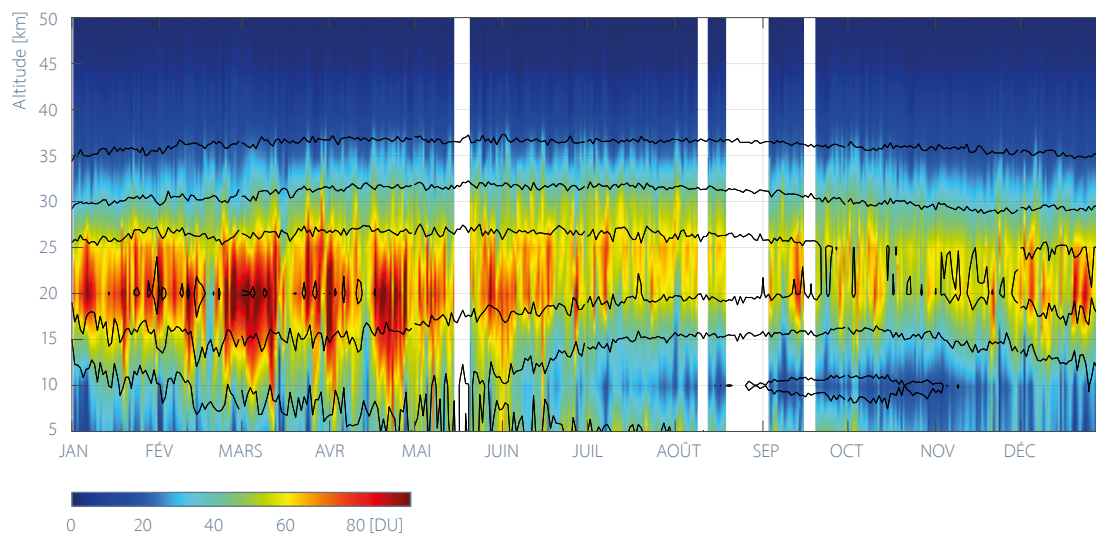
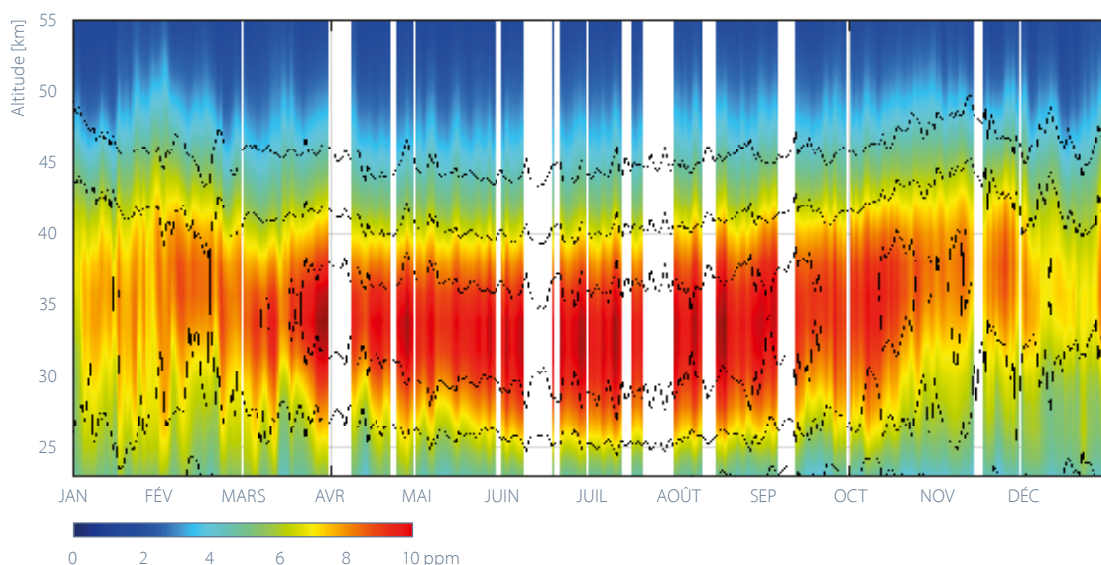


Figure 2.10
Les profils d'ozone mesurés par un spectrophotomètre Dobson à Davos en 2024. Le graphique montre la concentration d'ozone en Dobson Units (DU) (échelle de droite entre 0 et 90 DU). 100 DU = 1mm d'ozone pur à 1013 hPa et 0°C.

Mesures de l'ozone à Payerne

Le radiomètre micro-onde SOMORA mesure la distribution verticale d'ozone depuis 2000 à Payerne avec une résolution temporelle d'une heure. La variation annuelle d'ozone en ppm pour 2024 est représentée en couleur dans le graphique suivant (Figure 2.11) et la variation annuelle pour 2023 est représentée en noir (courbes de niveau pour 4, 6 et 8 ppm). Ceci permet de visualiser en fonction de l'altitude les différences des valeurs d'ozone de l'année en cours par rapport à l'année précédente.

Figure 2.11
Les profils d'ozone mesurés par un radiomètre micro-onde à Payerne en 2024. Le graphique montre la concentration volumique relative d'ozone (VMR) en parties par million (ppm) (échelle de droite entre 0 et 10 ppm).



Les mesures de la distribution verticale de l'ozone dans l'atmosphère jusqu'à une altitude d'environ 35 km sont réalisées dans le cadre des lâchers de ballons-sondes. Les données recueillies permettent de déterminer l'évolution dans le temps de la quantité d'ozone dans les différentes couches de l'atmosphère. La figure suivante (Figure 2.12) montre l'évolution détaillée pour l'année 2024 pour quatre niveaux d'altitude distincts :

- A basse altitude (niveau 925 hPa, proche du sol), le niveau maximum d'ozone est atteint en été en raison du fort ensoleillement et de la pollution de l'air (qui augmente la quantité d'ozone).
- Dans la partie supérieure de l'atmosphère libre, où se déroulent la plupart des phénomènes météorologiques (niveau 300 hPa = ~9000 m), le maximum estival est fortement réduit en comparaison de la couche de basse altitude, étant donné que les conditions n'y sont pas optimales pour la formation d'ozone. Les

pics importants correspondent à des entrées d'ozone venues des couches supérieures de l'atmosphère (stratosphère) ou à une baisse temporaire de la tropopause proche du niveau 300 hPa.

- Dans la stratosphère moyenne (niveau 40 hPa = ~22 km), l'évolution annuelle de l'ozone est dominée par le transport d'ozone par les courants dominants. Ici, la plus forte concentration d'ozone est atteinte dans la période fin de l'hiver – début du printemps.
- Aux altitudes plus élevées (15 hPa = ~28 km), l'ensoleillement important entraîne un niveau maximum d'ozone l'été lorsque le soleil est haut dans le ciel.



Figure 2.12

Évolution de la concentration d'ozone (pression partielle en nanobars) en 2024 pour deux niveaux dans la troposphère (niveaux 925 hPa ~800 m et 300 hPa ~9000 m) et deux niveaux dans la stratosphère (niveau 40 hPa ~22'000 m et 15 hPa ~28'000 m). Les couleurs correspondent à un critère de qualité basé sur la comparaison avec une mesure indépendante de la colonne d'ozone depuis la station de Davos (bleu : très bon accord ; vert : bon accord ; rouge : différence significative).

Mesures des aérosols au Jungfraujoch

Les aérosols influencent l'atmosphère par leurs effets directs (absorption et diffusion du rayonnement solaire) et indirects (formation des nuages). L'ampleur de ces effets en termes de réchauffement ou de refroidissement reste l'une des grandes incertitudes des modèles climatiques [2]. Les mesures des aérosols effectuées au Jungfraujoch depuis 1995 font partie des plus longues séries de mesures au monde [3].

L'évolution annuelle des paramètres des aérosols au Jungfraujoch fait apparaître des valeurs maximales l'été et des valeurs minimales l'hiver. Les aérosols générés par des processus naturels et anthropogéniques s'accumulent principalement dans la couche la plus basse de l'atmosphère, la limite planétaire, haute typiquement de 0,5 à quelques km selon la saison.

L'été, le réchauffement du sol entraîne une convection thermique qui permet le transport des aérosols à des

altitudes plus élevées ; le Jungfraujoch est alors davantage dans la zone d'influence de la couche limite planétaire. L'hiver, le Jungfraujoch se trouve la plupart du temps dans la troposphère libre [4] et est donc propice à la mesure des propriétés optiques et de la concentration des aérosols loin des sources de pollution.

En 2024, la concentration des aérosols au Jungfraujoch a été inférieure à la référence la plupart du temps en accord avec la tendance à long terme à une réduction de la charge en aérosol. Les paramètres des aérosols ont été supérieurs à la référence principalement pendant l'été, lorsque les températures excédentaires et les précipitations déficitaires ont favorisé l'apport des masses d'air pollué vers le Jungfraujoch. La charge en poussières du Sahara a été particulièrement élevée en novembre et en décembre (Figure 2.13), ce qui explique les valeurs supérieures à la référence, particulièrement en novembre.

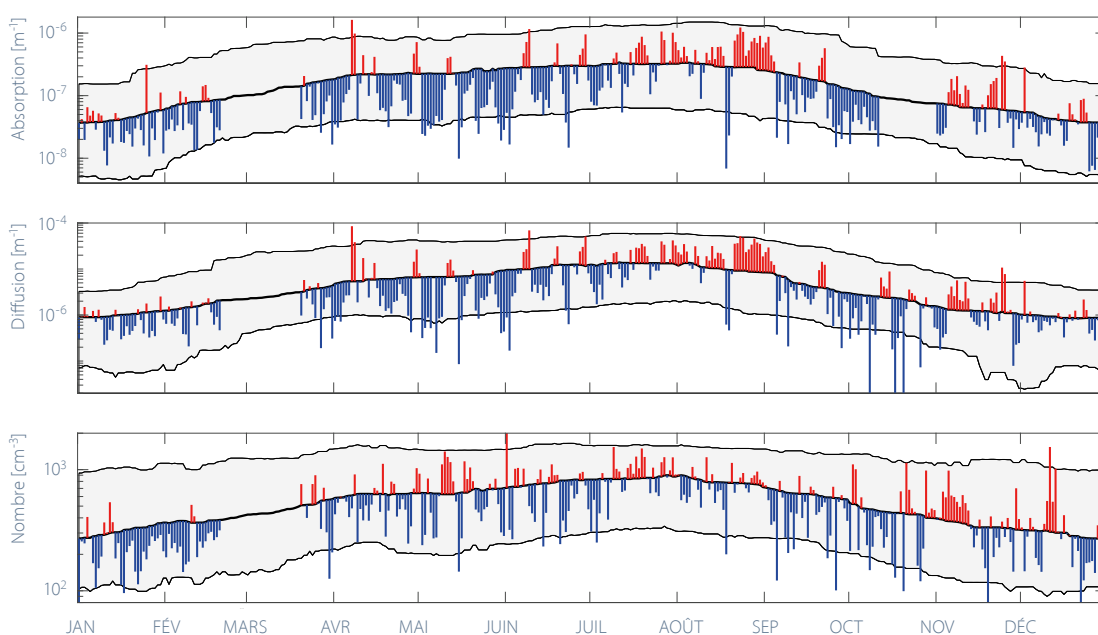


Figure 2.13

Évolution en 2024 des coefficients d'absorption à 880 nm et de diffusion à 550 nm ainsi que de la concentration en nombre des aérosols au Jungfraujoch. La courbe noire correspond à la climatologie de la période 1995–2023, et les courbes grises aux 5^e et 95^e percentiles. Les mesures manquantes en mars correspondent à une calibration de tous les instruments afin de permettre l'affiliation du Jungfraujoch au réseau européen ACTRIS.

Poussières du Sahara

Les poussières minérales sont un constituant majeur des aérosols atmosphériques. Le désert du Sahara en est la source la plus importante. La présence de poussières minérales a été historiquement déterminée par l'analyse des précipitations ou des dépôts dans la neige et la glace. Depuis 2001, des mesures continues sont réalisées à la station de recherche alpine du Jungfraujoch, située à 3580 mètres d'altitude dans les Alpes suisses. Ces mesures ont permis de développer une nouvelle méthode opérationnelle qui permet de déterminer avec une résolution horaire les incursions de poussières du Sahara (Saharan dust events, SDE) au-dessus de la Suisse. Il est dès lors possible d'étudier la fréquence des SDE dans les Alpes.

Une climatologie sur dix-sept ans (2001–2017) des incursions de poussière du Sahara a été établie avec les mêmes instruments. Cette climatologie a montré que 10 à 50 incursions sont mesurées chaque année, correspondant à 200 à 700 heures. De manière générale, les in-

cursions de poussière du Sahara durant le printemps (de mars à juin) ainsi qu'aux mois d'octobre et de novembre contribuent fortement à la pollution par les aérosols sur les Alpes. L'été, ces incursions sont plus rares mais parfois longues alors qu'en l'hiver, elles sont en général de très courte durée. La plupart des incursions (~50%) ne durent que quelques heures alors que 25 % d'entre elles durent plus d'un jour.

En raison d'un changement d'instrument, la climatologie actuelle ne prend en compte que les dix dernières années, depuis 2015. Il n'y a pas eu de mesure des SDE du 22 février au 21 mars 2024, les instruments ayant été calibrés. En 2024 et conformément à la climatologie, les incursions de poussières du Sahara ont été particulièrement nombreuses au printemps (jusqu'en juin), ainsi qu'à la fin de l'automne.

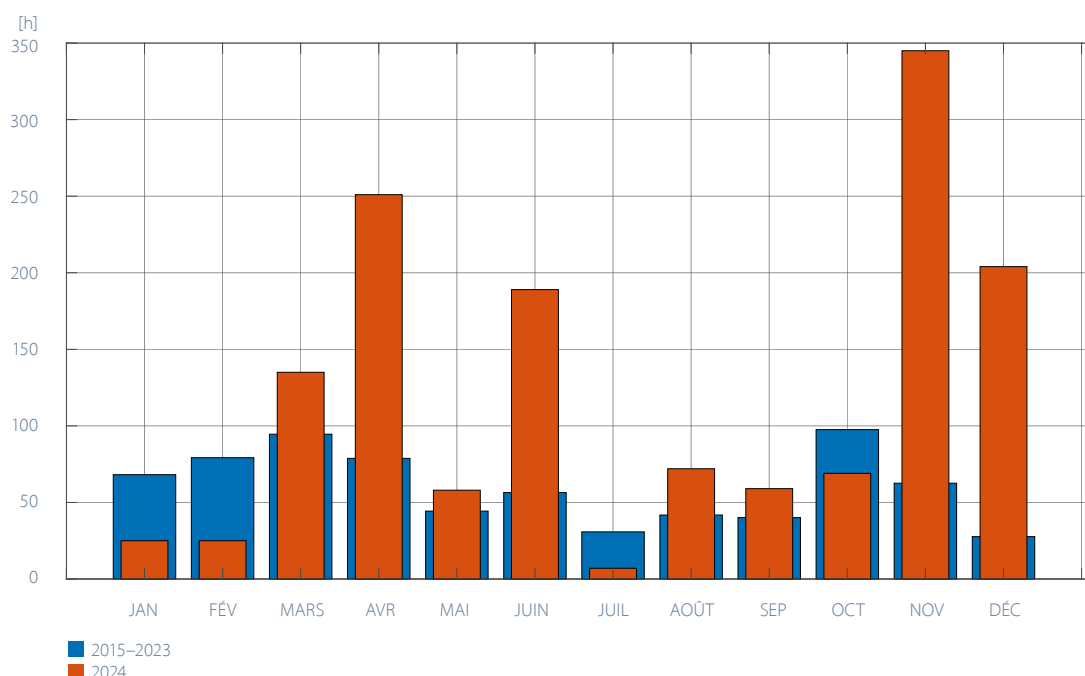


Figure 2.14
Nombre d'heures par mois d'incursions de poussières minérales d'une durée d'au moins 6 heures à la station de mesures du Jungfraujoch pour la période 2015–2023 et pour 2024.

Développement de la végétation

L'année phénologique 2024 a commencé avec la troisième floraison la plus précoce des noisetiers depuis 1951. Le mois de février très doux a accéléré le développement de la végétation printanière, de sorte que, entre la floraison du tussilage (ou pas-d'âne) et celle des pommiers, de nouveaux records ont été observés, avec 15 jours d'avance par rapport à la moyenne 1991–2020.

Un temps variable et humide à partir de la mi-avril a réduit à quelques jours l'avance du développement de la végétation. Le changement de couleur des feuilles a eu lieu 5 à 7 jours plus tard que la moyenne, tandis que la chute des feuilles s'est achevée à une date moyenne pour de nombreuses essences, avant les premières chutes de neige en plaine le 21 novembre.

L'année en cours est comparée à la période 1991–2020. Les données de cette période sont classées en catégories. Les 50 % des cas se situant dans la moyenne sont classés comme normaux, 15 % comme précoces et 15 % comme tardifs, et les 10 % les plus extrêmes comme très précoces ou très tardifs. Les écarts en jours par rapport à la moyenne de la période de référence sont indiqués pour les 50 % moyens de toutes les observations en 2024 (c'est-à-dire pour les quantiles 25 % et 75 %) ou pour la médiane de toutes les stations. Certaines phases phénologiques ne sont observées que depuis 1996. Pour ces phases, l'écart par rapport à la période 1996–2020 est indiqué. Les observations phénologiques ont débuté en 1951–1953.

Printemps

Au cours de l'hiver le plus doux depuis le début des mesures et d'un mois mars également doux, la végétation printanière s'est développée très tôt. Les premiers noisetiers en fleurs ont été observés pendant les journées douces du début janvier à quelques endroits du réseau d'observation phénologique. La floraison des noisetiers a toutefois été ralentie par le retour de l'hiver à partir de la deuxième semaine de janvier. Avec l'arrivée de températures douces à partir du 22 janvier, les noisetiers ont fleuri très rapidement dans toute la Suisse. Entre fin janvier et début février, on a déjà observé des noisetiers en fleurs dans les montagnes à 1000 m d'altitude. Par rapport à la moyenne 1991–2020, la floraison du noisetier a connu cette année 19 jours d'avance. La floraison du noisetier a été particulièrement précoce de plus de 30 jours dans les zones situées au-dessus de 800 m d'altitude, ce qui s'explique par le mois de février exceptionnellement doux. Après 2023 et 2020, il s'agit de la troisième floraison la plus précoce depuis le début des observations en 1953.

De la floraison du tussilage à la mi-février jusqu'à celle des pommiers en avril, toutes les phases phénologiques de floraison n'ont jamais été observées aussi tôt que cette année. Le tussilage a fleuri avec 15 jours d'avance et la floraison de l'anémone des bois, entre début et fin mars, a également été avancée de 15 jours. Le pissenlit et la cardamine des prés ont fleuri à partir de la dernière décade de mars, également avec 14 à 15 jours d'avance.

Les abricotiers, les pruniers, les cerisiers et les prunelliers ont fleuri entre début et mi-mars. Le début de la floraison des cerisiers a été signalé par les premières stations de différentes régions de plaine entre le 14 et le 20 mars, la floraison générale ayant été observée à partir du 21 mars. En dessous de 600 m, les cerisiers ont fleuri en moyenne le 1^{er} avril, les poiriers le 4 avril et les pommiers le 10 avril. L'avance de la floraison des arbres fruitiers par rapport à la moyenne a été de 13 à 15 jours. Les cerisiers ont fleuri aussi tôt en 1961, tandis que les poiriers et les pommiers ont fleuri 2 à 4 jours plus tôt que toutes les années depuis le début des observations en 1951. Le développement précoce de la végétation a rendu les fleurs, les jeunes fruits et les jeunes pousses sensibles aux dégâts causés par les gelées tardives. Au cours de la deuxième quinzaine d'avril, les températures minimales sont descendues en dessous de zéro, surtout en Suisse romande et en Valais, et des dégâts dus au gel ont été observés.

Été

A partir de la dernière décade de mars également, les premières aiguilles de mélèze se sont déployées et les feuilles des noisetiers ont bourgeonné. À partir de fin mars, début avril, les marronniers, les sorbiers et les bouleaux ont verdi, suivis vers le 6 avril par les tilleuls et les érables, puis à partir du 10 avril par les hêtres. Le débourrement a eu 6 à 10 jours d'avance sur la moyenne. En raison de la forte baisse des températures à la mi-avril, le débourrement a été ralenti et, pour le hêtre, ce n'est que vers la fin du mois que davantage d'observations ont été signalées. L'avance du débournement du hêtre a ainsi été réduite à 4 jours. Les données montrent que le déploiement des feuilles ne réagit pas aussi fortement aux températures élevées que la floraison. Les épicéas ont déployé leurs aiguilles à partir de la mi-avril en plaine et à partir de la mi-mai à 1000 m. Alors que les épicéas en plaine ont déployé leurs aiguilles avec une avance de 8 jours sur la moyenne, cette phase a eu lieu à une date conforme à la moyenne au-dessus de 1000 m.

Les marguerites ont fleuri en moyenne le 2 mai en plaine, avec 9 jours d'avance sur la moyenne, et le 2 juin au-dessus de 1000 m, avec 4 jours d'avance. Le temps variable et pluvieux du mois de mai a donc encore réduit l'avance de la végétation.

Les mois de mai et juin ont été peu ensoleillés et pluvieux. Il a donc été difficile de trouver des dates appropriées pour le foin dans le secteur agricole. Certains agriculteurs ont déjà rentré leur foin très tôt, à la mi-avril et dans les derniers jours du mois. D'autres ont profité de la courte période ensoleillée du 9 au 12 mai pour faire les foins, soit environ 3 à 12 jours plus tôt que la moyenne. Au-dessus de 1000 m, en raison de nouvelles précipitations, les dates de fenaison n'ont été fixées qu'à la mi-juin et vers la fin du mois, soit environ 3 jours plus tard que la moyenne.

Le sureau noir a fleuri principalement entre la mi-mai et la mi-juin, soit 9 jours plus tôt que la moyenne. Les tilleuls à petites feuilles ont fleuri entre le 4 juin et le 2 juillet et les tilleuls à larges feuilles du 7 juin au 13 juillet, soit seulement 3 jours plus tôt que la moyenne. Les vignes ont fleuri exactement à la date moyenne, soit le 11 juin en moyenne pour toutes les stations.

La maturation des fruits du sureau rouge (en moyenne dans toutes les stations le 4 juillet), du sorbier des oiseleurs (9 août) et du sureau noir (23 août) a été avancée de 3 à 10 jours. La maturation des fruits des deux espèces de sureau est observée depuis 1996.

Cette année, les vendanges ont été observées dans 39 stations. Elles ont eu lieu en moyenne le 26 septembre, soit 12 jours plus tôt que la moyenne de la période 1991–2020. Si le mois d'août et la première quinzaine de septembre ont été ensoleillés et chauds, la chute des températures à partir du 9 septembre a compliqué la planification des vendanges.

Automne

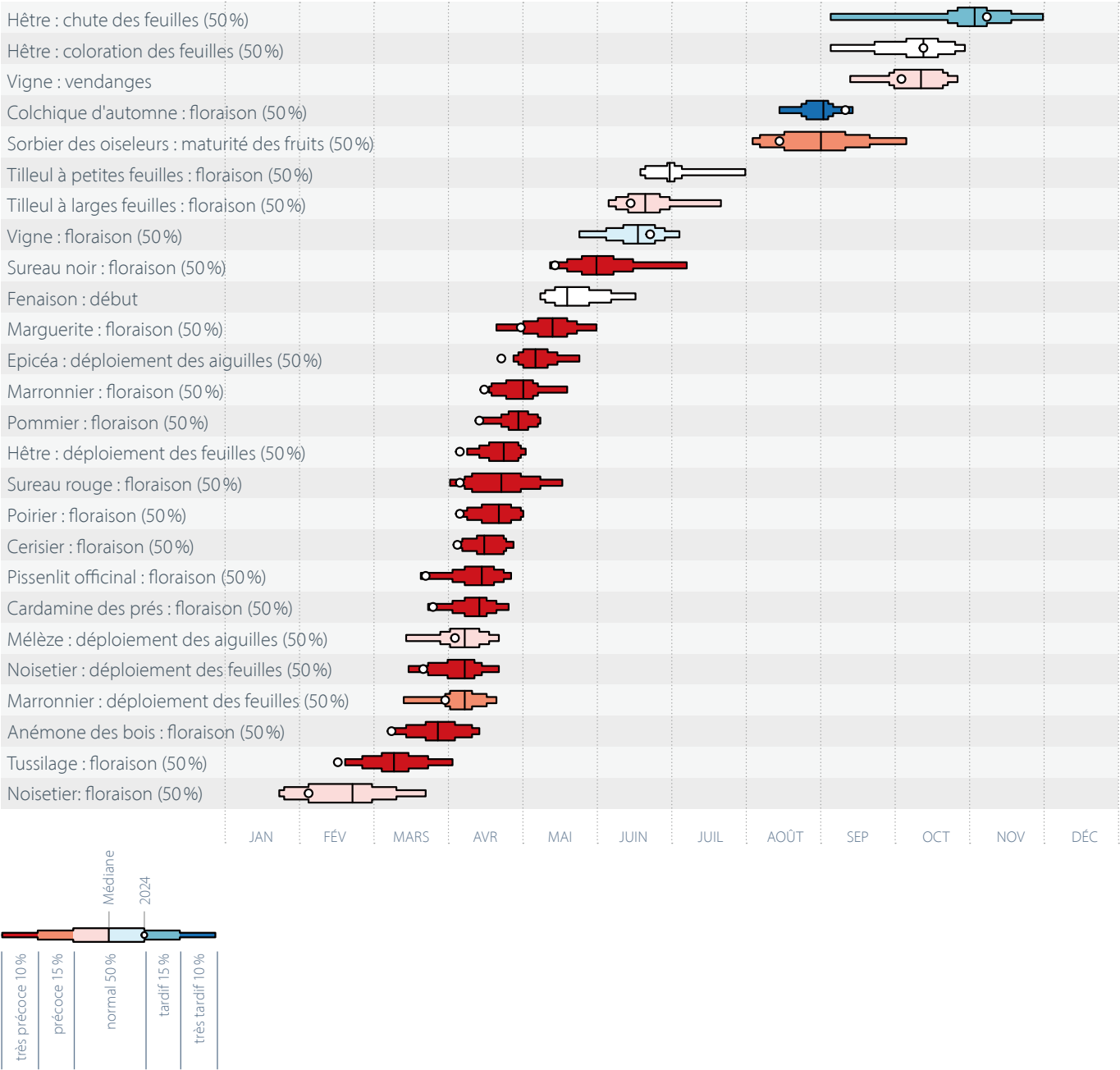
Les premiers arbres à feuilles caduques ont commencé à changer de couleur au cours du mois de septembre, mais c'est vraiment à partir de début octobre que les forêts se sont mises à se parer de mille couleurs. En septembre, on a déjà pu observer des marronniers, des bouleaux, des sorbiers des oiseleurs et les premiers tilleuls à larges feuilles changer de couleur. À partir de fin septembre et début octobre, les hêtres, les érables et les tilleuls à petites feuilles ont également changé de couleur. Les hêtres et les érables ont d'abord changé de couleur en altitude, puis, entre le 5 et le 10 octobre, de plus en plus en basse altitude, tandis que pour les tilleuls, les observations de changement de couleur des feuilles ont été faites presque simultanément à toutes les altitudes.

Cette année, le changement de couleur des feuilles a eu lieu 5 à 6 jours plus tard que la moyenne de la période 1991–2020. Seuls les sorbiers des oiseleurs et les bouleaux ont changé de couleur conformément à la date moyenne. Le temps doux mais humide à partir de la deuxième semaine d'octobre semble avoir retardé le changement de couleur des feuilles.

En montagne, la coloration des mélèzes a commencé à partir de la deuxième semaine d'octobre et s'est intensifiée vers la mi-octobre. Cela correspond à une date moyenne à légèrement tardive. À partir de la dernière décade d'octobre, on a observé une augmentation du nombre de mélèzes colorés dans les plaines. La majorité d'entre eux ont toutefois changé de couleur en novembre, 62 % des observations pouvant être classées dans les catégories « tardif » et « très tardif ». Dans l'ensemble, les aiguilles des mélèzes ont changé de couleur avec 7 jours de retard.

La chute des feuilles a été observée de manière généralisée entre la mi-octobre et la première décade de novembre. Cela correspond à une date moyenne. De nombreux arbres avaient donc déjà perdu leurs feuilles avant les fortes chutes de neige du 21 novembre et le poids de la neige a eu moins d'impact que si elle était tombée sur des arbres encore feuillus. Cependant, lors de ces chutes de neige, certains arbres n'avaient pas encore perdu leurs feuilles, par exemple les arbres en ville ou les chênes et les cerisiers, qui ont toujours une chute tardive des feuilles. La chute des aiguilles du mélèze a commencé fin octobre, début novembre dans les montagnes et s'est intensifiée à partir de la mi-novembre en plaine, où elle s'est poursuivie jusqu'à la mi-décembre. Dans l'ensemble, elle a eu lieu 7 jours plus tard que la moyenne.

Figure 2.15
Calendrier phénologique 2024 de Rafz. La répartition montre la période de comparaison 1991–2020. La date de l'année 2024 est représentée par un cercle blanc et la période de comparaison est colorée de très précoce à très tardif en fonction de son ordre chronologique. Si l'observation est manquante en 2024 ou si elle se situe précisément dans la médiane, la période de comparaison reste blanche.



Saison pollinique

L'année pollinique 2024 s'est caractérisée par une saison pollinique très précoce pour le bouleau et une saison pollinique pour les graminées dont la période de concentration maximale a débuté tardivement, en juin. Le mois de février très doux a favorisé la dispersion du pollen de noisetier et d'aune, tandis que la période froide en avril a mis prématurément fin à la saison pollinique du bouleau et du frêne. Les nombreux jours de précipitations en mai ont considérablement réduit la dispersion du pollen de graminées. Grâce à un approvisionnement suffisant en eau des sols, la période de forte concentration de pollen de graminées s'est prolongée jusqu'à fin juillet, soit plus longtemps que la normale. La dispersion du pollen d'ambrosie à la fin de l'été a été très faible. La saison pollinique 2024 est comparée ci-dessous à la moyenne sur 30 ans (1991–2020).

Sur le site de MétéoSuisse, des graphiques annuels illustrent la charge pollinique moyenne journalière des 14 principales espèces allergènes pour les stations du réseau suisse de mesure du pollen.



[Charge pollinique moyenne journalière des 14 principales espèces allergènes](#)

Automatisation du réseau de mesure du pollen à partir du 1.1.2023

Le passage de la mesure manuelle à la mesure automatique du pollen à partir du 1^{er} janvier 2023 a entraîné des différences dans les résultats des mesures de la concentration journalière de pollen. C'est pourquoi il n'est actuellement que partiellement possible de comparer l'intensité de la saison pollinique actuelle avec celle des années précédentes. L'évolution de la saison pollinique est cependant bien comparable avec les deux méthodes de mesure. La comparaison avec l'évolution à long terme se concentre donc surtout sur le moment de la saison pollinique et non sur son intensité. De plus, les graphiques de l'évolution à long terme de l'intensité pollinique du chapitre 5 ne seront plus établis tant que le passage à la mesure automatique n'aura pas été homogénéisé dans les séries de données.

Saison du pollen de noisetier et d'aune

Les premiers pollens de noisetier ont été mesurés en faibles concentrations au Tessin dès Noël et au Nord des Alpes dès fin décembre, car le mois de décembre a été très doux. A cette époque, seuls les noisetiers les plus précoces étaient en fleurs, tandis que les chatons de la plupart des arbustes étaient encore fermés. La mesure des premiers pollens de noisetier en décembre est très précoce, mais elle a déjà été observée certaines années précédentes. Les concentrations de pollen sont restées faibles au Nord des Alpes jusqu'au 23 janvier, car les précipitations, l'arrivée de l'hiver et les jours de gel ont freiné la floraison du noisetier. Ce n'est que l'arrivée d'air doux au cours de la dernière décade de janvier qui a permis une augmentation de la charge pollinique. Dans la plupart des stations de mesure, cela représente une à deux semaines plus tôt que la moyenne à long terme de 1991–2020. Les concentrations de pollen les plus élevées ont été mesurées entre fin janvier et mi-février. Le mois de février, exceptionnellement doux, a entraîné une floraison rapide et synchronisée des noisetiers, ce qui a raccourci la période de concentration maximale du pollen de noisetier. Au Tessin, des jours avec des concentrations de pollen modérées ont déjà été enregistrés en janvier. L'augmentation des concentrations n'a également eu lieu qu'au cours de la dernière décade de janvier, ce qui correspond à une date moyenne.

Dès Noël, les aunes pourpres plantés dans certaines villes ont fleuri, provoquant de graves symptômes allergiques à proximité des arbres. Comme les stations de mesure du pollen ne se trouvent pas à proximité de ces aunes en fleurs, leur pollen n'a pas atteint les appareils de mesure. Les aunes pourpres plantés fleurissent toujours plus tôt que nos espèces d'aunes indigènes. Les premiers pollens d'aune ont été mesurés au Tessin à partir du 11 janvier. Au Nord des Alpes, des pollens d'aune isolés sont apparus à partir de la mi-janvier. Au Tessin, les concentrations de pollen d'aune ont augmenté à partir du 25 janvier et au Nord des Alpes à partir de début février. Au Tessin, cette date se situe à peu près au milieu de la période 1991–2020, tandis qu'au Nord des Alpes, elle est avancée de quelques jours par rapport à la date moyenne. Les concentrations les plus élevées ont été mesurées au Tessin du 2 au 20 février et au Nord des Alpes du 9 au 21 février. Pendant cette période, des concentrations fortes à très fortes ont été mesurées de manière quasi-continue. Comme pour le noisetier, la floraison principale de l'aune s'est terminée nettement plus tôt que la moyenne et la durée de la concentration maximale de pollen a également été plus courte que la moyenne. Au Tessin, des précipitations intenses ont mis fin à la floraison de l'aune à partir du 22 février.

Saison du pollen de frêne et de bouleau

La saison pollinique du bouleau a débuté presque simultanément au Tessin et au Nord des Alpes, les 18 et 19 mars. Au Tessin, elle a commencé une semaine plus tôt que la moyenne 1991–2020, et 8 à 13 jours plus tôt au Nord des Alpes. Dans plusieurs stations de mesure, il s'agit du deuxième ou troisième début le plus précoce de la saison pollinique du bouleau au cours de cette période de référence sur 30 ans. En moyenne, toutes stations confondues au Nord des Alpes, le début n'a été plus précoce que de quelques jours en 2020, 1997, 1994 et 1990. Les bouleaux ont fleuri si tôt parce que les températures en février et mars ont été nettement supérieures à la référence. Peu après le début de la saison pollinique du bouleau, des concentrations élevées de pollen ont été atteintes, également 7 à 13 jours plus tôt que la moyenne. Jusqu'au début du mois d'avril, la dispersion du pollen de bouleau a toutefois été interrompue à plusieurs reprises par des précipitations fréquentes. La phase de concentration maximale a été enregistrée du 3 au 8 avril au Nord des Alpes, pendant une période exceptionnellement douce avec des températures estivales dépassant les 25 °C. Une forte concentration de pollen de bouleau a également été observée dans toute la Suisse pendant la deuxième phase très douce du mois d'avril, du 13 au 15. Au Tessin, la concentration de pollen de bouleau a été presque toujours élevée du 2 au 15 avril. Le refroidissement de la mi-avril a mis fin à la saison pollinique du bouleau une à deux semaines plus tôt que la normale. En raison de son début précoce, la saison a duré environ aussi longtemps que la moyenne.

Les premiers pollens de frêne ont été mesurés dès le début du mois de mars, très tôt dans la saison. Ils ont probablement été transportés en Suisse par les vents fréquents du sud et du sud-ouest. Au Tessin, des concentrations modérées ont été atteintes à plusieurs reprises au cours de la première moitié du mois de mars, y compris certains jours au Nord des Alpes. Les concentrations ont augmenté entre le 13 et le 21 mars, à une date moyenne au Tessin et environ une semaine plus tôt que la moyenne au Nord des Alpes. En raison des précipitations fréquentes, seuls quelques jours ont enregistré des concentrations élevées jusqu'au 4 avril, celles-ci étant plus élevées au Tessin qu'au Nord des Alpes. La phase la plus longue de fortes concentrations polliniques a été mesurée du 4 au 8 avril, en même temps que le pollen de bouleau. Comme pour le bouleau, la saison pollinique du frêne a pris fin avec l'arrivée du froid à la mi-avril. La saison a donc été globalement aussi longue que la moyenne, mais il n'y a pas eu de phases longues et marquées de forte concentration de pollen.

Saison du pollen de graminées

Les graminées se sont développées très tôt. Des pollens isolés ont déjà été présents dans l'air début avril. Le refroidissement de la deuxième quinzaine d'avril a toutefois empêché une floraison rapide. Le premier jour avec des concentrations élevées de pollen est survenu après cette phase froide, fin avril, et des concentrations importantes ont été mesurées entre le 9 et le 11 mai. C'est quelques jours plus tôt que la moyenne de la période sur 30 ans 1991–2020. Les mois de mai et juin ont été souvent pluvieux et peu ensoleillés. En mai, on n'a donc mesuré que des périodes de 3 à 6 jours au maximum avec une forte concentration de pollen de graminées. Les concentrations de pollen ont régulièrement diminué avec les précipitations. La première longue phase de forte et très forte concentration de pollen de graminées a été enregistrée du 4 au 20 juin. Cette phase n'a pas été exempte de précipitations, de sorte que quelques jours avec une concentration modérée de pollen ont également été enregistrés, principalement en Suisse alémanique. Au Tessin, la période du 9 au 15 mai a été la plus concernée par les pollens de graminées. Ensuite, en raison de précipitations fréquentes, la charge pollinique a été généralement modérée, interrompue par quelques jours de forte concentration de pollen. Au Tessin, la saison pollinique des graminées est toutefois toujours plus faible qu'au Nord des Alpes et les concentrations diminuent en moyenne dès la fin mai. Au Nord des Alpes, des jours de forte concentration de pollen ont été enregistrés jusqu'à fin juillet. Cette période a été nettement plus longue que la moyenne, car normalement, la phase de forte concentration de pollen prend fin à la mi-juillet. Cette année, les graminées ont pu poursuivre leur floraison grâce à l'approvisionnement suffisant en eau des sols et aux journées chaudes et sèches de la deuxième quinzaine de juillet.

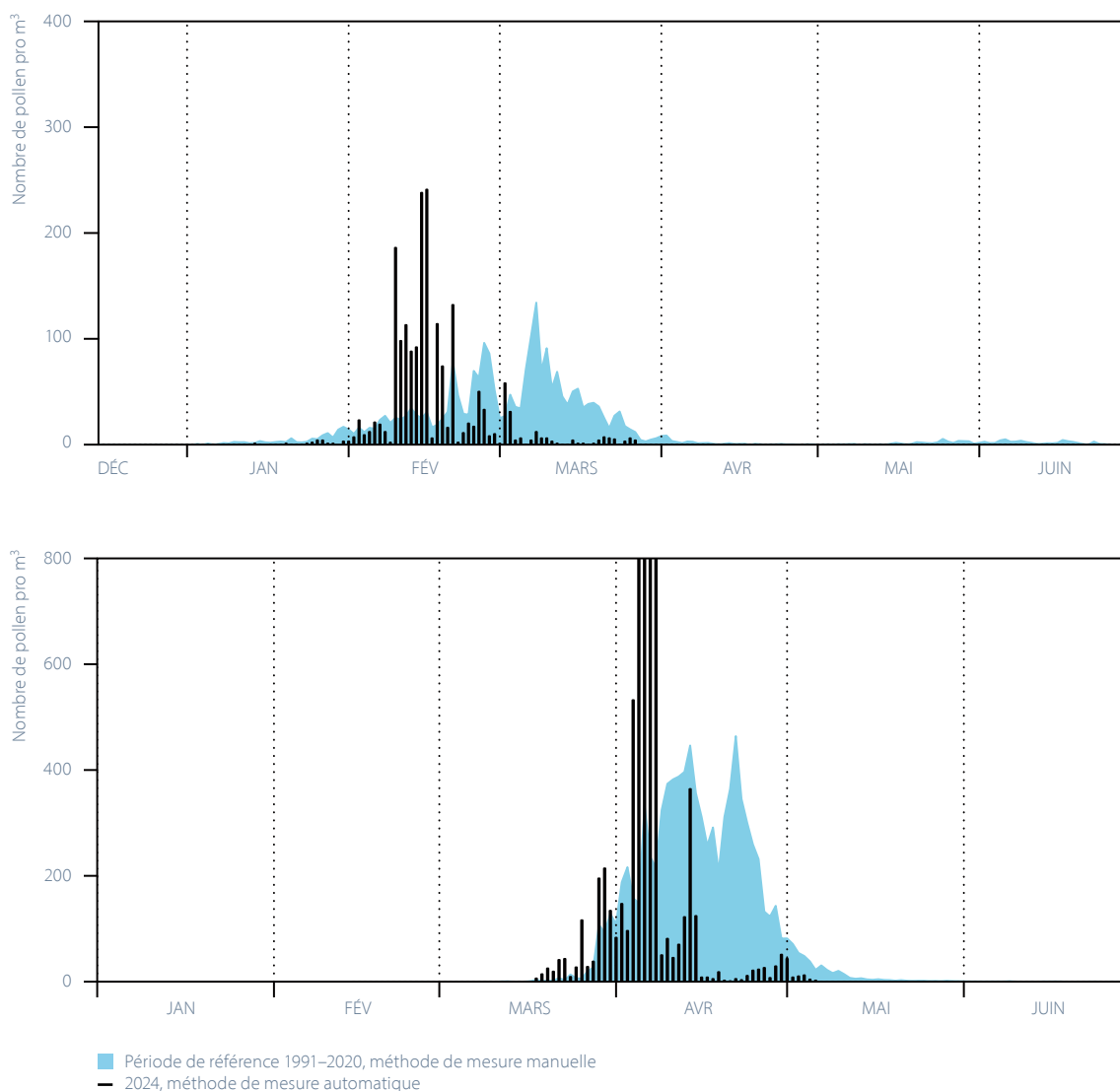
Saison du pollen d'ambroisie

La méthode de mesure automatique ne permet pas encore de déterminer le pollen d'armoise et d'ambroisie. L'évaluation du pollen d'ambroisie a donc été effectuée à partir des données de 6 stations de mesure manuelles qui ont continué à fonctionner en 2024 dans le cadre de mesures parallèles. Le suivi de la dispersion du pollen d'armoise est interrompu, car la station de mesure de Viège, la plus importante en Suisse pour le pollen d'armoise, n'est plus en service depuis cette année.

A Lugano, la dispersion du pollen d'ambroisie a été très faible. Seule l'année 2022 a enregistré des concentrations encore plus faibles. Une forte concentration n'a été mesurée qu'un seul jour, le 23 août. Il y a eu 5 autres jours avec une concentration modérée, soit 9 jours de moins que la moyenne. Depuis 2013, la concentration de pollen a fortement diminué dans le nord de l'Italie et au Tessin en raison de l'attaque des plantes par la chrysomèle de l'ambroisie. Du 12 au 17 septembre, une longue période de foehn du nord a également empêché le transport de pollen du nord de l'Italie vers Lugano. A Genève, la saison pollinique de l'ambrosien n'a été que moitié moins intense que la moyenne à long terme 1991–2020. Trois jours de fortes concentrations de pollen ont été enregistrés, soit deux jours de moins que la moyenne. L'intégrale pollinique saisonnière s'est élevée à 111 pollens, contre 208 en moyenne. Une dispersion modérée du pollen a été enregistrée du 20 août au 3 septembre. La saison pollinique de l'ambroisie s'est donc terminée 13 jours plus tôt que la moyenne. A Genève, le pollen d'ambroisie a été mesuré principalement l'après-midi et la nuit. Comme l'ambroisie libère son pollen en début de matinée, ces données indiquent que le pollen provient de France et a été transporté vers Genève par des vents du sud-ouest. Aucune station du Nord des Alpes n'a enregistré de jours avec de fortes concentrations de pollen.

Figure 2.16

Évolution de la saison pollinique 2024 de l'aune mesurée automatiquement à Münsterlingen (en haut), et de la saison pollinique 2024 du bouleau à Berne (en bas), comparée à la moyenne sur 30 ans 1991–2020 obtenue par mesure manuelle (courbe bleue). A Münsterlingen, la saison pollinique de l'aune, courte mais intense, s'est manifestée pendant les journées très douces du mois de février. A Berne, la saison pollinique du bouleau a commencé très tôt. Elle s'est toutefois terminée rapidement avec l'arrivée du froid à la mi-avril. Les axes des concentrations polliniques ont été limités à 400 ou 800 grains de pollen/m³, afin que les valeurs basses, importantes pour les allergies, soient également visibles.







3 Particularités de l'année 2024

3.1 Été marqué par des intempéries

Intempéries au Nord des Alpes

Un mois de mai arrosé, marqué par de fortes précipitations en fin de mois et de nouvelles pluies abondantes au début du mois de juin, ont entraîné une situation critique en Suisse orientale, du lac des Quatre-Cantons au lac de Constance et le long du Rhin, avec des inondations. Au début du mois de juin, le niveau du lac de Constance est monté d'environ 80 cm en seulement quatre jours. De nouvelles précipitations à partir du 9 juin ont fait encore monter le niveau du lac. Les rives ont été inondées.

Intempéries en Valais et au Sud des Alpes

Le 20 juin, de l'air très chaud d'origine subtropicale stagnait au Sud des Alpes. Parallèlement, un front froid accompagné d'orages s'est approché à partir de l'ouest. Il a traversé la Suisse dans le courant de la soirée. Les premières précipitations importantes se sont produites dès la veille au soir et dans les premières heures de la matinée. Les orages les plus violents se sont abattus avec le passage du front dans l'après-midi et dans la soirée du 21 juin.

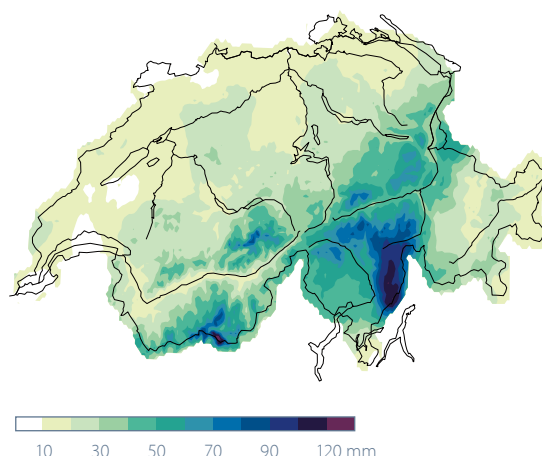
L'air chaud et humide transporté depuis le sud à travers les Alpes a apporté entre le soir du 20 et le soir du 21 juin des précipitations de 40 à 50 mm dans les vallées du sud du Valais. Localement, les quantités ont même atteint 70 à 100 mm. Combinées à la fonte des neiges suite aux chaleurs des jours précédents, elles ont donné lieu à d'importants écoulements. La région de Zermatt a été touchée par des inondations massives qui ont causé d'importants dégâts. La ligne ferroviaire menant à Zermatt a été interrompue par les crues. Le Rhône a été en crue dans le Bas-Valais.

Au Sud des Alpes, les précipitations ont atteint 30 à 50 mm sur l'ensemble de la région. La région la plus touchée, la Mesolcina, a reçu 60 à 80 mm, voire plus de 100 mm localement, comme l'ont clairement montré les 124 mm enregistrés à la station de Grono.

La majeure partie des pluies est tombée en très peu de temps. A Grono, 63,7 mm ont été mesurés en seulement 60 minutes. Les pluies les plus importantes enregistrées en 60 minutes au Sud des Alpes ont été mesurées à Locarno Monti en août 1997 avec 91,2 mm et à Crana Torricella en juin 2017 avec 80,5 mm.

Dans la Mesolcina, les intempéries ont eu des conséquences dévastatrices. Au sud de Lostallo, une coulée de boue a traversé des habitations, causant d'importants dégâts et faisant plusieurs victimes. Certaines maisons ont été complètement détruites. Au nord de Lostallo, une coulée de boue a obstrué la Moesa, qui s'est alors cherché un nouveau lit et a emporté avec elle un tronçon de l'autoroute.

Figure 3.1
Sommes de précipitations en 2 jours en Suisse, les 20–21 juin 2024, en mm.

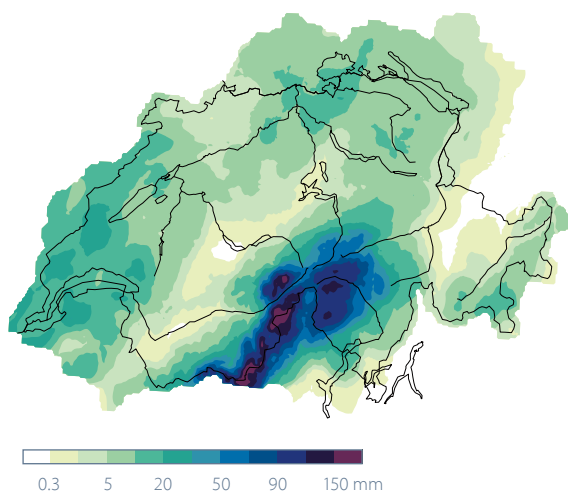


Nouvelles intempéries en Valais et au Sud des Alpes

Le 29 juin 2024, une dépression s'est déplacée de la France vers le sud de l'Allemagne. Elle a entraîné de l'air humide et instable vers la région alpine depuis le sud. De violents orages se sont abattus sur certaines parties du Haut-Valais et de la haute vallée de la Maggia, provoquant en peu de temps des précipitations extrêmement importantes. Pendant toute la durée de l'événement, du 29 au 30 juin, les cumuls de précipitations mesurés dans les zones les plus touchées ont atteint entre 60 et environ 130 mm. Binn, dans le Haut-Valais, a enregistré le cumul journalier le plus élevé en juin 2024, avec 159 mm, selon le réseau de mesure de MétéoSuisse.

Figure 3.2

Précipitations journalières (en mm) en 1 jour en Suisse le 29 juin 2024.



Les précipitations exceptionnelles ont provoqué en peu de temps une crue massive des rivières, qui ont débordé de leur lit. Le Rhône et la Maggia ont causé d'importants dégâts. Des coulées de boue ont dévasté des localités. La vallée de Saas, dans le canton du Valais, et le Val Bavana, dans le canton du Tessin, ont été particulièrement touchés. Une fois de plus, des victimes ont été à déplorer. En raison des routes ensevelies ou détruites, certaines zones ont été coupées du monde extérieur et n'ont pu être atteintes que par hélicoptère.

Intempéries au Sud et en Engadine

Le 6 juillet, des pluies ont commencé à tomber à partir de la mi-journée au Sud des Alpes et en Engadine, puis se sont intensifiées en soirée dans le Val Bregaglia et en Engadine. Dans le Sud du Tessin, les pluies ont été les plus fortes dans la matinée du 7 juillet, avec des cumuls horaires de 20 à 30 mm et localement jusqu'à 60 mm.

Les précipitations ont duré du 6 juillet à la mi-journée au 7 juillet à la mi-journée. Au cours de cette période, les cumuls ont atteint 200 à 220 mm dans le Sud du Tessin. Dans le Val Bregaglia, les quantités mesurées ont varié entre 80 et un peu plus de 100 mm. La Haute-Engadine a reçu environ 80 mm.

Les fortes précipitations ont provoqué localement des inondations dans les régions touchées. Des routes ont été recouvertes de débris emportés par des torrents en crue. L'Inn, en Engadine, est sorti de son lit. Les dégâts causés ont toutefois été bien moins importants que lors des intempéries dévastatrices du mois de juin dernier.

Intempéries dans l'Oberland bernois

Le 12 août, des orages violents avec un fort potentiel d'intempéries se sont abattus localement sur l'Oberland bernois. La région de Brienz a été durement touchée. Selon les cartes des précipitations établies à partir des données radar, près de 100 mm de pluie sont tombés par endroits sur les reliefs au-dessus de Brienz, dont la majeure partie en l'espace d'une heure environ. La Milibach est alors sortie de son lit. Les énormes masses d'eau et de débris ont causé d'importants dégâts aux maisons, aux routes et aux installations ferroviaires à Brienz. 70 personnes ont dû être évacuées.

De violents orages ont également frappé la région de Grindelwald. Dans la soirée, une coulée de boue a enseveli la route et la ligne ferroviaire menant à Grindelwald, coupant temporairement le village du reste du monde.

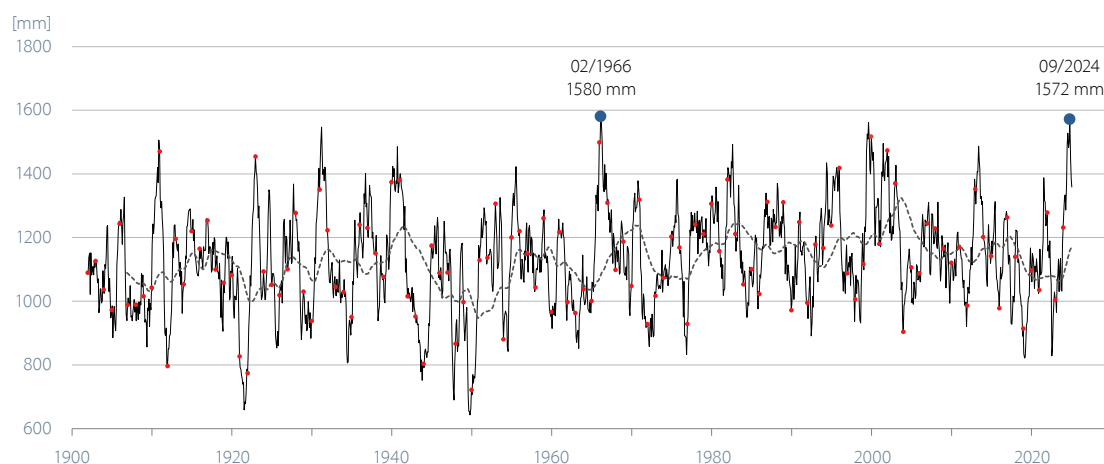
3.2 Des précipitations record en Suisse orientale

Une période de 12 mois exceptionnellement pluvieuse s'est achevée au cours de l'année 2024 dans plusieurs régions de Suisse. Le Plateau oriental a été particulièrement concerné. Entre octobre 2023 et septembre 2024, la moyenne régionale a atteint un niveau record sur 12 mois.

En moyenne sur le long terme (période de référence 1991–2020), le Plateau oriental enregistre en moyenne régionale près de 1170 mm de précipitations en 12 mois. Au cours des 12 mois d'octobre 2023 à septembre 2024, le cumul des précipitations a atteint 1572 mm. Un cumul sur 12 mois légèrement supérieur n'a été enregistré sur le Plateau oriental que de mars 1965 à février 1966. La série de données est disponible depuis 1901.

Le graphique montre le cumul glissant sur 12 mois des précipitations sur le Plateau oriental (ligne noire). Les points rouges marquent les années civiles (somme de janvier à décembre). Les deux records de septembre 2024 et février 1966 sont indiqués en bleu. La ligne pointillée grise montre la moyenne glissante sur 12 mois calculée sur 5 ans.

Figure 3.3
Somme glissante sur 12 mois des précipitations sur le Plateau oriental entre 1901 et 2024. Explications dans le texte.



Extrêmement pluvieux également au Sud

Au Sud des Alpes également, une période de 12 mois extrêmement pluvieuse a pris fin au cours de l'année 2024. Entre août 2023 et juillet 2024, la station de San Bernardino a mesuré une somme pluviométrique extrêmement élevée de 2484 mm. Un tel cumul sur 12 mois n'est que très rarement atteint ou dépassé dans cette région. En moyenne sur plusieurs années (référence 1991–2020), environ 1630 mm de précipitations sont enregistrés en 12 mois à la station de San Bernardino.

La période de 12 mois extrêmement pluvieuse qui a précédé l'été 2024 a été l'un des facteurs qui ont déclenché les coulées de boue et les inondations dévastatrices lors des intempéries estivales de 2024 au Sud des Alpes.

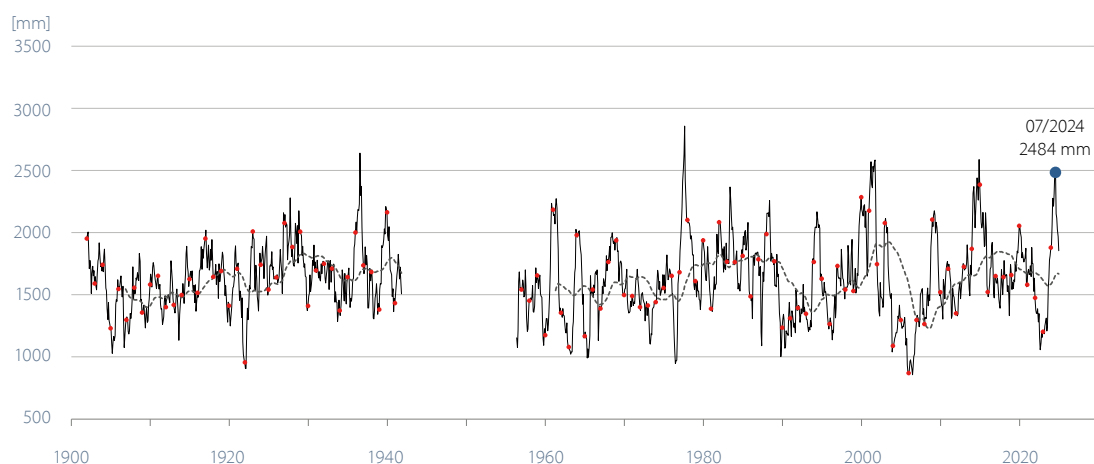


Figure 3.4
Somme glissante sur 12 mois des précipitations pour le site de San Bernardino, au Sud des Alpes, entre 1901 et 2024. Aucune valeur n'est disponible entre 1942 et 1954. Explications comme pour la Figure 3.3.

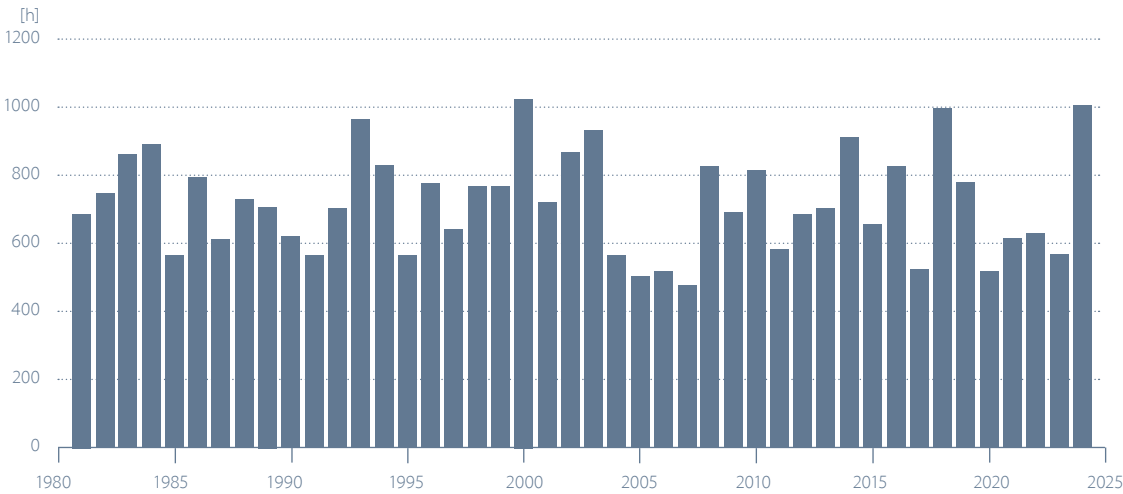
3.3 **Beaucoup de foehn au Nord des Alpes**

Dans les régions habituellement exposées au foehn au Nord des Alpes, l'année 2024 a été marquée par un nombre d'heures de foehn supérieur à la moyenne. Certaines stations ont mesuré l'une des trois années les plus riches en foehn depuis le début des mesures automatiques en 1981. A Aigle, dans le Chablais, l'année a été record en matière de foehn.

Plus d'un mois avec du foehn

Coire, la station au Nord des Alpes la plus exposée au foehn, a enregistré un total annuel de 1009 heures de foehn. Seule l'année 2000 a été encore plus venteuse, avec 1028 heures de foehn. L'année 2018 arrive juste derrière, avec 998 heures de foehn. Une année moyenne à Coire compte 726 heures de foehn. Si l'on additionne toutes les heures de foehn enregistrées de janvier à décembre 2024, on obtient une durée totale de 42 jours de foehn à Coire.

Figure 3.5
Nombre d'heures de foehn par année à Coire dans la série de mesures disponibles depuis 1981. En 2024, on a enregistré 1009 heures de foehn.



De nombreux mois avec beaucoup de foehn

En 2024, Coire a enregistré 7 mois avec un nombre d'heures de foehn nettement supérieur à la moyenne. La période de 5 mois allant de février à juin, avec des valeurs mensuelles bien supérieures à la moyenne, est particulièrement remarquable. Après la pause estivale habituelle, les mois d'automne de septembre et d'octobre ont également été marqués par un nombre élevé d'heures de foehn.

Pour d'autres stations, comme Altdorf ou Vaduz, le nombre total d'heures de foehn a été nettement supérieur à la moyenne, surtout en février, mars et juin. En revanche, les mois d'automne de septembre et d'octobre n'ont enregistré que des valeurs légèrement supérieures à la moyenne.

Localement, le mois de mars 2024 a été extrêmement riche en foehn. A Altdorf, le nombre d'heures de foehn a atteint 175, soit plus de trois fois la moyenne mensuelle du mois de mars, qui est d'environ 50 heures. A Vaduz, le nombre d'heures de foehn a atteint 192, soit plus de quatre fois la moyenne mensuelle du mois de mars, qui est de 44 heures.

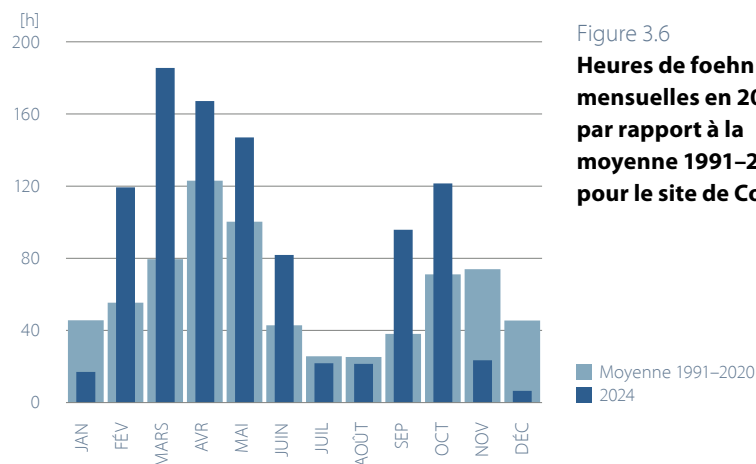


Figure 3.6
Heures de foehn mensuelles en 2024 par rapport à la moyenne 1991–2020 pour le site de Coire.

Record de foehn à Aigle

A Aigle, dans le Chablais, le foehn souffle beaucoup moins souvent que dans les vallées du Nord des Alpes habituellement soumises au foehn. Alors que Coire enregistre parfois plus de 800 heures de foehn par an, Aigle n'a jamais compté plus de 123 heures.

Avec 158 heures de foehn, l'année 2024 a établi un nouveau record remarquable pour Aigle. Le mois de mars

a largement contribué à ce résultat avec 79 heures de foehn. En mars, le foehn ne souffle en moyenne que pendant 8 heures à Aigle.

Mars 2024 a été le mois le plus venteux à Aigle depuis le début des mesures en 1981. Le mois d'avril 1993 arrive en deuxième position avec 73 heures de foehn.

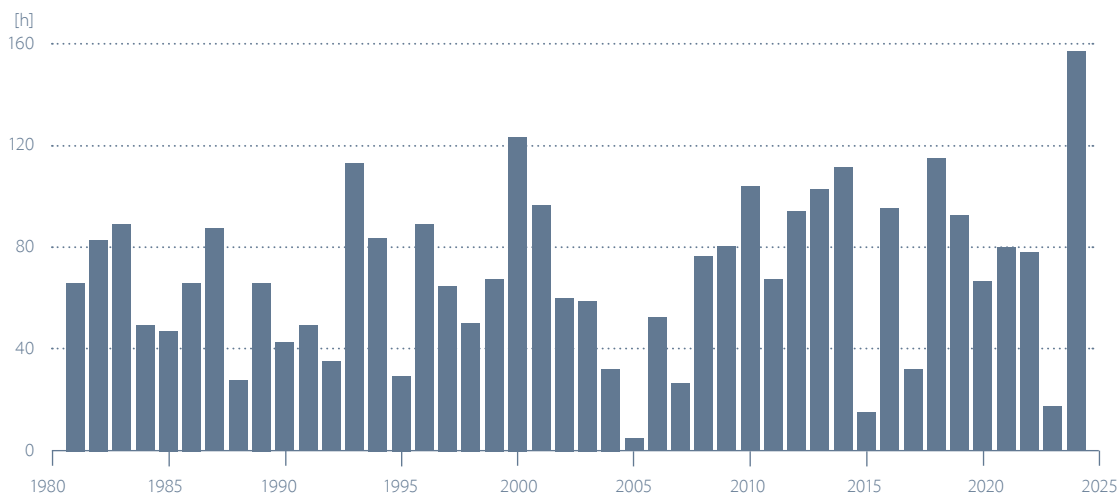


Figure 3.7
Nombre d'heures de foehn par année à Aigle dans la série de mesures disponibles depuis 1981. En 2024, on a enregistré 158 heures de foehn.





4 Climat global et événements météorologiques

L'année 2024 a été l'année la plus chaude au niveau mondial depuis le début des relevés systématiques en 1850. Avec un écart de +1,2 °C par rapport à la période de référence 1961–1990 dans le jeu de données HadCRUT5, l'année 2024 a été 0,1 °C plus chaude que le précédent record établi en 2023. El Niño a influencé la température moyenne mondiale au cours de ces deux années, mais de manière moins prononcée en 2024.

Le résumé ci-dessous se base principalement sur le rapport annuel sur l'état du climat mondial de l'Organisation météorologique mondiale (OMM) [5], sur les Global Climate Highlights 2023 de Copernicus/ECMWF [6] et sur le rapport sur le Global Climate Report de la National Oceanic and Atmospheric Association (NOAA) [7], ainsi que les sources qui y figurent.

4.1 Une année exceptionnellement chaude au niveau mondial

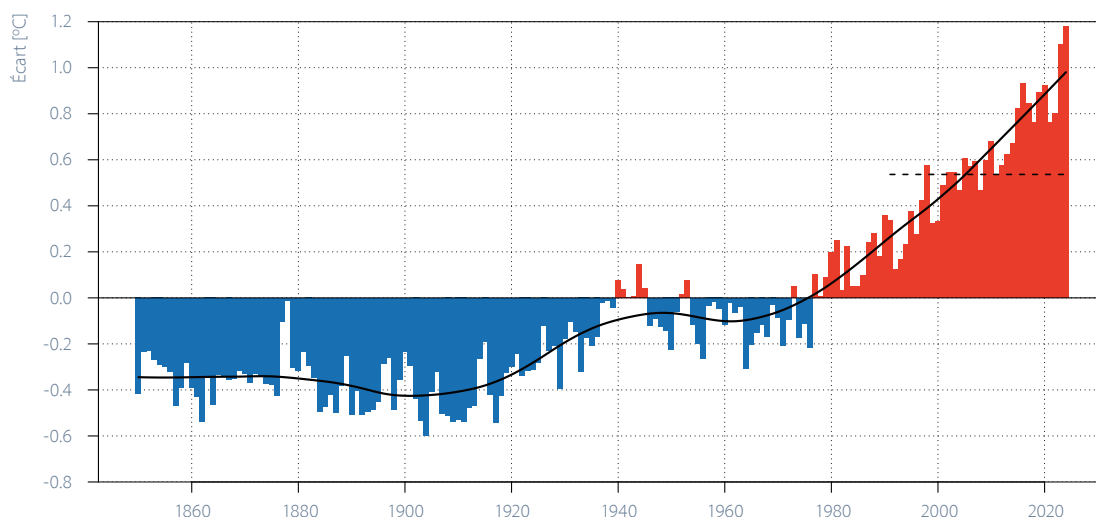
51

Selon le jeu de données HadCRUT5 de l'université anglaise d'East Anglia, la température moyenne mondiale en 2024 a présenté un écart de $+1,2^{\circ}\text{C}$ par rapport à la période de référence 1961–1990 ($+0,7^{\circ}\text{C}$ par rapport à la période de référence 1991–2020) et a ainsi atteint un nouveau record depuis le début des mesures en 1850 (Figure 4.1), après une année 2023 déjà record. Les dix dernières années, depuis 2015, ont été les plus chaudes depuis le début des mesures.

Presque partout dans le monde, des températures bien supérieures à la moyenne de la période 1961–1990 ont été enregistrées. Dans le nord-ouest du Canada, en Europe de l'Est et dans le nord de la Sibérie, des écarts de plus de 3°C par rapport à la période de référence 1961–1990 ont été mesurés. Le reste de l'Amérique du Nord, l'Europe

occidentale et de vastes régions d'Asie et d'Afrique du Nord ont affiché des écarts de $1,5$ à 3°C par rapport à la référence. Les températures moyennes annuelles ont été légèrement inférieures, mais toujours positives, par rapport à la référence en Afrique centrale, en Inde, au sud-est du Groenland et en Australie. Seule la côte occidentale de l'Amérique du Sud, la Terre de Feu et le Pacifique Sud proche ont enregistré des valeurs légèrement inférieures à celles de la période de référence 1961–1990.

En Europe, en Amérique du Nord, en Afrique et en Océanie, 2024 a été l'année la plus chaude depuis le début des mesures en 1850, et la deuxième plus chaude en Asie et en Australie. En Amérique du Sud, les années 2023 et 2024 ont été à peu près conjointement les plus chaudes depuis le début des mesures.



University of East Anglia, 2022 [8], ensemble de données HadCRUT5.

Figure 4.1
Évolution à long terme de la température moyenne globale (terres émergées et océans). L'écart annuel de la température par rapport à la période de référence 1961–1990 est représenté (rouge = écarts positifs, bleu = écarts négatifs). La courbe noire représente la moyenne pondérée (régression linéaire locale LOESS). La ligne en pointillés correspond à la référence 1991–2020.

La température annuelle globale (terre et eau) dans le jeu de données de l'Université d'East Anglia [8] a augmenté de $1,3^{\circ}\text{C}$ entre la période de référence préindustrielle 1871–1900 et la moyenne climatique actuelle (basée sur une régression linéaire locale). Le schéma général de l'évolution globale des températures sur plusieurs années, avec une accumulation d'années très chaudes ces derniers temps, se retrouve également dans la série des températures en Suisse (Figure 5.1).

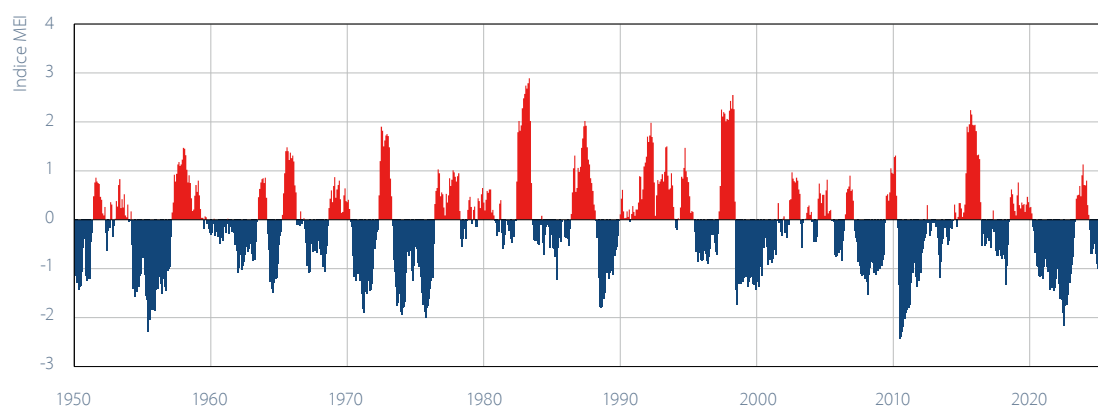
4.2 El Niño et La Niña

L'oscillation australe d'El Niño (ENSO) décrit la fluctuation naturelle du système couplé entre la surface de l'océan et l'atmosphère dans le Pacifique tropical. Pendant El Niño, ce système se trouve dans une phase chaude : la température de surface de l'océan Pacifique et celle de l'atmosphère qui le recouvre sont plus chaudes que la moyenne. En revanche, pendant la phase La Niña, une anomalie froide règne sur le Pacifique équatorial. El Niño et La Niña se succèdent avec une périodicité moyenne d'environ 4 à 7 ans. L'oscillation australe d'El Niño (ENSO), lorsqu'elle est forte, est l'un des principaux facteurs expliquant les variations annuelles de la température globale. Les années El Niño sont souvent plus chaudes à l'échelle mondiale, tandis que les années La Niña ont tendance à être plus fraîches.

Entre 2017 et 2022, il n'y a pas eu de phases El Niño particulièrement marquées. Les années 2020–2022 ont même été caractérisées par une forte phase de La Niña. El Niño s'est établi dans le Pacifique Sud de 2023 à mi-2024. Avec le recul de la masse d'eau chaude à partir de mi-2024, des conditions neutres sont réapparues, puis ont laissé place à un épisode La Niña. L'influence d'El Niño a donc été moins marquée en 2024 qu'en 2023.

Figure 4.2

Indice multivarié d'El Niño Southern Oscillation (MEI) 1950–2024. Les valeurs indicielles de la phase El Niño (phase chaude) sont indiquées en rouge, les valeurs indicielles de la phase La Niña (phase froide) en bleu. Le MEI est calculé à partir de la pression de surface, des composantes est-ouest et nord-sud du vent de surface, de la température de surface de la mer, de la température de l'air au niveau de la mer et de la couverture nuageuse. Les mesures sont effectuées dans la partie équatoriale de l'océan Pacifique.



 Les données sont disponibles sur [9].



4.3 Événements particuliers

Chaleur et sécheresse

En 2024, de nombreuses vagues de chaleur intense ont frappé la planète. Elles ont provoqué des incendies de forêt et de brousse dans de nombreuses régions. L'Asie de l'Est, l'Europe du Sud-Est, le bassin méditerranéen et le Moyen-Orient, le sud-ouest des Etats-Unis, l'Asie du Sud-Est, le nord de l'Inde, l'Amérique centrale ainsi que l'Afrique occidentale et la région du Sahel ont été particulièrement touchés.

En juillet 2024, une vague de chaleur a frappé le bassin méditerranéen avec des températures supérieures à 41 °C au Maroc et causé de nombreux décès attribués à la chaleur. En Inde et au Pakistan, les températures ont dépassé les 48 °C pendant la deuxième quinzaine de mai. En raison de la chaleur extrême, la région a connu une pénurie d'eau potable. Là aussi, de nombreuses personnes ont perdu la vie. Dans le golfe Persique, une vague de chaleur avec des températures de l'air supérieures à 40 °C et des températures de l'eau supérieures à 32 °C a entraîné des températures ressenties de 60 °C et plus.

La saison des feux de forêt au Canada a été la deuxième plus intense après celle de 2023 en termes de surface brûlée. Des milliers de personnes ont dû être évacuées pendant cette période.

De nombreuses régions d'Amérique ont été touchées par la sécheresse. La grave sécheresse qui a frappé le Mexique et certaines parties de l'Amérique centrale en 2023 s'est prolongée jusqu'aux premiers mois de 2024, tandis qu'une sécheresse importante a également sévi dans de vastes régions de l'intérieur de l'Amérique du Sud. Au Mexique, la sécheresse a entraîné une baisse de 20 à 40 % de la production de maïs. Le fleuve Paraguay à Asunción a atteint un niveau historiquement bas en septembre, tout comme plusieurs fleuves du bassin amazonien.

La sécheresse qui a sévi dans le nord-ouest de l'Afrique et en Afrique australe pendant la saison normalement humide de fin 2023 et début 2024 a entraîné une sécheresse marquée dans ces régions. Conjuguée à des conflits locaux, cette situation a entraîné une augmentation des déplacements de population, des épidémies et des pénuries alimentaires. En Zambie, par exemple, la production céréalière a chuté d'environ 42 % par rapport à la moyenne des cinq années précédentes.

Fortes précipitations et inondations

A la mi-septembre, une grande partie de l'Europe centrale a été touchée par des précipitations extrêmes. Dans le nord de l'Autriche, l'est de la Tchéquie et le sud-ouest de la Pologne, les cumuls de précipitations ont dépassé 400 mm en 5 jours, dépassant largement les records précédents dans de nombreux endroits. En Espagne, plus de 150 personnes ont perdu la vie à la suite de crues soudaines.

Une mousson inhabituellement active a provoqué de graves inondations dans de nombreuses régions du Sahel, notamment au Tchad, au Mali, au Niger et au Nigeria. En Afrique équatoriale orientale, des inondations ont causé de lourdes pertes humaines dans des pays comme le Kenya et la Tanzanie. Le lac Victoria a atteint un niveau record.

De fortes pluies persistantes dans l'Etat brésilien du Rio Grande do Sul ont provoqué des inondations qui ont submergé une grande partie de la ville de Porto Alegre et de nombreuses zones environnantes. Des pertes économiques se chiffrant à plusieurs milliards de dollars américains ont été signalées.

Cyclones tropicaux

En 2024, les États-Unis et les Caraïbes ont été frappés par une série d'ouragans violents. Beryl, en juillet, a été le premier ouragan de catégorie 5 jamais enregistré dans l'Atlantique et a touché plusieurs pays des Caraïbes, notamment la Grenade et Saint-Vincent-et-les-Grenadines. En septembre, l'ouragan Helene a provoqué des inondations catastrophiques dans le sud-est des États-Unis et causé d'importants dégâts lors de son passage, tandis qu'en octobre, Milton a causé d'importants dégâts en Floride en raison de la marée de tempête, de vents violents et d'inondations.

Le système tropical le plus meurtrier de l'année 2024 a sans doute été le typhon Yagi, début septembre. Il a provoqué des inondations après son passage, avec des conséquences importantes au Vietnam, en République démocratique populaire lao, en Thaïlande et au Myanmar, tandis que la Chine et les Philippines ont subi d'importants dégâts causés par le vent. On a dénombré environ 200 morts au Vietnam, des destructions de terres agricoles et de routes, ainsi que des interruptions dans la production alimentaire au Myanmar.

Banquise

L'étendue de la banquise arctique a atteint son maximum annuel de 15,01 millions de km² le 14 mars, soit légèrement en dessous de la moyenne à long terme (1991–2020) de 15,2 millions de km². Le 11 septembre, l'étendue de la banquise arctique a atteint son minimum annuel de 4,3 millions de km². Le minimum de 2024 est le septième plus bas jamais enregistré par les satellites.

L'étendue de la banquise antarctique a atteint son minimum annuel de 2,0 millions de km² le 20 février, soit la deuxième plus faible étendue enregistrée par satellite (1979–2024) après celle de 2023. Le maximum annuel de l'étendue de la banquise antarctique a été atteint vers le 19 septembre, avec une surface de 17,2 millions de km². Le maximum de 2024 est le deuxième plus bas jamais enregistré par satellite, le plus bas ayant été atteint en 2023.





5 Surveillance du climat

58

Le chapitre « Surveillance du climat » fournit un aperçu de l'évolution à long terme du climat en Suisse, en référence à l'année du rapport. Pour les paramètres principaux, la température et les précipitations, l'évolution du climat peut être retracée depuis le début des mesures officielles à l'hiver 1863/64. Pour la plupart des autres paramètres, des séries de mesures existent depuis 1959.

Le chapitre est structuré selon les variables climatiques essentielles du Système mondial d'observation du climat (Global Climate Observing System – GCOS) [10]. A partir de là, l'atmosphère et la surface terrestre sont traitées, l'accent étant mis sur les observations au niveau du sol

(Tableau 5.1). Il s'agit des séries de mesures classiques de la température et des précipitations et des paramètres qui en sont dérivés. L'origine des données et les méthodes sont traitées séparément au point 5.3.

Tabelle 5.1
Variables climatiques essentielles selon le GCOS Second Adequacy Report [10], complétées par les variables s'appliquant spécifiquement à la Suisse.

Domaine		Variables climatiques essentielles
Atmosphérique	Mesures au sol	Température de l'air, précipitations, pression atmosphérique, bilan du rayonnement en surface, vitesse et direction du vent, vapeur d'eau
	Atmosphère libre	Bilan radiatif (rayonnement solaire incl.), température, vitesse et direction du vent, vapeur d'eau, nuages
	Composition	Dioxyde de carbone, méthane, ozone, autres gaz à effet de serre, aérosols, pollen
Océanique	Variables de surface	Température de surface de la mer, salinité, niveau de la mer, état de la mer, glaces marines, courants, activité biologique, pression partielle en CO ₂
	Variables sub-superficielles	Température, salinité, courants, nutriments, carbone, traceurs océaniques, phytoplancton
Terrestre		Ecoulement, lacs, eaux souterraines, utilisation de l'eau, isotopes, couverture neigeuse, glaciers et calottes glaciaires, pergélisol, albédo, couverture terrestre (y compris le type de végétation), indice de surface foliaire, activité photosynthétique, biomasse, perturbation par le feu, phénologie

L'Organisation météorologique mondiale (OMM) a établi un ensemble d'indicateurs climatiques spécifiquement définis à partir de la température et des précipitations dans le but d'enregistrer l'évolution du régime des températures et des précipitations de façon détaillée et uniforme

à l'échelle mondiale [11]. En outre, d'autres indicateurs climatiques spécifiques à la Suisse sont abordés ici. Selon une recommandation de l'OMM concernant les analyses de l'évolution du climat, la période de référence 1961–1990 est utilisée dans ce chapitre [12], [13].

Tabelle 5.2

Indicateurs climatiques utilisés dans le domaine atmosphérique et le domaine terrestre. Les indicateurs OMM sont définis dans l'OMM/ETCCDI [11].

Désignation	Définition	Signification/caractéristique
Température	Température moyenne journalière conventionnelle (du matin au matin suivant), agrégée en température mensuelle et annuelle	Indicateur clé des changements climatiques et variable climatique essentielle [14]
Jours de gel (OMM)	Jours de l'année civile affichant une température minimale $T_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$	Le nombre de jours de gel dépend essentiellement de l'altitude de la station. Indicateur climatique particulièrement pertinent à haute altitude.
Journées d'été (OMM)	Jours de l'année civile affichant une température maximale $T_{\max} \geq 25^{\circ}\text{C}$ (définition selon le DWD [15])	Le nombre de jours d'été dépend essentiellement de l'altitude de la station. Indicateur climatique particulièrement pertinent à basse altitude.
Limite du zéro degré	Altitude à laquelle le thermomètre affiche zéro degré, déterminée sur la base des mesures effectuées par les stations au sol et au moyen de ballons-sondes	L'altitude de la limite du zéro degré est un indicateur de la température de l'atmosphère compte tenu du facteur altimétrique.
Précipitations	Somme journalière conventionnelle (du matin au matin suivant), agrégée en somme mensuelle et annuelle	Indicateur clé des changements climatiques et variable climatique essentielle [14]
Jours de fortes précipitations (OMM)	Jours de l'année civile présentant des précipitations journalières $P \geq 20 \text{ mm}$	Le seuil de plus de 20 mm ne correspond pas à un niveau de précipitations extrêmes rares. Des niveaux de 20 mm sont enregistrés plusieurs fois par an en Suisse.
Précipitations des jours très humides (OMM)	Somme des précipitations des jours de l'année civile où les précipitations journalières atteignent $P > 95$ percentiles des précipitations journalières (référence : 1961–1990)	Une journée est considérée comme très humide lorsque la somme des précipitations est supérieure à la moyenne à long terme des 18 jours les plus humides de l'année.
Nombre max. de jours consécutifs sans précipitations (OMM)	Nombre maximum de jours consécutifs dans l'année civile où les précipitations journalières sont inférieures à $P < 1 \text{ mm}$	Période ininterrompue de jours consécutifs sans précipitations (moins de 1 mm de précipitations).
Indice de sécheresse	SPEI (standardized precipitation evapotranspiration index) ; Écart par rapport au bilan hydrique moyen (différence entre les précipitations et l'évaporation potentielle)	La valeur indicielle d'un mois déterminé indique le déficit d'eau accumulé / l'excédent d'eau accumulé au cours de la période précédente, comparé à une moyenne pluriannuelle.
Somme de neige fraîche	Somme de neige fraîche des mois d'octobre à mars (semestre d'hiver)	Les quantités de neige et les chutes de neige fraîche dépendent – dans un rapport complexe – de la température et des précipitations. Elles réagissent donc de manière très sensible aux changements climatiques à long terme [16], [17], [18], [19].
Jours de neige fraîche	Nombre de jours de neige fraîche mesurable des mois d'octobre à mars (semestre d'hiver)	

5.1 **Atmosphère**

5.1.1 **Mesures au sol**

Les indicateurs climatiques de l'OMM utilisés ici (Tableau 5.2) sont représentés essentiellement à titre d'exemple à la lumière des séries de mesures des stations de Berne (zone de plaine du Nord des Alpes), Sion (vallée alpine), Davos (région alpine) et Lugano (Tessin). Ils sont calculés en tant que valeurs annuelles (nombre de jours de gel par an par exemple), étant entendu que l'on se réfère toujours à l'année civile (du 1^{er} janvier au 31 décembre).

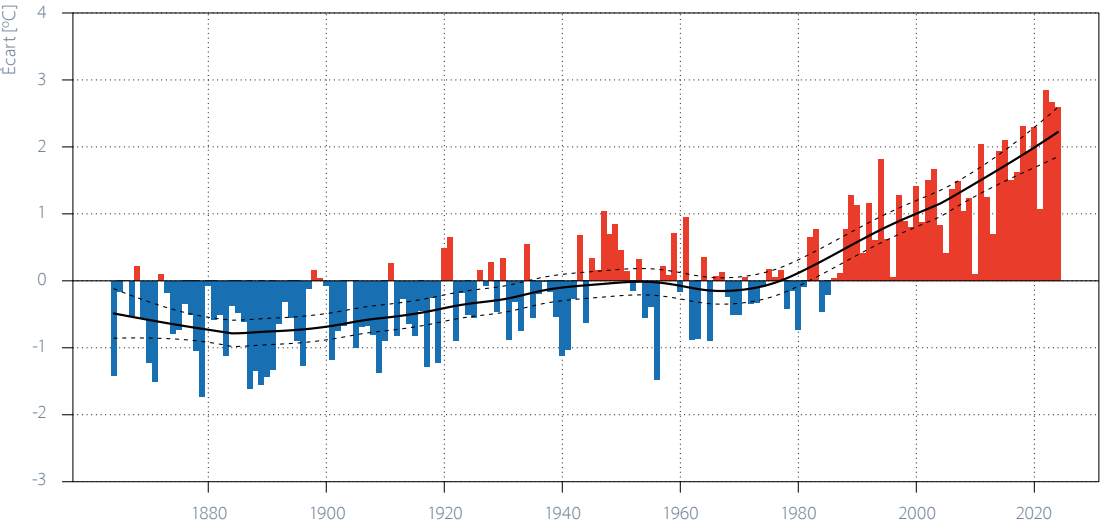


[Informations sur les indicateurs climatiques](#)

Température

Avec une température moyenne nationale de 7,2 °C, l'année 2024 s'est classée au troisième rang depuis le début des mesures en 1864. Cela représente 2,6 °C de plus que la référence 1961–1990 et +3,3 °C par rapport à la période de référence préindustrielle 1871–1900. Les années précédentes, 2022 et 2023, ont été légèrement plus chaudes, avec 7,4 °C et 7,3 °C. L'année 2024 poursuit ainsi la forte tendance au réchauffement observée ces dernières décennies. Depuis la période préindustrielle 1871–1900 jusqu'à aujourd'hui, la température annuelle en Suisse a augmenté de 2,9 °C (voir [20]). Cela correspond à la différence entre la moyenne climatique actuelle, c'est-à-dire la température moyenne annuelle attendue dans les conditions climatiques actuelles, et la moyenne de la période de référence préindustrielle. Si l'on tient compte des incertitudes liées à l'estimation de la tendance, le réchauffement en Suisse est compris entre 2,6 et 3,3 °C.

Figure 5.1
Évolution à long terme de la température annuelle, moyennée sur l'ensemble de la Suisse. L'écart annuel de la température par rapport à la période de référence 1961–1990 est représenté (rouge = écarts positifs, bleu = écarts négatifs). La courbe noire indique la moyenne pondérée sur 30 ans (régression linéaire locale LOESS selon [20]). Les lignes en pointillés indiquent la plage d'incertitude de cette moyenne (intervalle de confiance de 95 %).

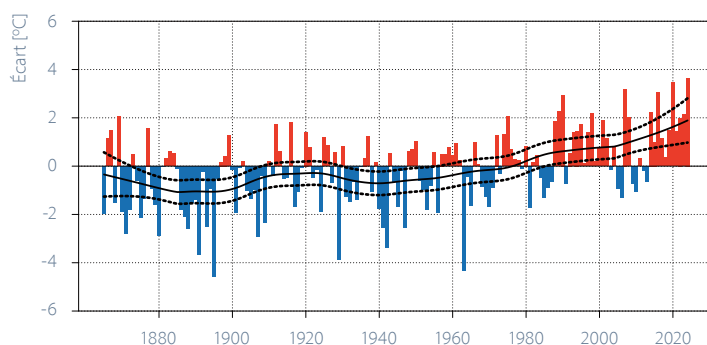


L'hiver 2023/24 a été le plus doux depuis le début des mesures en 1864, avec un écart de $+3,6^{\circ}\text{C}$ par rapport à la période de référence 1961–1990. Avec $+2,4^{\circ}\text{C}$ par rapport à la période de référence 1961–1990, l'année dernière a été le septième printemps le plus chaud depuis le début des mesures il y a 160 ans. L'été 2024 s'est classé au sixième rang, avec une température moyenne nationale supérieure de $3,3^{\circ}\text{C}$ à celle de la période de référence 1961–1990. L'écart le plus important par rapport à la référence pour un été en Suisse reste celui de 2003, avec un excédent de $4,8^{\circ}\text{C}$ par rapport à la période de référence 1961–1990.

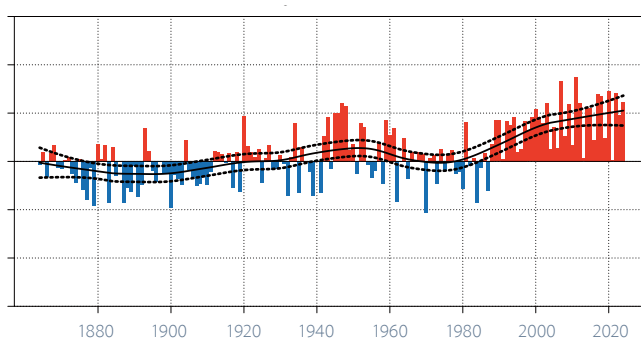
L'automne s'est classé au neuvième rang, avec un écart de $+1,4^{\circ}\text{C}$ par rapport à la référence.

La tendance au réchauffement est perceptible et statistiquement significative pour toutes les saisons. L'hiver est, selon les moyennes climatiques actuelles, plus chaud de $2,9^{\circ}\text{C}$ que la période de référence préindustrielle 1871–1900. Au printemps et en automne, le réchauffement par rapport à la référence préindustrielle est en moyenne de $2,6^{\circ}\text{C}$ et $2,8^{\circ}\text{C}$ respectivement. Les mois d'été (juin, juillet et août) ont gagné $3,4^{\circ}\text{C}$.

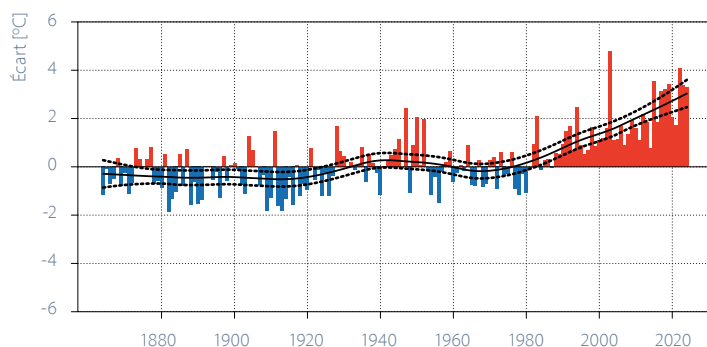
Hiver (DÉC, JAN, FÉV) 1864/65–2023/2024



Printemps (MARS, AVR, MAI) 1864–2024



Été (JUIN, JUIL, AOÛT) 1864–2024



Automne (SEP, OCT, NOV) 1864–2024

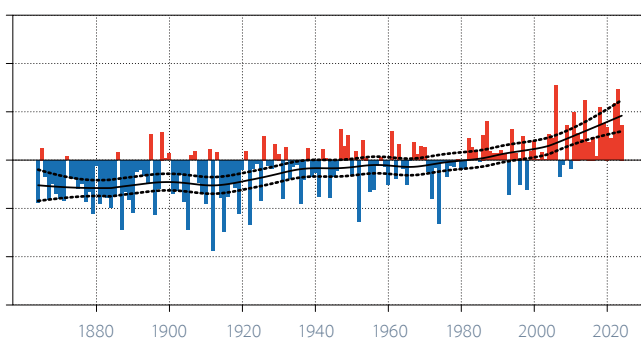


Figure 5.2

Évolution à long terme de la température par saison, moyennée sur l'ensemble de la Suisse. L'écart annuel de la température par rapport à la période de référence 1961–1990 est représenté (rouge = écarts positifs, bleu = écarts négatifs). La courbe noire indique la moyenne pondérée sur 30 ans (régression linéaire locale LOESS selon [26]). Les lignes en pointillés indiquent la plage d'incertitude de cette moyenne (intervalle de confiance de 95%).

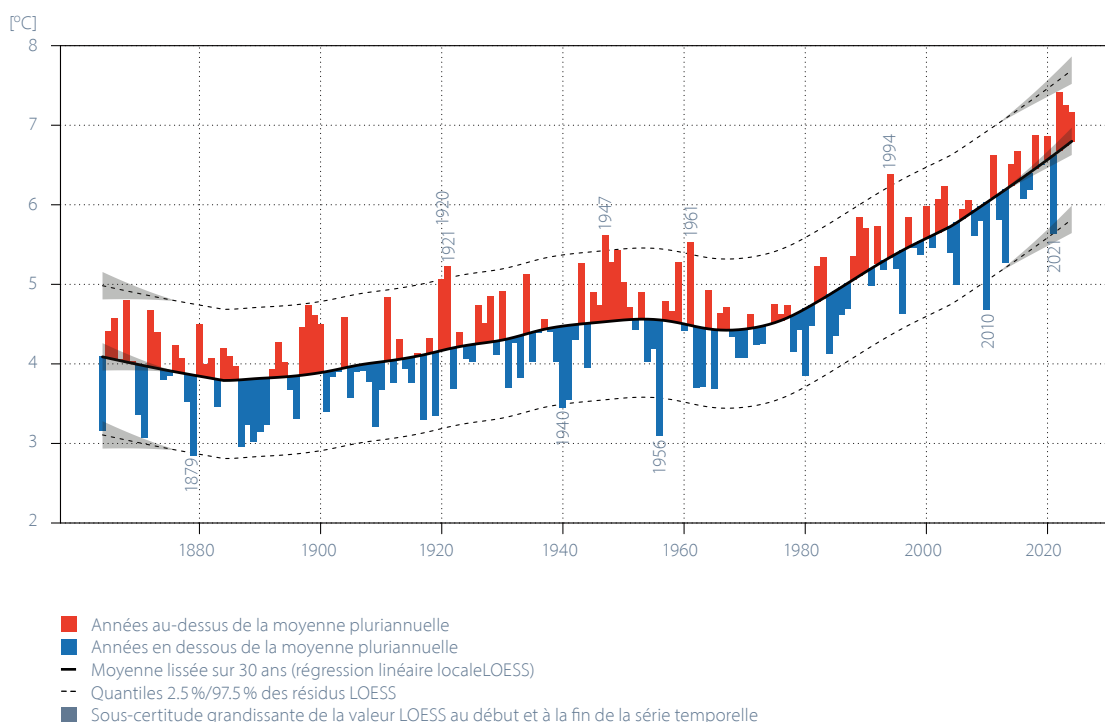
La moyenne climatique actuelle pour l'année civile 2024 est de 6,8 °C, soit 2,2 °C (+/-0,4 °C) au-dessus de la référence 1961–1990. Le réchauffement du climat suisse s'est nettement accéléré depuis 1970 environ (Figure 5.3). L'année 2024 s'est située 0,4 °C au-dessus de la ligne de tendance climatique, qui indique pour chaque année la moyenne climatique actuelle correspondante, et a donc été plus chaude que ce à quoi on aurait pu s'attendre dans le climat actuel. Il en va de même pour les années 2022 et 2023. En revanche, l'année 2021 a été nettement plus fraîche par rapport au climat représentatif actuel.

Les écarts positifs les plus importants par rapport à la moyenne climatique en vigueur à l'époque concernent des années comme 1994, 1961, 1947 et les années successives 1920 et 1921. Toutes ces années se situent en dehors de la plage de variation de 95 % du climat repré-

sentatif de l'époque et ont donc été exceptionnellement chaudes pour les conditions de l'époque. Les années remarquablement froides pour les conditions climatiques représentatives à l'époque sont 2021, 2010, 1956, 1940 et 1941, ainsi que 1879. Les températures moyennes de ces années se sont situées toutes en dessous de la plage de variation de 95 % dans le climat représentatif de l'époque.

Cette représentation montre de manière très impressionnante qu'une année exceptionnellement chaude par rapport à l'ensemble de la période de mesure, comme 2024 (rang 3), peut tout à fait se situer dans la plage des attentes du climat actuel, ou qu'une année comme 2021, qui se situe actuellement parmi les 25 années les plus chaudes depuis le début des mesures, représente une année froide dans le climat actuel.

Figure 5.3
Évolution à long terme
de la température
annuelle absolue,
représentée par les
écarts par rapport à
la moyenne pondérée
sur 30 ans (régression
linéaire locale LOESS,
ligne noire). Les barres
rouges indiquent
les années avec des
températures supé-
rieures à la moyenne
pondérée, les barres
bleues correspondent
aux années avec des
températures infé-
rieures à la moyenne
pondérée. Les lignes
en pointillés indiquent
la plage de valeurs
dans laquelle 95 %
des valeurs annuelles
se situent autour de
la ligne de tendance
climatique.



Le réchauffement rapide en Suisse a pour conséquence que les années avec les températures les plus élevées se retrouvent plus fréquemment au cours des dernières décennies. Les années 2022 à 2024 se situent nettement devant toutes les autres années. Parmi les trente années les plus chaudes depuis le début des mesures en 1864, seules quelques-unes datent d'avant 1990, les neuf premières étant toutes apparues après 2010 (Figure 5.4). Seules les années 2010 et 2013 ne font pas partie des trente années les plus chaudes en Suisse. La tendance de l'évolution à long terme des températures en Suisse, avec l'accumulation récente d'années très chaudes, se retrouve également dans la série des températures globales (Figure 4.1).

Sans mesures de protection du climat efficaces à l'échelle mondiale, on s'attend à ce que le réchauffement dû au changement climatique anthropique se poursuive de manière significative en Suisse. Selon les scénarios climatiques actuels CH2018, l'augmentation de la température moyenne annuelle d'ici la fin du 21^e siècle devrait être de l'ordre de 3,3 à 5,4 °C par rapport à la moyenne 1981–2010. Le réchauffement saisonnier le plus important, de 4,1 à 7,2 °C, est attendu en été dans le cas où les émissions mondiales de gaz à effet de serre se poursuivent comme jusqu'à présent [21].

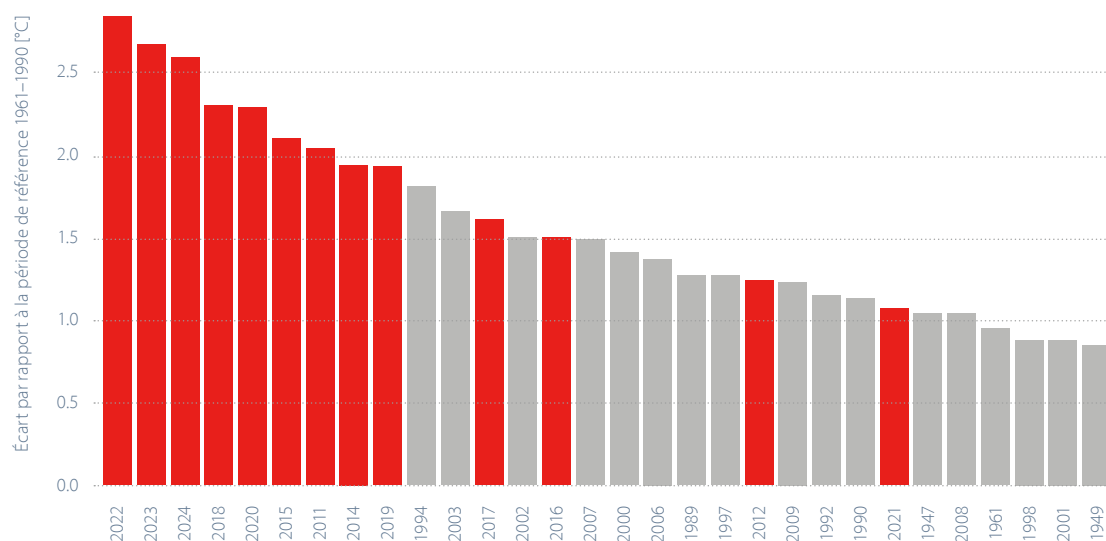


Figure 5.4
Classement des 30 années les plus chaudes depuis 1864. Les barres indiquent l'écart de la température annuelle moyenne suisse par rapport à la période de référence 1961–1990. Les années à partir de 2010 sont représentées en rouge.

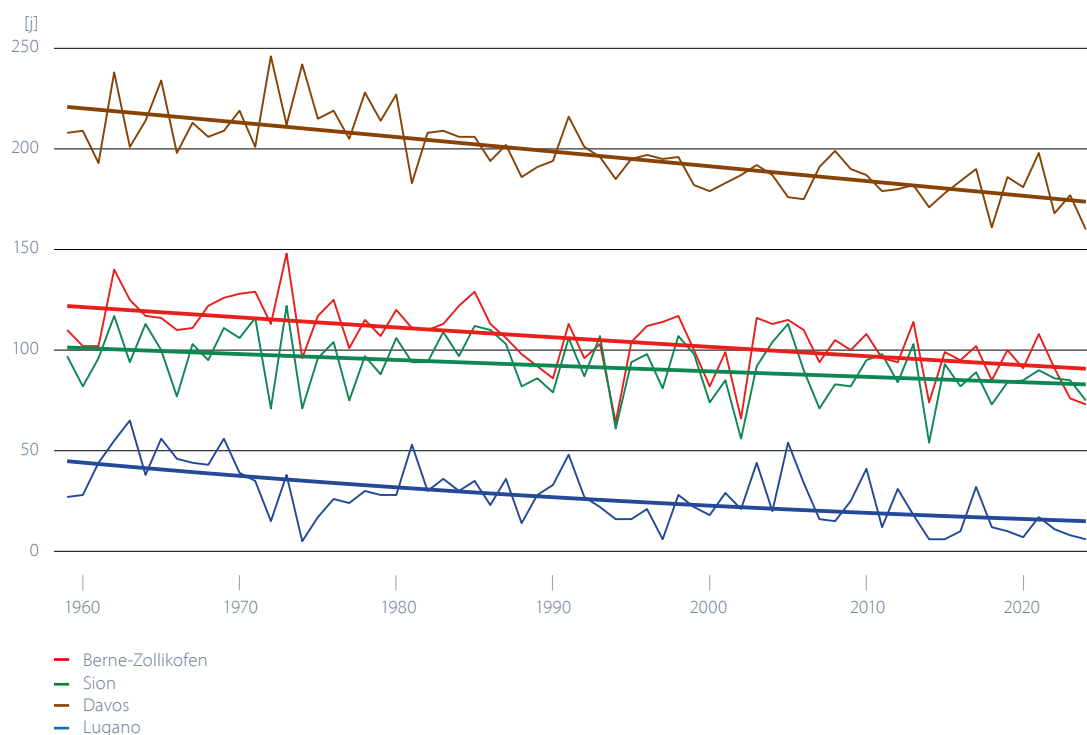
Jours de gel

En raison d'un hiver extrêmement doux et de températures supérieures à la moyenne au printemps et en automne, le nombre de jours de gel en 2024 a été très faible dans tous les sites de mesures mentionnés ici. Seules 6 journées ont enregistré une température minimale inférieure à 0°C à Lugano. Cela représente environ un sixième des jours de gel enregistrés dans cette station pendant la période de référence 1961–1990 (35 jours). Le site de mesures de Berne/Zollikofen a enregistré un bon tiers de jours de gel en moins. Il y a eu 73 jours de gel (valeur de référence: 115). A Davos, la station de mesures la plus élevée parmi celles présentées ici, 160 jours de gel ont été recensés au cours de l'année civile écoulée.

C'est près d'un quart de moins que pendant la période de référence 1961–1990 (210). A Sion également, avec 75 jours de gel l'année dernière, contre 98 jours pendant la période de référence, on a enregistré environ 25% de jours en moins avec des températures inférieures à 0°C.

Avec le réchauffement hivernal marqué de ces dernières décennies, toutes les séries de mesures effectuées à Berne, Davos, Sion et Lugano montrent une baisse significative du nombre de jours de gel. On y enregistre environ 3 à 7 jours de gel en moins par décennie.

Figure 5.5
Évolution dans le temps des jours de gel (jours de l'année civile affichant une température minimale <0°C) pour les stations de Berne, Sion, Davos et Lugano.



Selon les scénarios climatiques CH2018 [21], le nombre de jours de gel à Lugano devrait tomber à 5–14 jours par an d'ici 2060 si les émissions de gaz à effet de serre ne diminuent pas. A Berne, 50–70 jours de gel par année sont encore attendus.

Journées d'été

Le sixième été le plus chaud depuis le début des mesures en 1864 a connu moins de jours avec des températures maximales de 25 °C et plus que les deux années précédentes, 2022 et 2023, mais leur nombre a tout de même été nettement supérieur à la moyenne à long terme 1961–1990. Au site de mesures de Sion, 78 jours d'été ont été enregistrés en 2024, contre une moyenne de 56 jours d'été sur la période de référence 1961–1990. La station de Lugano a enregistré un nombre similaire de jours d'été (80). Au cours de la période de référence, le site de mesures de Lugano a enregistré 50 jours d'été. A Berne-Zollikofen, 55 jours d'été ont été recensés en 2024

(référence : 31 jours). Malgré son altitude, Davos a enregistré 8 jours avec 25 °C et plus. Au cours de la période de référence 1961–1990, on n'y enregistrait en moyenne qu'un jour d'été par an. Les jours d'été sont donc de plus en plus fréquents dans le climat actuel, même en altitude.

La tendance à l'augmentation du nombre de jours d'été est significative dans les quatre séries de mesures présentées. Par décennie, on enregistre environ 5 jours d'été de plus à Berne, 6 à Sion et 8 à Lugano. A Davos, à 1600 m d'altitude, l'augmentation correspond à 2 jours d'été supplémentaires par décennie.

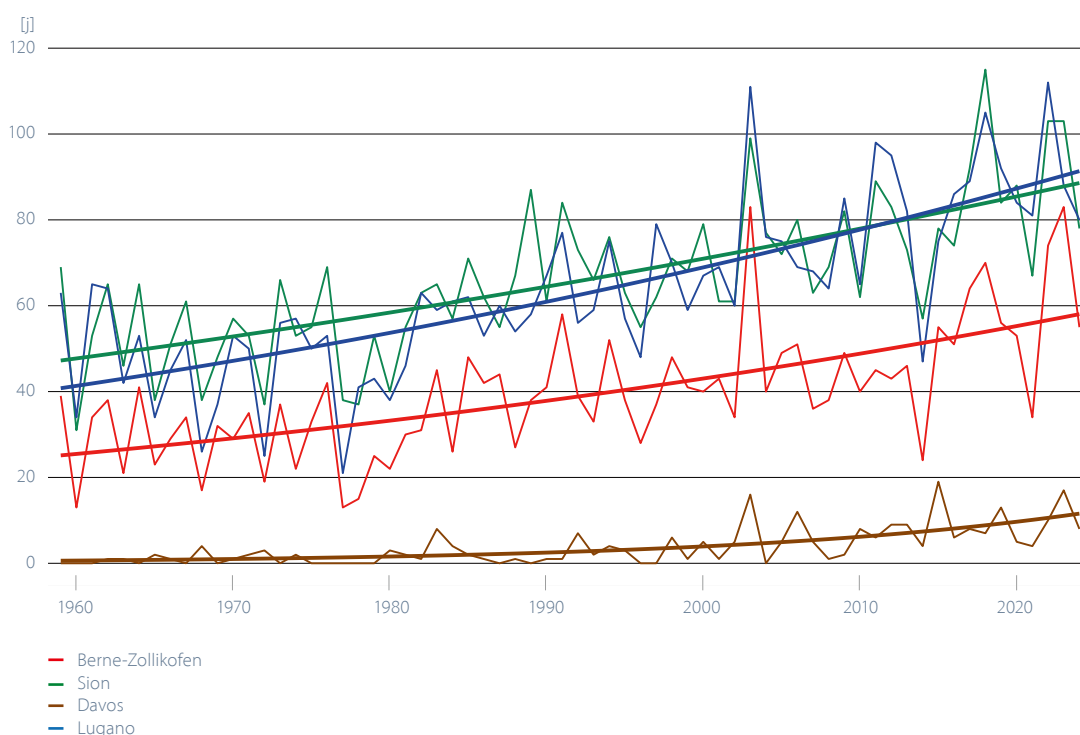


Figure 5.6
Évolution dans le temps
des journées d'été
(jours de l'année civile
affichant une tempéra-
ture maximale $\geq 25^{\circ}\text{C}$)
pour les stations
de Berne, Sion,
Davos et Lugano.

Si l'évolution croissante des concentrations mondiales de gaz à effet de serre se poursuit comme auparavant, le nombre de journées d'été dans une année moyenne jusqu'en 2060 dans les régions basses du pays devrait plus que doubler par rapport à la période de référence 1961–1990. Pour Berne, environ 70–90 journées d'été pourraient devenir la règle. Pour Davos, il est attendu 15–40 journées d'été d'ici 2060, ce qui correspond approximativement à l'amplitude des fluctuations de la période de référence 1961–1990 à Berne [21].

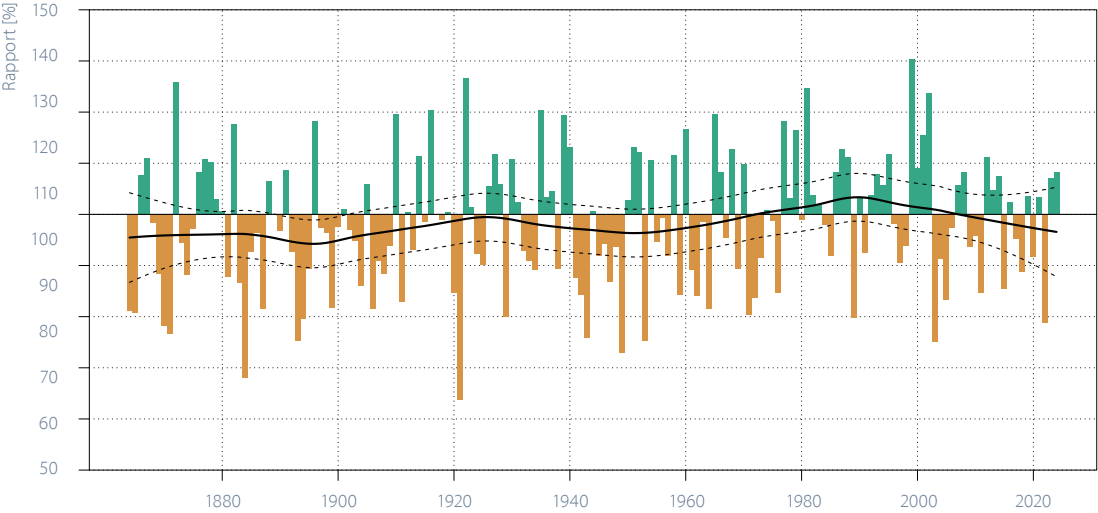
Précipitations

A l'échelle nationale, l'année 2024 a été, comme 2023, plus pluvieuse que la période de référence 1961–1990 (Figure 5.7). Le rapport avec la période de référence 1961–1990 a été de 108 % en moyenne annuelle. A l'exception de l'été, toutes les saisons ont été plus pluvieuses que la référence correspondante (Figure 5.8). En été, environ 87 % des précipitations de référence ont été mesurées en moyenne dans toute la Suisse. Le printemps arrosé a apporté 132 % des précipitations moyennes de la période de référence 1961–1990. En hiver, 127 % et en automne 120 % de la référence ont été enregistrés.

L'évolution des précipitations en Suisse entre 1864 et 2024 montre de fortes variations d'une année à l'autre et sur plusieurs années, tant en moyenne annuelle que pour toutes les saisons. Seul l'hiver affiche à ce jour une

augmentation significative des précipitations moyennes en Suisse, légèrement inférieure à 40 % par rapport à la période de référence préindustrielle. Compte tenu des incertitudes liées à l'estimation des tendances, on constate pour l'hiver une variation des quantités de précipitations de +9 à +67 % depuis la période préindustrielle. Pour les autres saisons, il n'y a pas de tendance claire à l'augmentation ou à la diminution des sommes de précipitations.

Figure 5.7
Évolution à long terme des sommes de précipitations annuelles moyennes en Suisse. La courbe représente le rapport entre les sommes de précipitations annuelles et la référence 1961–1990 (vert = écarts positifs, brun = écarts négatifs). La courbe noire indique la moyenne pondérée sur 30 ans (régression linéaire locale LOESS). Les lignes en pointillés indiquent la plage d'incertitude de cette moyenne (intervalle de confiance de 95 %).



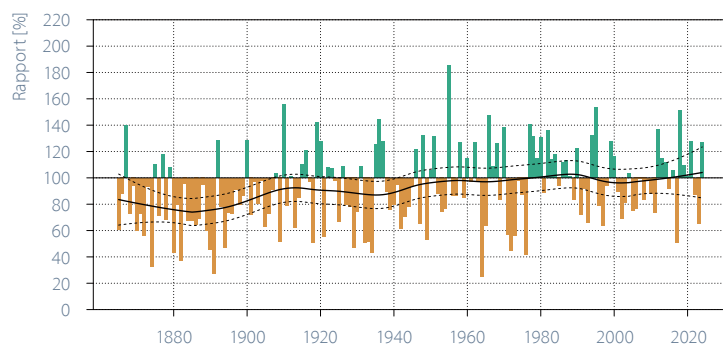
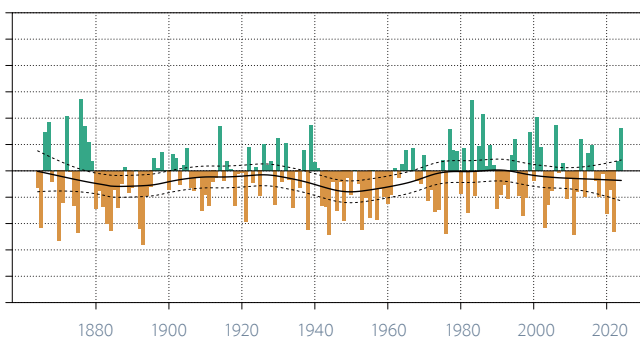
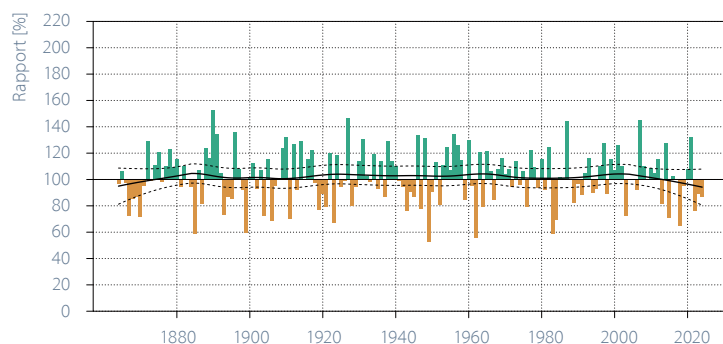
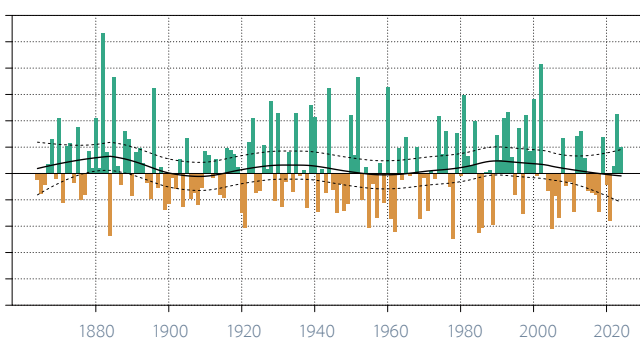
Hiver (DÉC, JAN, FÉV) 1864/65–2023/24**Printemps** (MARS, AVR, MAI) 1864–2024**Été** (JUIN, JUIL, AOÛT) 1864–2024**Automne** (SEP, OCT, NOV) 1864–2024

Figure 5.8

Évolution à long terme des sommes de précipitations moyennes par saison en Suisse. La courbe représente le rapport entre les sommes de précipitations annuelles et la référence 1961–1990 (vert = écarts positifs, brun = écarts négatifs). La courbe noire indique la moyenne pondérée sur 30 ans (régression linéaire locale LOESS). Les lignes en pointillés indiquent la plage d'incertitude de cette moyenne (intervalle de confiance de 95 %).

Sans mesures efficaces d'intervention à l'échelle mondiale, une diminution des précipitations est attendue en été en Suisse. D'ici la fin du siècle, les scénarios climatiques actuels prévoient des changements de précipitations allant de +2 % à -39 % par rapport à la moyenne 1981–2010. Pour l'hiver, en revanche, il est attendu une augmentation des précipitations qui pourrait se situer entre +2 % et +24 % [21].





Jours de fortes précipitations

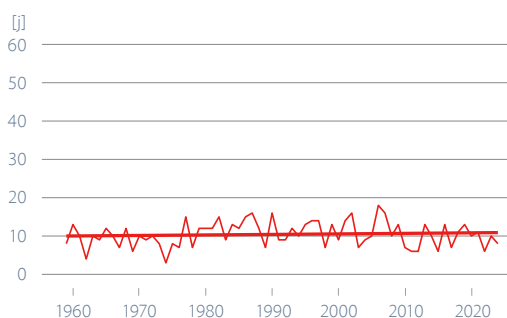
Malgré un été marqué par des intempéries accompagnées de précipitations localement extrêmes (voir chapitre 3.1) et des cumuls saisonniers supérieurs à la moyenne sur l'ensemble de la Suisse en hiver, au printemps et en automne, le nombre de jours avec 20 mm et plus au cours de l'année civile est resté dans la fourchette de la période de référence 1961–1990 aux stations de mesures présentées ici. A Berne, 8 jours de fortes précipitations ont été enregistrés (référence : 10), 9 à Davos (référence : 10) et 32 à Lugano (référence : 26). A Sion, 6 jours avec 20 mm de précipitations ou plus ont été enregistrés (référence : 5). Les quatre stations de mesures indiquées ne montrent aucune tendance significative à l'augmentation ou à la diminution du nombre de jours avec de fortes précipitations.

La variation des fortes précipitations a été étudiée sur 192 sites pour la période 1901–2023. 91 % des sites montrent une augmentation de l'intensité des plus fortes précipitations journalières par an, dont 22 % montrent une augmentation significative. La fréquence du nombre de jours par an avec des précipitations journalières supérieures au 99^e percentile a augmenté sur 87 % des sites, dont 29 % montrent une augmentation significative [22].

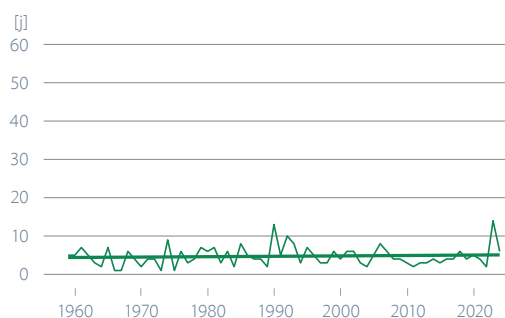
Les scénarios climatiques CH2018 indiquent également une augmentation des précipitations extrêmes et fortes à l'avenir. Les plus fortes précipitations sur une journée devraient augmenter de 10 % d'ici 2060 par rapport à 1981–2010 [21].

Figure 5.9
Nombre de jours de fortes précipitations (≥ 20 mm) au cours de l'année civile pour les stations de Berne, Sion, Davos et Lugano.

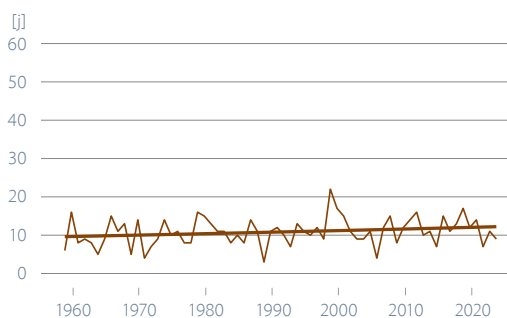
Berne-Zollikofen



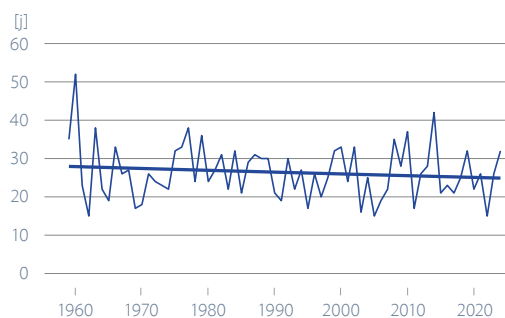
Sion



Davos



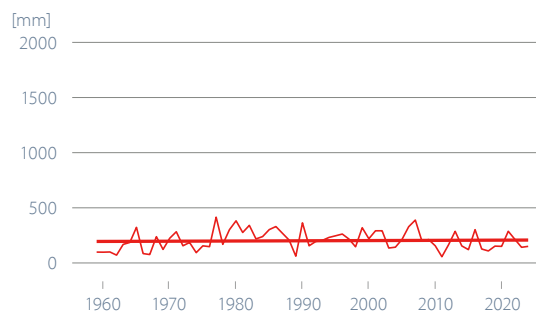
Lugano



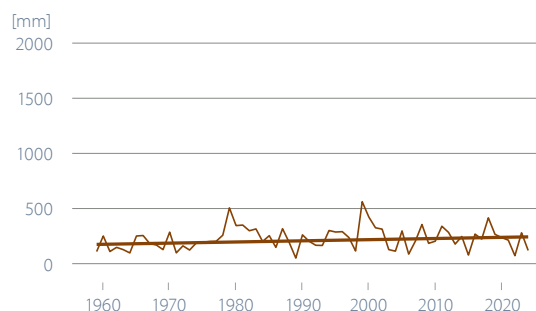
Précipitations des jours très humides

La somme des précipitations lors des journées très humides ont été inférieures à la moyenne de la période de référence 1961–1990 dans 3 des 4 stations de mesures. A Berne, 151 mm ont été enregistrés (valeur de référence : 216 mm), à Davos 120 mm (référence : 214 mm) et à Sion 71 mm (référence : 98 mm). Seule la station de Lugano a nettement dépassé la valeur de référence de 858 mm. Sur 5 % des jours les plus pluvieux, il est tombé au total 1066 mm. Sur le long terme, aucune des stations mentionnées ici ne montre de tendance significative.

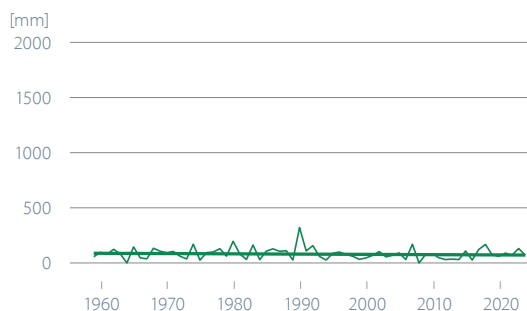
Berne-Zollikofen



Davos



Sion



Lugano

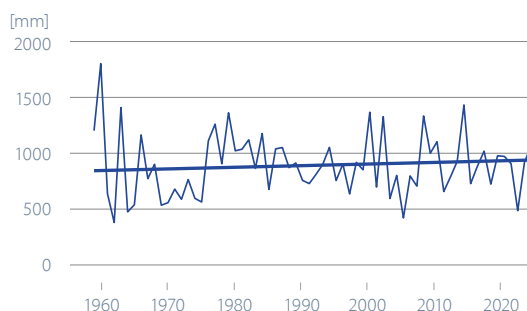


Figure 5.10

Somme des précipitations annuelles de toutes les journées très humides pour les stations de Berne, Sion, Davos et Lugano (en mm). Sont considérées celles dont la somme des précipitations journalières fait partie des 5% des précipitations quotidiennes maximales. La période de référence va de 1961 à 1990.

Périodes de sécheresse

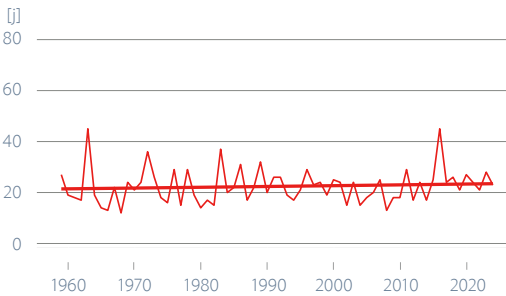
Les périodes de sécheresse les plus longues de l'année 2024 sont restées, dans les stations présentées ici, dans les limites de la période de référence 1961–1990, comme à Berne/Zollikofen avec 23 jours (valeur de référence : 22) et à Davos avec 20 jours consécutifs sans précipitations (référence : 22). Ou bien des périodes de sécheresse nettement moins longues ont été enregistrées, comme à Sion avec 19 jours sans précipitations (référence : 30) et à Lugano avec 24 jours sans précipitations (référence : 33).

Sur le long terme, aucune des séries de mesures mentionnées ne montre une tendance significative à des périodes de sécheresse plus longues ou plus courtes.

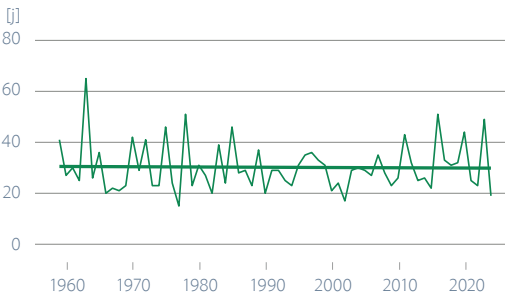
Selon les scénarios climatiques actuels, il faut s'attendre d'ici 2060 à une augmentation de la plus longue période de sécheresse d'une année pouvant aller jusqu'à 9 jours, si les émissions globales de gaz à effet de serre ne sont pas réduites de manière drastique [21].

Figure 5.11
Durée (nombre de jours) de la plus longue période de sécheresse par année civile pour les stations de Berne, Sion, Davos et Lugano.

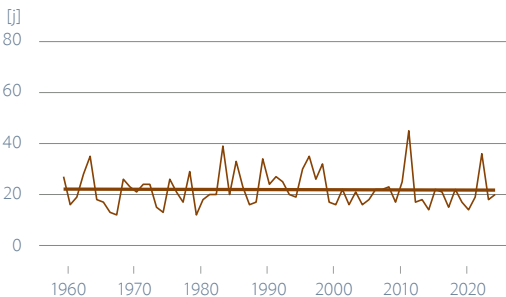
Berne-Zollikofen



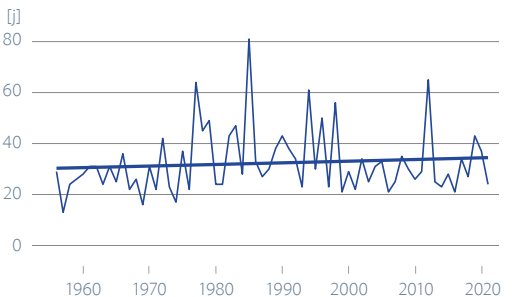
Sion



Davos



Lugano



Indice de sécheresse

La sécheresse peut être définie de différentes manières. D'une manière générale, elle se définit comme un déficit de précipitations sur une période prolongée, pouvant aller de plusieurs mois à plusieurs saisons. Selon la durée de la sécheresse, la pénurie d'eau peut affecter différents secteurs (agriculture, sylviculture, approvisionnement en eau et en énergie, navigation) à des degrés divers. Le bilan hydrique des mois d'avril à septembre est présenté ici sur la base du SPEI (standardized precipitation evapotranspiration index).

Le semestre d'été (période de végétation) est la période déterminante pour l'agriculture. Les mesures effectuées à Berne montrent qu'à l'exception de l'année 2021, toutes les dernières années ont présenté des bilans hydriques négatifs sur les mois d'avril à septembre. Cela vaut également pour le semestre d'été 2024, mais l'anomalie a été moins marquée que lors de l'année extrême précédente ou lors de l'été 2018 [23]. Des étés secs plus fréquents correspondent à ce qui est attendu dans un climat qui se réchauffe avec une évaporation plus élevée [24].

Les années avec des valeurs SPEI très basses (1947, 1865, 2003, 1949, 1893, 1911) dans cette série correspondent exactement aux années où les dégâts agricoles ont été les plus importants. Les périodes prononcées par un SPEI négatif correspondent bien aux épisodes de sécheresse connus au cours des 150 dernières années [25], [26].

SPEI Berne-Zollikofen

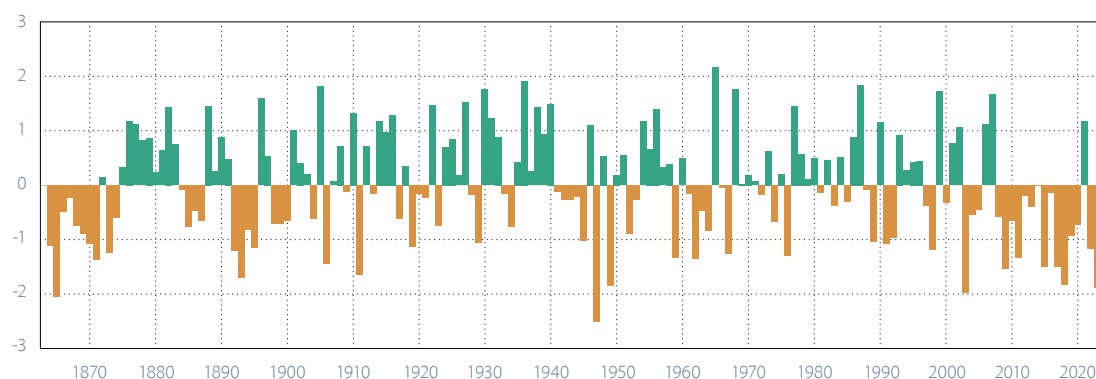


Figure 5.12

SPEI durant toute la période de végétation (6 mois, d'avril à septembre) à la station de mesure de Berne. Les valeurs positives indiquent des conditions plus humides que la médiane (1864–2024), les valeurs négatives, des conditions plus sèches.

5.1.2 Atmosphère libre

Limite du zéro degré

La série temporelle de la limite du zéro degré est déterminée par calcul de la valeur médiane des altitudes de zéro degré sur un an pour chaque année depuis 1959. Les données utilisées sont celles des radiosondages lâchés quotidiennement depuis Payerne à 11 h et 23 h UTC. L'altitude médiane relevée en 2024 est de 2857 m, c'est-à-dire 353 m plus haut par rapport à l'année 2023.

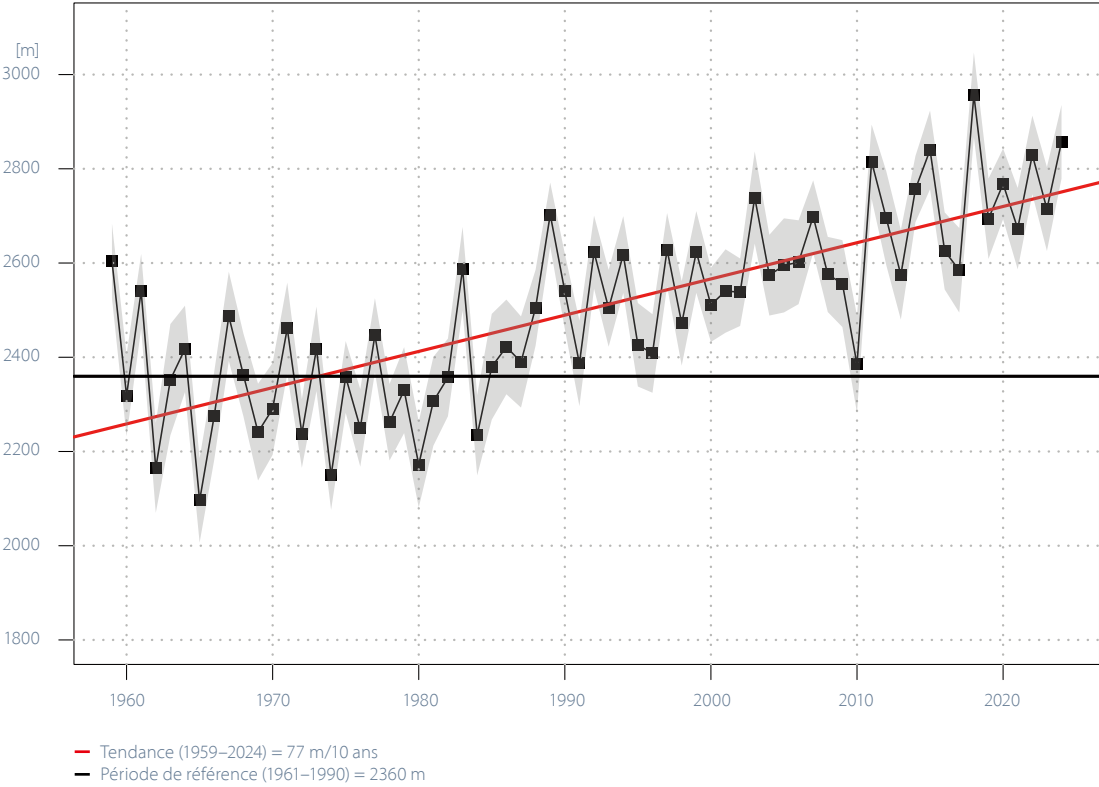
La Figure 5.13 montre la tendance à l'augmentation de la limite du zéro degré (tendance linéaire tracée en rouge) durant la période 1959–2024. La tendance générale des valeurs d'altitude du zéro degré sur l'ensemble de la période 1959–2024 ne fournit pas l'information par rapport aux changements qui se produisent sur des plus courts intervalles temporels et qui peuvent être en contre-tendance avec la tendance générale (par exemple la période 1959–1987). La figure montre la dispersion interannuelle autour de la tendance linéaire ainsi que l'incertitude des valeurs annuelle liée à la variabilité intra-annuelle (zone grise autour des valeurs annuelles).

La tendance à l'augmentation des médianes annuelles est particulièrement prononcée à partir des années 1990. Dans ce cadre de forte augmentation, l'année 2018 marque le record annuel de toute la série temporelle avec une

hauteur de 2957 m, supérieure de 597 m à la médiane calculée sur la période de référence 1961–1990 (2360 m). Par contre, la valeur minimale a été obtenue en 1965 avec une hauteur de 2096 m, soit 264 m au-dessous de la médiane de référence. Au cours des 35 dernières années, les valeurs annuelles ont systématiquement augmenté et agissent comme un traceur du réchauffement global de la troposphère. Le fait que la moyenne de la période de référence soit calculée sur la période 1961–1990 fait en sorte que les médianes annuelles sur la période 1959–1990 se distribuent autour de la référence sans montrer une tendance significative. Au contraire, on observe les anomalies positives d'altitude de zéro degré, les plus prononcées, sur la période 1990–2024, marquées par le record absolu en 2018.

L'évolution de la limite du zéro degré suit de près l'évolution de la moyenne annuelle de la température au sol en Suisse (Figure 5.1). Les valeurs annuelles montrées en Figure 5.13 ont augmenté de manière stable au cours de la période 1990–2024, une tendance en bon accord aussi avec les tendances saisonnières (Figure 5.14). Le Tableau 5.3 montre les valeurs extrêmes des séries saisonnières qui montrent comment trois records saisonniers ont été mesurés depuis 2018 et les quatre depuis 2007.

Figure 5.13
Série temporelle 1959–2024 des valeurs médianes annuelles de la limite de zéro degré.
La série est obtenue sur la base des valeurs journalières mesurées pendant des radiosondages quotidiens lâchés de la station aérologique de Payerne. La ligne noire indique la médiane des altitudes annuelles sur la période de référence 1961–1990 (2360 m). La ligne rouge montre la tendance linéaire de la série temporelle. La zone grise autour des valeurs médianes annuelles correspond à l'incertitude due à la variabilité intra-annuelle des mesures.



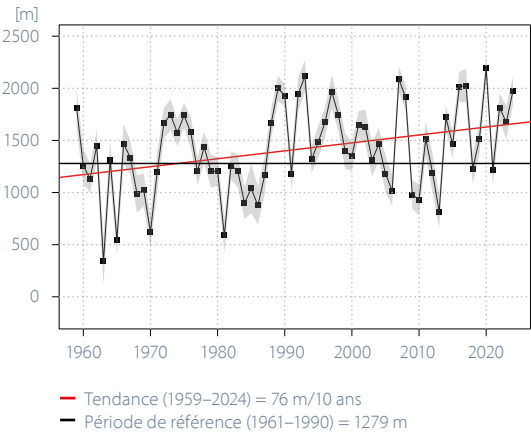
Les tendances linéaires des valeurs saisonnières en printemps (83 m/10 ans) et en été (92 m/10 ans), bien que caractérisées par des taux d'augmentation par décennie plus élevés, reproduisent de près la tendance des valeurs annuelles (77 m/10 ans). Les deux séries saisonnières sont en accord avec la série globale y compris pour la présence d'un point de rupture autour de l'année 1990. Les ten-

dances linéaires des saisons d'automne et d'hiver sont par contre caractérisées par des valeurs de p en dessous de la valeur de seuil ($p\text{-value} = 0.05$) qui indique la significativité statistique. Du point de vue statistique, rien ne peut donc être dit par rapport au signe de ces tendances, même si les valeurs calculées de pente sont positives pour l'hiver (76 m/10 ans, hiver) et l'automne (52 m/10 ans).

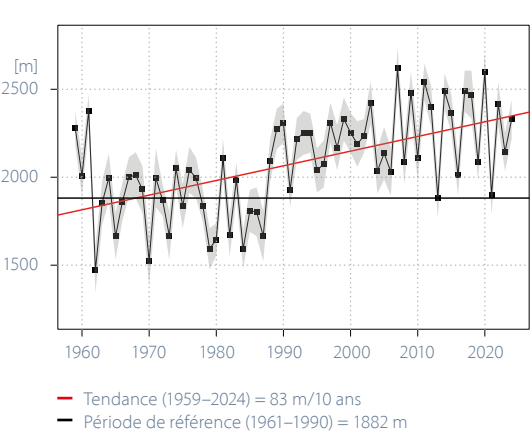
	Hiver (DÉC, JAN, FÉV)	Printemps (MARS, AVR, MAI)	Été (JUI, JUIL, AOÛT)	Automne (SEP, OCT, NOV)
minimum m (année)	341 m (1963)	1473 m (1962)	3106 m (1977)	1535 m (1974)
maximum m (année)	2191 m (2020)	2619 m (2007)	3962 m (2022)	3380 m (2018)

Tableau 5.3
Minima et maxima saisonniers de la limite du zéro degré.

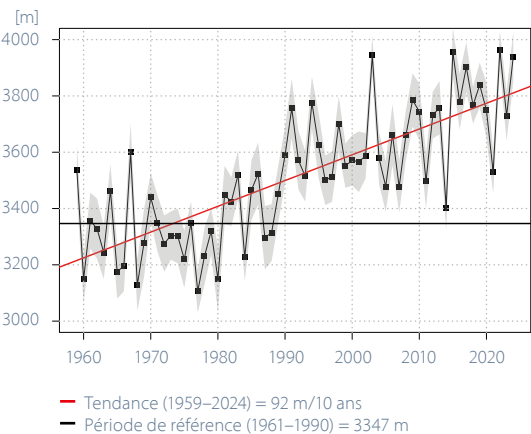
Hiver



Printemps



Été



Automne

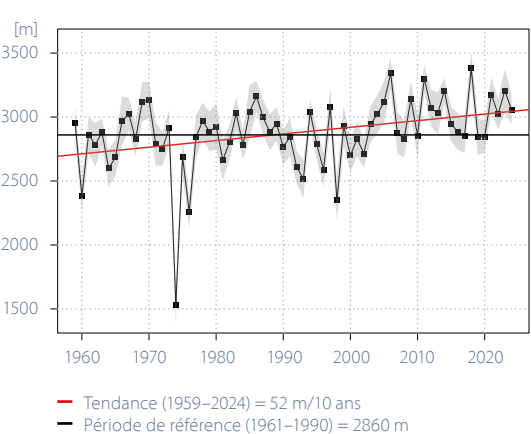


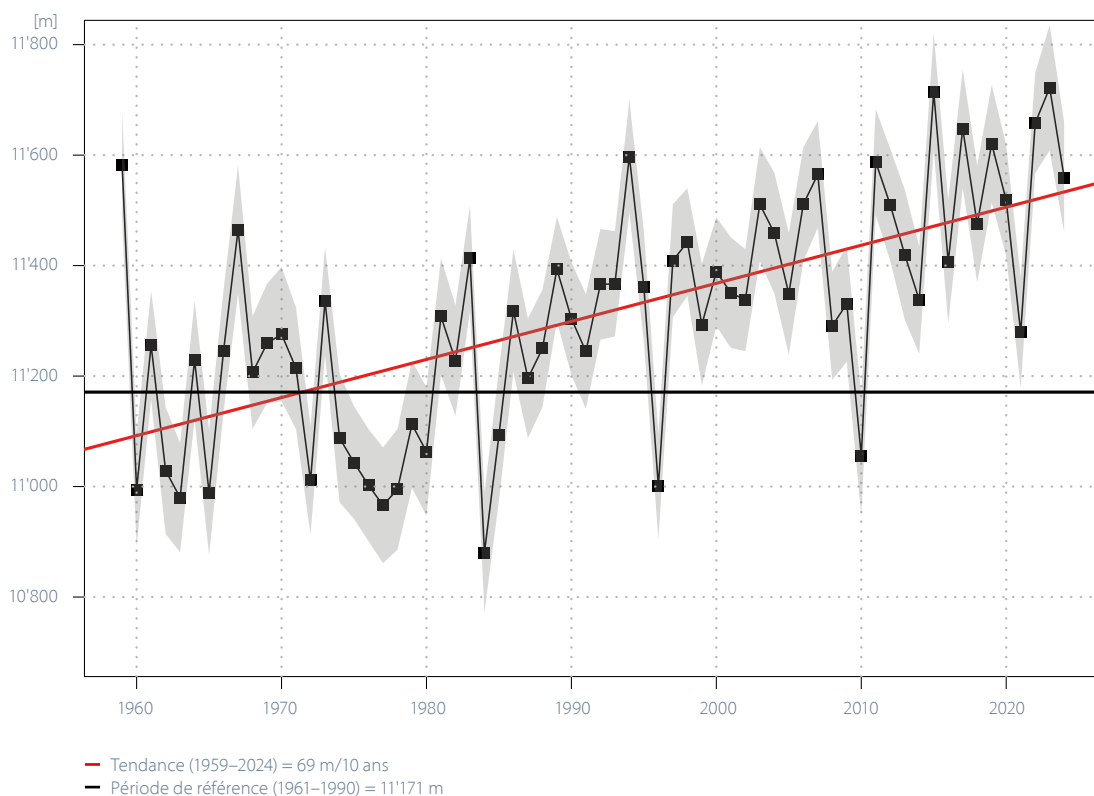
Figure 5.14
Valeur médianes saisonnières de la limite du zéro degré sur la période de mesure 1959–2024. La ligne noire horizontale indique la médiane des altitudes saisonnières sur la période de référence 1961–1990, la ligne rouge représente la tendance linéaire des valeurs médianes saisonnières depuis 1959. La zone grise autour des valeurs médianes représente l'incertitude intra-saisonnière des mesures.

Altitude de la tropopause

L'altitude de la tropopause est calculée conformément à la définition de l'OMM de la tropopause thermique [27] à partir de la température mesurée par radiosondage à Payerne. Les valeurs annuelles représentées en Figure 5.15 sont déterminées en partant de la valeur médiane annuelle calculée sur toutes les altitudes de la tropopause (2 chaque jour) pour chaque année depuis 1959. Comme pour la limite du zéro degré, aussi l'altitude de la tropopause montre une tendance à l'augmentation durant toute la période 1959–2024 (régression linéaire tracée en rouge). La zone grise montre la variabilité intra-annuelle et correspond à l'incertitude des valeurs médianes annuelles due à la variabilité des mesures journalières. La valeur médiane de référence (ligne noire horizontale) est la médiane des valeurs annuelles sur la période 1961–1990.

En 2024, la tropopause a atteint une altitude médiane de 11'560 m, soit 389 m plus haut que la valeur médiane de référence à 11'171 m et 162 m plus bas qu'en 2023 qui avait marqué le record absolu de la série (11'722 m). La valeur de 2024 s'aligne le long de la ligne de régression linéaire qui montre l'augmentation linéaire de la hauteur de la tropopause le long de la série depuis 1959 avec une pente de 69 m tous les 10 ans. La valeur de pente est statistiquement significative, malgré la forte variabilité interannuelle avec plusieurs valeurs extrêmes en dessous de la valeur de référence et qui apparaissent principalement en 1984 (10'880 m, minimum absolu), 1996 et 2010. De manière générale, cette tendance est en accord avec l'évolution de l'altitude du zéro degré (Figure 5.13).

Figure 5.15
Altitude annuelle médiane de la tropopause 1959–2024 obtenue grâce aux lâchers quotidiens de ballons-sondes à la station aérologique de Payerne. La ligne noire indique la valeur médiane de référence 1961–1990 (11'171 m). La zone grise autour des valeurs médianes correspond à l'incertitude des mesures.



La hauteur de la tropopause a augmenté de manière significative spécialement à partir de l'année 1990, une tendance qui se recoupe avec les tendances saisonnières montrées en Figure 5.16. A partir de 1990 environ, au printemps (mars, avril, mai) et en été (juin, juillet, août), les valeurs annuelles dépassent presque systématiquement la médiane de la période de référence 1961–1990 (10'584 m et 11'673 m, respectivement). Comme pour l'altitude du zéro degré, les tendances de l'altitude de la tropopause

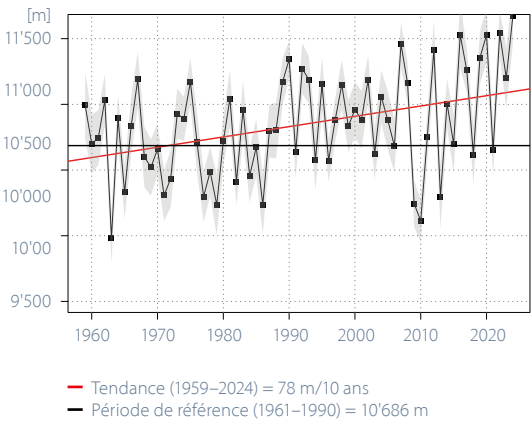
sont un peu plus faibles en hiver (décembre, janvier, février) et en automne (septembre, octobre, novembre). En hiver, l'augmentation est néanmoins significative. Seul l'automne ne présente pas de tendance claire, les valeurs annuelles fluctuent autour de la médiane de la période de référence.

Le Tableau 5.4 montre les extrêmes absolus des séries saisonnières depuis 1959 et montre que l'année 2024 a marqué le record absolu pour l'hiver.

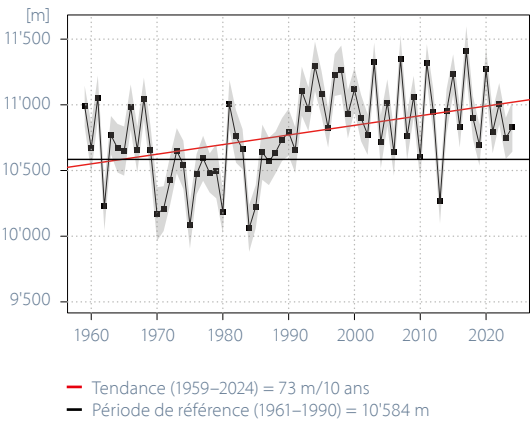
	Hiver (DÉC, JAN, FÉV)	Printemps (MARS, AVR, MAI)	Été (JUN, JUIL, AOÛT)	Automne (SEP, OCT, NOV)
minimum m (année)	9982 m (1963)	10'060 m (1984)	11'178 m (1977)	10'599 m (1974)
maximum m (année)	11'672 m (2024)	11'410 m (2017)	12'413 m (2003)	12'328 m (1970)

Tableau 5.4
Minima et maxima saisonniers de la hauteur de la tropopause.

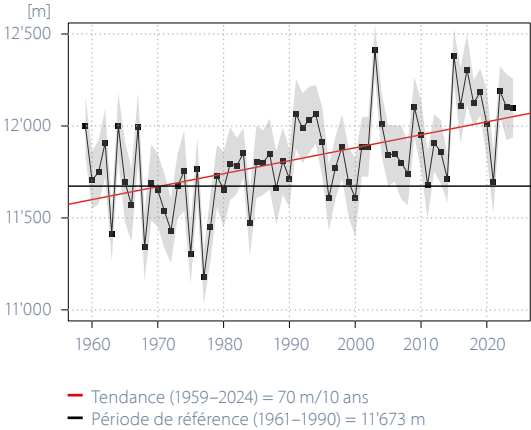
Hiver



Printemps



Été



Automne

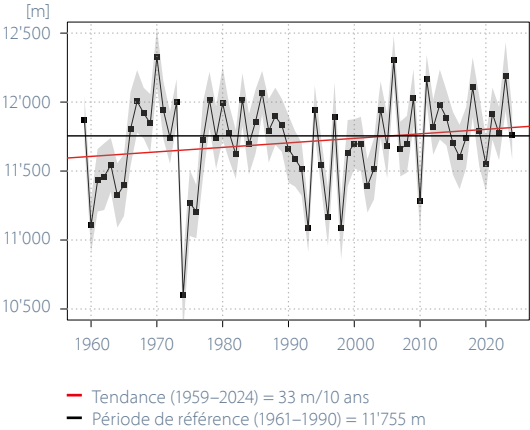


Figure 5.16
Valeur médianes saisonnières de l'altitude de la tropopause sur la période de mesure 1959–2024
La ligne noire horizontale indique la médiane des altitudes saisonnières sur la période de référence 1961–1990, la ligne rouge représente la tendance linéaire des valeurs sur toute la série de données. La zone grise autour des valeurs médianes correspond à l'incertitude des mesures.

Tendance de la température à plusieurs niveaux standards

L'augmentation de la concentration de gaz à effet de serre CO_2 dans la troposphère, le refroidissement de la stratosphère et la diminution de la concentration d'ozone dans la stratosphère sont étroitement liés [28]. Les réactions chimiques dans l'atmosphère ont également une grande influence sur le climat. Les chlorofluorocarbures (CFC), le rayonnement ultraviolet, l'ozone dans la basse stratosphère et les gaz à effet de serre dans la troposphère jouent un rôle clé dans l'équilibre thermique à différents niveaux atmosphériques.

La Figure 5.17 montre les tendances des anomalies de température par rapport à la médiane de la période climatologique de référence 1961–1990, en correspondance de huit niveaux atmosphériques (quatre dans la troposphère et quatre dans la basse stratosphère). L'augmentation ininterrompue de la concentration des gaz à effet de serre dans la troposphère et en partie aussi dans la stratosphère [29] à partir des années 1980, domine la tendance générale provoquant une augmentation de la température d'environ $0,45^\circ\text{C}$ par décennie dans la basse troposphère avec un effet qui se réduit progressivement en approchant la tropopause (200 hPa). La tendance de la température s'inverse au-dessus de la tropopause, ce qui se traduit en une tendance générale de plus en plus négative et qui atteint $-0,47^\circ\text{C}$ par décennie à 20 hPa.

Les séries temporelles des anomalies de température dans la troposphère et la stratosphère peuvent être divisées en deux tronçons, avec des tendances d'intensité différente. Dans la troposphère, les anomalies de température ne montrent aucune tendance significative entre 1959 et 1990. En revanche, entre 1980 et 2024, l'évolution de la température reflète la forte augmentation des concentrations de gaz à effet de serre qui s'est produite au cours

des quarante dernières années, et peut-être d'autres effets amplificateurs tels que la diminution des concentrations d'aérosols, la réduction de la nébulosité, etc.

Dans la stratosphère, deux tendances peuvent aussi être identifiées [30] : une, négative à tous les niveaux entre 1959 et 1990, et l'autre, globalement neutre à partir d'environ 1990 et visible spécialement aux niveaux de pression plus élevés. La tendance négative pendant la période 1959–1990 est principalement due à la dégradation de la couche d'ozone qui conduit à un refroidissement de la stratosphère.

La tendance neutre à partir d'environ 1990, s'explique par la forte diminution de la production des CFCs et à la reprise du réchauffement de l'atmosphère par réchauffement de la couche d'ozone dû au rayonnement ultraviolet.

La Figure 5.17 montre que pour les niveaux à 200 et 100 hPa, juste au-dessus de la tropopause, la forte augmentation de la concentration des gaz à effet de serre dans la troposphère, contrebalance la reconstitution de la couche d'ozone et impose un refroidissement général tout au long de la série 1959–2024. Les anomalies de température à tous les niveaux pendant l'année 2024 s'alignent le long des tendances linéaires calculées sur l'ensemble de la série temporelle.

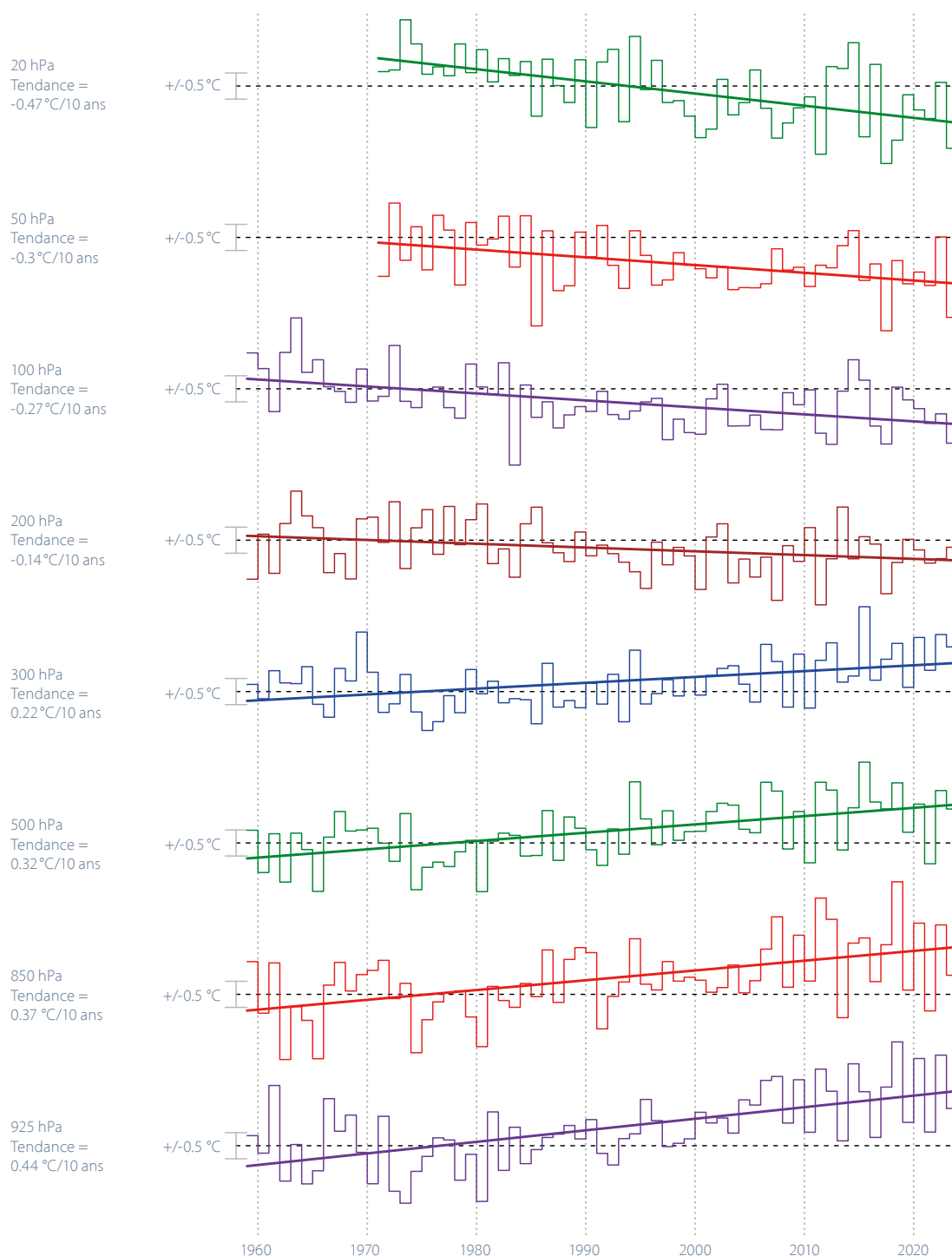


Figure 5.17

Tendances des anomalies de température mesurée par radiosondage à différents niveaux atmosphériques au-dessus de la Suisse pendant la période 1959-2024. Les anomalies sont calculées par rapport à la médiane de la période climatologique de référence 1961-1990 sur quatre niveaux troposphériques et quatre niveaux stratosphériques.

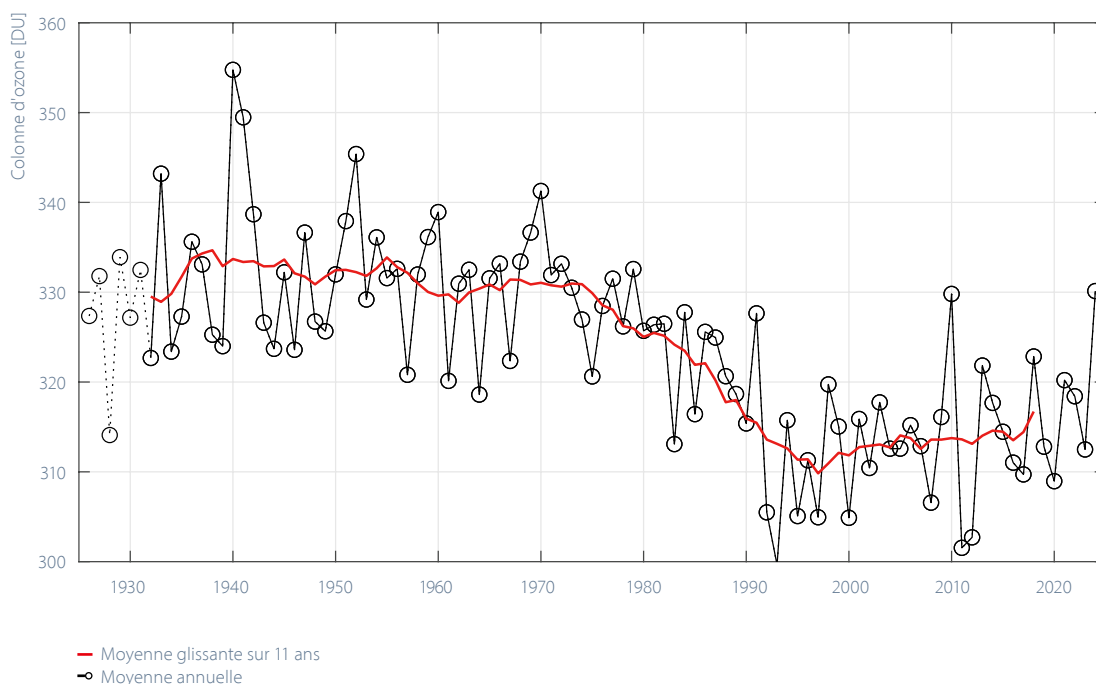
5.1.3 Composition de l'atmosphère

Série de mesures de l'ozone d'Arosa et Davos

Avec la série de mesures d'Arosa/Davos, la Suisse dispose de la plus longue série au monde de mesures de la colonne d'ozone dans l'atmosphère. Du début des mesures en 1926 à 1970, cette série de mesures fournit une moyenne à long terme d'environ 331,4 DU. Entre 1975 et 1995, les mesures indiquent une baisse significative de l'ozone total qui a diminué de plus de 15 DU. Le recul continu de l'ozone total au-dessus d'Arosa/Davos a débuté dans les années 1970. C'est à cette époque que l'on a relevé une forte augmentation des émissions de substances ayant pour effet de détruire la couche d'ozone. Ces dernières années, on observe une stabilisation de l'ozone total avec une valeur moyenne entre 1995 et aujourd'hui se situant aux alentours de 310–315 DU.

Les années 2010, 2013, 2018 et 2021 présentent des moyennes supérieures à 320 DU (resp. 330, 322, 323 et 320 DU) alors que celles des années 2011 et 2012 sont proches de 300 DU (resp. 302 et 303 DU). Ceci démontre la variabilité de l'ozone total selon les années. L'année 2024 présente une valeur moyenne de 330 DU, ce qui est particulièrement haut pour la période actuelle et comparable au niveau d'ozone entre 1926 et 1970 (et à la moyenne sur l'année 2010). De manière générale, bien que cette tendance soit actuellement non significative, elle va dans le sens d'une lente reconstitution de la colonne d'ozone en dessus d'Arosa/Davos.

Figure 5.18
Moyennes annuelles de la colonne d'ozone à Arosa/Davos au cours de la période 1926–2024.
Les mesures à partir de 1932 sont réalisées dans le cadre d'un programme régulier. Les observations à base plus irrégulière entre 1926 et 1931 sont marquées par une ligne pointillée. La ligne rouge représente la moyenne glissante sur un cycle solaire complet. 100 unités Dobson (DU) = 1 mm d'ozone pur à 1013 hPa et 0 °C.



Mesures de l'ozone à Payerne

Depuis 1968, l'ozone est mesuré par ballon-sonde à la station aérologique de MétéoSuisse à Payerne. Les mesures antérieures (1966–1968) proviennent de l'ETH Zürich. Cette série ininterrompue de mesures permet de déterminer l'évolution temporelle de la quantité d'ozone dans les différentes couches de l'atmosphère. Sur la figure suivante, trois niveaux d'altitudes (3, 22 et 27 km) sont illustrés à titre d'exemple.

Comme le soulignent les trois droites horizontales, depuis le début des années 2000 la colonne d'ozone total n'a plus changé de manière significative. Pour les années avant 2000, une diminution de l'ozone était observée dans la stratosphère (illustrée par les niveaux 22 et 27 km), alors qu'une augmentation de l'ozone était observée dans la troposphère (illustrée ici par le niveau 3 km).

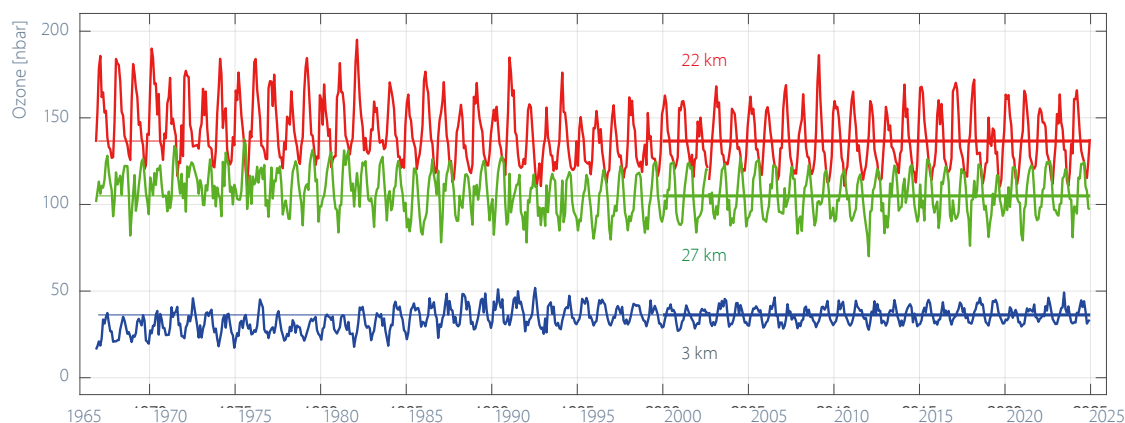


Figure 5.19

Concentration mensuelle d'ozone à trois altitudes durant la période 1967–2024. Bleu : 3 km ; rouge : 22 km ; vert : 27 km. La concentration d'ozone est donnée en pression partielle exprimée en nanobars (nbar).

Intensités des pollens

L'intensité de la saison des pollens varie d'une année à l'autre et peut être très forte ou très faible. Cela a une incidence sur la gravité des symptômes du rhume des foins chez les personnes allergiques au pollen.

Pour le bouleau, l'intensité de la saison pollinique dépend d'une part de la météo de l'année précédente, étant donné que les chatons en fleurs se forment déjà dès l'été de l'année précédente. Un temps chaud favorise la formation d'un plus grand nombre de chatons. D'autre part, l'intensité dépend également du temps qu'il fait pendant la floraison et de la physiologie de la plante, car les bouleaux ont tendance à fleurir tous les deux ans. Pour le pollen de graminées, l'intensité de la saison est principalement déterminée par les conditions météorologiques pendant la période de floraison des graminées.

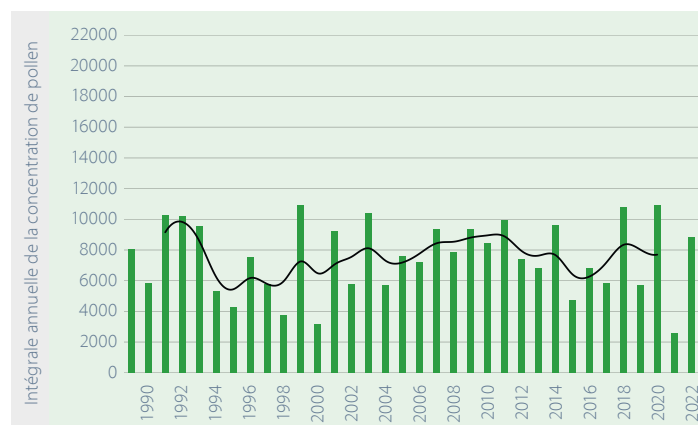
i

Le passage de la mesure manuelle à la mesure automatique du pollen le 1^{er} janvier 2023 a entraîné des différences dans les résultats des mesures de la concentration journalière de pollen. C'est pourquoi, il n'est actuellement pas possible de comparer l'intensité des concentrations de pollen actuelles avec celles des années précédentes. Pour cette raison, les graphiques sur l'intensité du pollen ne sont temporairement plus mis à jour jusqu'à ce que les séries de données soient homogénéisées lors du passage aux mesures automatiques.

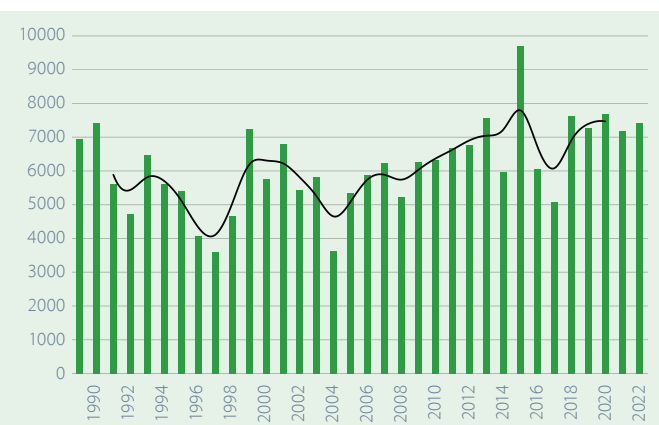
Figure 5.20

Intensité de la dispersion des pollens de bouleau (à gauche) et de graminées (à droite) dans les régions au Nord des Alpes entre 1989–2022 et au Tessin entre 1991–2022. L'indice pollinique saisonnier est la somme des concentrations quotidiennes de pollen. La courbe noire indique la moyenne pondérée sur 5 ans. Ce graphique ne sera pas mis à jour jusqu'à l'homogénéisation des données depuis le passage aux mesures automatiques en 2023.

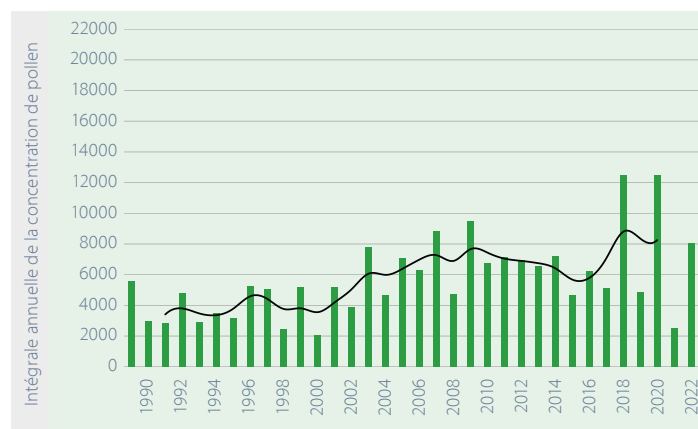
Bouleau Suisse centrale et Suisse orientale



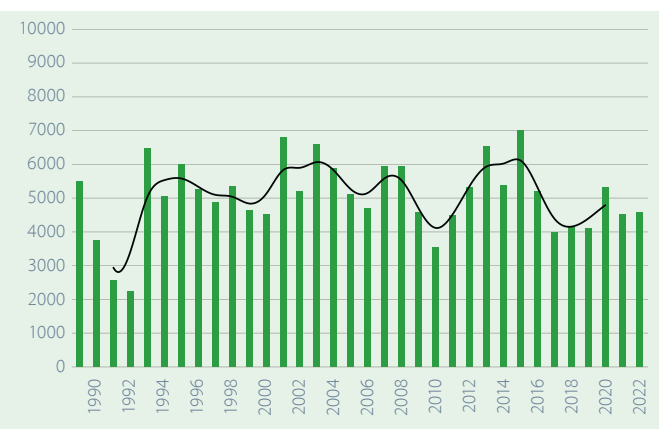
Graminées Suisse centrale et Suisse orientale



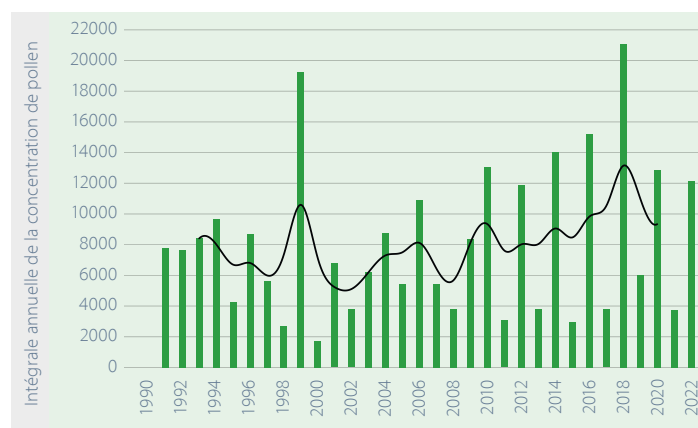
Bouleau Suisse romande



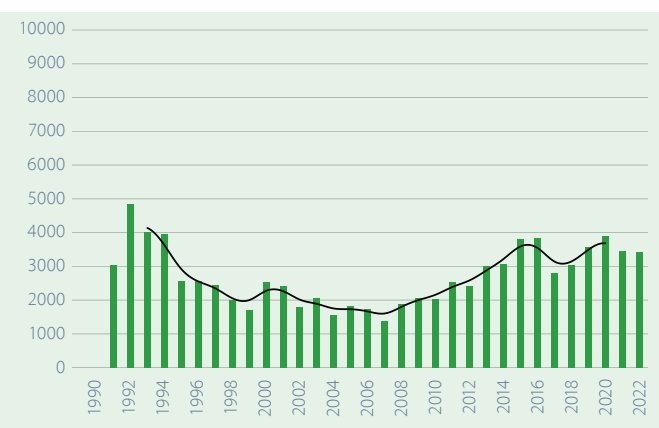
Graminées Suisse romande



Bouleau Tessin



Graminées Tessin



5.2 Terres émergées

Sommes de neige fraîche

Les températures douces au cours de l'hiver ont entraîné un hiver peu enneigé dans les régions de basse et moyenne altitude. A Einsiedeln, en particulier, les cumuls de neige fraîche sont restés nettement inférieurs à la moyenne pluriannuelle calculée sur la période de référence 1961–1990. Au total, 126 cm de neige fraîche sont tombés à Einsiedeln pendant tout l'hiver. La valeur de référence pour ce site est de 341 cm. A Lucerne, 36 cm ont été enregistrés. Entre 1961 et 1990, la moyenne a été de 83 cm.

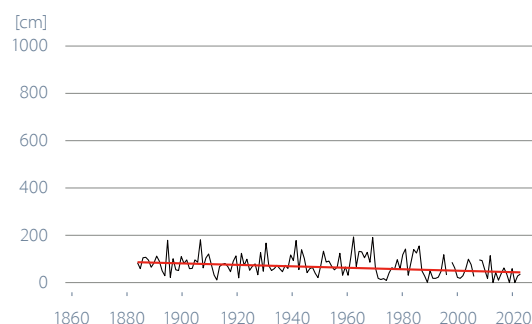
Les hauteurs de neige fraîche ont été supérieures à celles de la période de référence 1961–1990 dans les zones de haute altitude, par exemple à Arosa avec 670 cm. La valeur

de référence y est de 631 cm. La station de mesures de Segl-Maria a enregistré une quantité de neige nettement supérieure à la normale, avec 516 cm (référence : 312 cm).

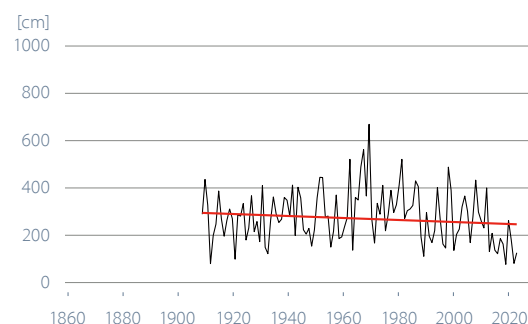
En ce qui concerne les sommes de neige fraîche au cours du semestre d'hiver, aucune tendance significative ne peut être constatée sur les sites de mesures de Segl-Maria, Arosa et Einsiedeln. Ces trois séries de mesures montrent de grandes variations d'une année à l'autre. A Lucerne, on observe une diminution significative de 3,0 cm par décennie. Il convient toutefois de souligner que les relevés d'enneigement journaliers et mensuels ne sont pas disponibles sous forme de données homogénéisées.

Figure 5.21
Sommes de neige fraîche en cm durant le semestre d'hiver depuis le début des mesures jusqu'en 2024 dans les stations de mesures de Lucerne, d'Einsiedeln, d'Arosa et de Segl-Maria.

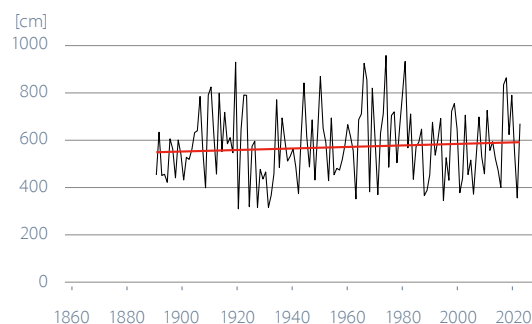
Lucerne 454 m



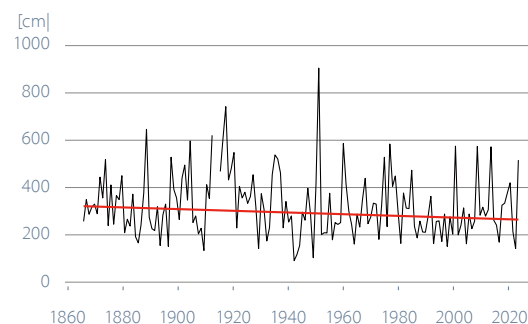
Einsiedeln 910 m



Arosa 1840 m



Segl-Maria 1798 m



Source pour Arosa : MétéoSuisse/Institut pour l'étude de la neige et des avalanches SLF, Davos.

Journées de neige fraîche

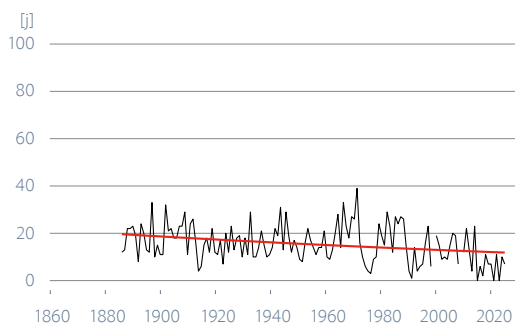
Le nombre de jours avec des chutes de neige fraîche pendant le semestre hivernal à Einsiedeln et Lucerne a également été inférieur à la moyenne pluriannuelle de la période 1961–1990, en accord avec les cumuls de neige fraîche. A Einsiedeln, il a neigé pendant 17 jours au total (référence : 46 jours), tandis qu'à Lucerne, on a enregistré 7 jours de neige fraîche (référence : 18 jours). En revanche, le nombre de jours de chutes de neige a été supérieur à la moyenne à Arosa avec 80 jours (référence : 71) et à Segl-Maria avec 51 jours (référence : 42 jours).

La série de mesures d'Arosa montre une tendance significative à l'augmentation du nombre de jours avec de la neige fraîche. Elle est de +1,5 jour par décennie. En revanche, Lucerne présente une tendance plus faible,

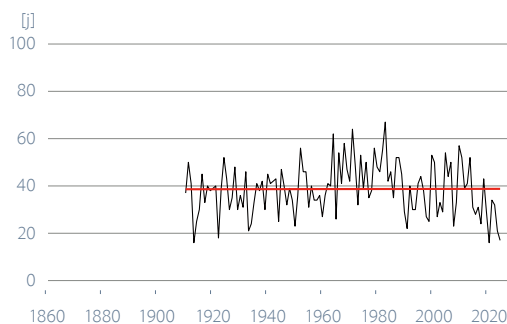
mais significative à la baisse du nombre de jours de neige fraîche, avec -0,6 jour par décennie. Aucune tendance significative n'est observée sur les deux sites de mesures d'Einsiedeln et de Segl-Maria. Ici aussi, il faut mentionner que les enregistrements d'enneigement journaliers et mensuels ne sont pas disponibles sous forme de données homogénéisées.

Les scénarios climatiques CH2018 prévoient une nette diminution de la couverture neigeuse d'ici 2060 [20]. Entre 500 et 1000 m d'altitude, il faut s'attendre à une réduction d'environ 50% de la quantité totale de neige. En dessous, la diminution relative attendue est encore plus importante.

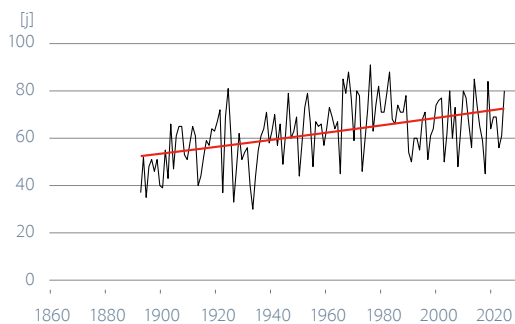
Lucerne 454 m



Einsiedeln 910 m



Arosa 1840 m



Segl-Maria 1798 m

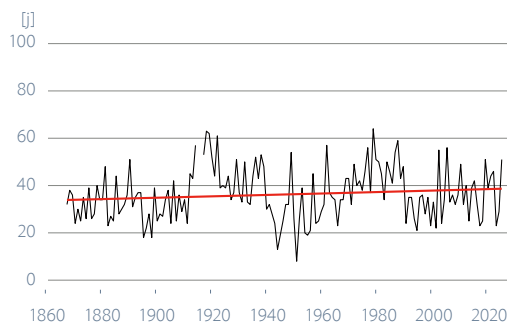


Figure 5.22

Nombre de jours de neige fraîche au semestre d'hiver depuis le début des mesures jusqu'en 2024 dans les stations de mesures de Lucerne, d'Einsiedeln, d'Arosa et de Segl-Maria.

Indice du printemps

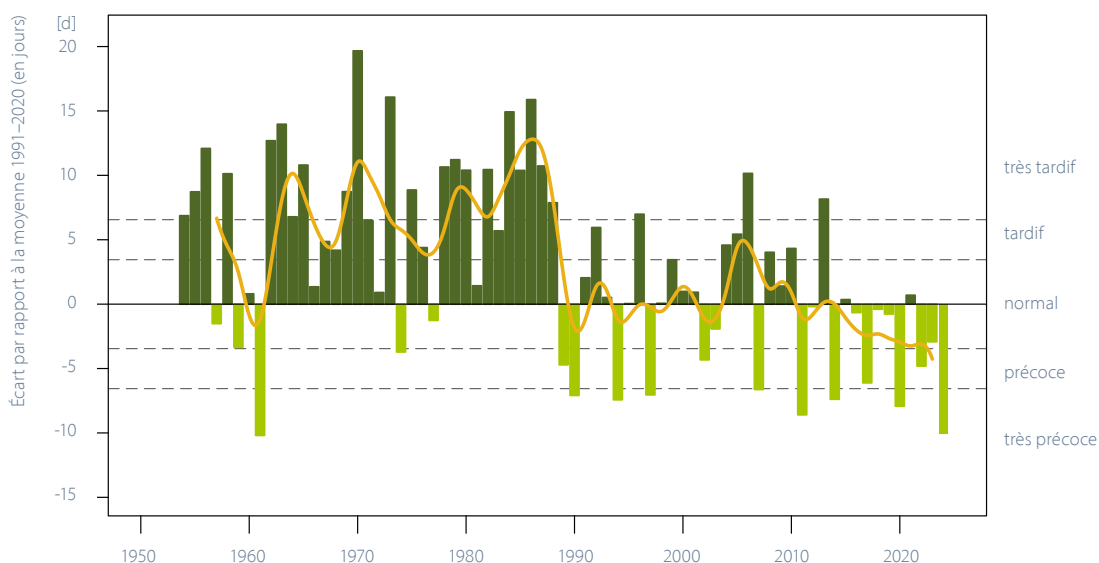
L'indice du printemps est une valeur permettant de caractériser le développement de la végétation au printemps en tant qu'écart en jours par rapport à la moyenne à long terme 1991–2020. L'indice calculé chaque année résume les phases phénologiques du printemps. Le développement de la végétation au printemps dépend principalement de l'évolution des températures hivernales et printanières [31].

En 2024, la végétation printanière ne s'est jamais développée aussi tôt que depuis le début des observations phénologiques. Elle a connu 10 jours d'avance sur la moyenne pluriannuelle 1991–2020. Les premiers noisetiers ont fleuri début janvier. Cependant, la floraison généralisée a commencé le 24 janvier, avec 3 semaines d'avance sur la moyenne. Le tussilage (ou pas-d'âne), l'anémone des bois, le pissenlit (ou dent-de-lion) et les arbres fruitiers n'ont jamais fleuri aussi tôt que cette année. Seule l'année 1961 avait connu une floraison aussi précoce des cerisiers et

des pommiers. La floraison des arbres fruitiers a commencé dans la dernière décade de mars, avec une avance de 14 à 15 jours sur la moyenne 1991–2020 et même de 22 à 25 jours sur la moyenne 1961–1990. Le déploiement des feuilles a été ralenti par les températures basses de la deuxième quinzaine d'avril. Le déploiement des feuilles du marronnier et du noisetier ainsi que l'apparition des aiguilles du mélèze ont eu 7 à 9 jours d'avance sur la moyenne, tandis que le hêtre n'a bourgeonné que 4 jours avant la date moyenne.

Parallèlement aux températures plus élevées mesurées en hiver, mais encore plus au printemps à partir du milieu des années 1980, l'indice du printemps indique lui aussi, dès la deuxième moitié des années 1980, une évolution comparable, par saccades, vers un développement plus précoce de la végétation au printemps.

Figure 5.23
État annuel du développement de la végétation en Suisse (indice du printemps) 1954–2024 présenté comme un écart par rapport à la moyenne à long terme de l'état de développement de la végétation. La courbe montre la moyenne pondérée sur 5 ans.



Floraison des cerisiers près de Liestal et apparition de la première feuille du marronnier à Genève

Depuis 1894, les dates de floraison d'un cerisier sont enregistrées près de Liestal, à Liestal-Weideli. On observe depuis 1990 environ une tendance à une floraison plus précoce dans cette série. La date du 20 mars 2024 a eu lieu 13 jours plus tôt que la moyenne de la période 1991–2020, en raison des températures supérieures à la moyenne en février et mars. Par rapport à l'ensemble de la période de mesures, la date de cette année s'est située 21 jours avant la date moyenne. Il s'agit de la 5^e date la plus précoce de toutes les années.

La série historique d'observations de la date de l'apparition de la première feuille du marronnier officiel à Genève, qui existe depuis 1808, revêt également une grande importance. C'est la plus longue série phénologique de Suisse. A partir de 1900 environ, on observe une nette tendance à l'apparition plus précoce de cette feuille. En 2024, l'apparition de la première feuille du marronnier a eu lieu le 3 mars. L'apparition de la feuille du marronnier dépend très fortement des températures. Cependant, d'autres facteurs comme l'âge de l'arbre ou le climat urbain peuvent également jouer un rôle. La raison de la manifestation plus tardive depuis plusieurs années n'est pas encore connue. L'arbre observé depuis 1930 est mort en été 2015 et depuis, les observations sont faites sur un nouvel arbre.

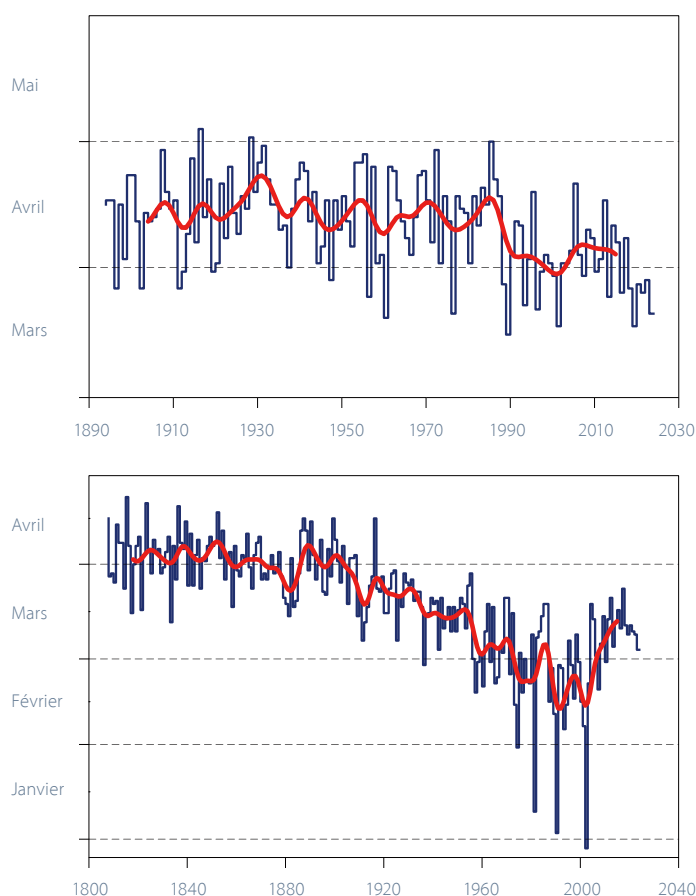


Figure 5.24
Floraison des cerisiers près de Liestal durant la période 1894–2024 (en haut) et apparition de la première feuille du marronnier à Genève 1802–2024 (en bas).



Source des données de la floraison des cerisiers de Liestal : Landwirtschaftliches Zentrum Ebenrain, Sissach et MétéoSuisse.



Source des données de l'apparition de la première feuille du marronnier à Genève : Grand Conseil de la République et canton de Genève.





5.3 Origine des données et méthodes

Indicateurs climatiques selon l'OMM

Les indicateurs climatiques selon l'OMM sont calculés selon les règles et avec le logiciel officiel de l'« Expert Team on Climate Change Detection and Indices » (ETCCDI) de l'OMM [11]. Les valeurs utilisées sont des séries homogénéisées à partir de 1959.

Température

En raison des différents régimes de température rencontrés sur un territoire exigu (températures plus basses en montagne, températures plus élevées en plaine), idéalement il vaut mieux ne pas définir l'évolution des températures en Suisse en températures absolues, mais sous la forme d'un écart par rapport à la valeur de référence à long terme (1961–1990). La température moyenne suisse décrit la moyenne des températures mesurées en Suisse sur l'ensemble des régions de plaine et pour différentes altitudes. Les données de différentes stations de mesures du réseau suisse de mesures climatiques (Swiss National Basic Climatological Network; Swiss NBCN [1]) sont combinées en fonction de leur représentativité.



[Plus d'informations](#)

Précipitations

En Suisse, le régime des précipitations au Nord et au Sud des Alpes est très différent avec des caractéristiques tout à fait spécifiques dans l'évolution à long terme des précipitations. Une courbe des précipitations pour toute la Suisse peut masquer ces différences régionales considérables. C'est pourquoi nous faisons une distinction entre l'évolution des précipitations au Nord et au Sud des Alpes. L'évolution des précipitations pour toute la Suisse n'est pas représentée. Les analyses sont basées sur 12 séries de mesures homogènes [32] du réseau suisse de mesures climatiques (Swiss National Basic Climatological Network; Swiss NBCN [1]).

Jours de fortes précipitations

La notion utilisée de « fortes précipitations » sur la base d'un seuil ≥ 20 mm ne doit pas être confondue avec celle des précipitations extrêmes rares. Chaque année, on enregistre plusieurs fois un volume de précipitations de 20 mm dans la plupart des régions de Suisse. Le phénomène est donc fréquent. On considère comme rare un événement attendu à peu près tous les 10 ans ou davantage. A Berne, c'est le cas à partir de 65 mm environ, à Sion, à partir de 50 mm, à Davos, à partir de 70 mm et à Lugano, à partir de 130 mm de précipitations journalières. Il est toutefois difficile, par essence, de dégager des tendances pour les événements extrêmes en raison même de leur rareté. Plus les événements sont rares, plus il est compliqué de dégager une tendance [33]. Des informations détaillées sur les rares fortes précipitations se trouvent sous :



[Plus d'informations](#)

Précipitations des journées très humides

Une journée est considérée comme très humide lorsque la somme de ses précipitations est supérieure à celle des 18 (5 %) journées les plus humides de l'année selon la moyenne à long terme. La période de référence va de 1961 à 1990. Les graphiques montrent la quantité annuelle totale de précipitations tombant les journées très humides.

Indice de sécheresse

Les indices SPI (standardized precipitation index, [34]) et SPEI (standardized precipitation evapotranspiration index, [35]) montrent les anomalies par rapport à la moyenne des précipitations et du bilan hydrique (différence entre les précipitations et l'évapotranspiration potentielle). Des valeurs positives signifient des conditions plus humides et des valeurs négatives des conditions plus sèches que la moyenne.

LE SPI est une mesure de l'anomalie de précipitations sur une période donnée (typiquement de 1 à 48 mois) et se calcule à partir des sommes mensuelles de précipitations. Les précipitations cumulées des derniers (1 à 48) mois sont comparées avec les sommes de précipitations relevées au même moment dans le passé. La distribution de

ces sommes de précipitations est transformée en une distribution normale standard autour de zéro. La valeur ainsi transformée d'une somme de précipitations donnée constitue la valeur SPI.

Le SPEI est calculé de manière analogue au SPI. La différence réside dans le fait que le calcul s'effectue non sur la base des sommes de précipitations sur une période déterminée, mais sur la base du bilan hydrique. Le bilan hydrique correspond aux précipitations moins l'évapotranspiration potentielle. Le SPEI est donc le bilan hydrique transformé en distribution normale standard.

Selon la définition de la distribution normale standard, les conditions avec un SPI/SPEI inférieur à -1 correspondent à une fréquence d'environ 15 %, celles avec une valeur inférieure à -2, à une fréquence d'environ 2 %. La sécheresse ou l'excédent hydrique peut dès lors être classé en différentes catégories en fonction des indices :

	SPEI	≤ -2,0	extrêmement sec
-2,0	< SPEI	≤ -1,5	très sec
-1,5	< SPEI	≤ -1,0	sec
-1,0	< SPEI	< 1,0	normal
1,0	≤ SPEI	< 1,5	humide
1,5	≤ SPEI	< 2,0	très humide
	SPEI	≥ 2,0	extrêmement humide

Limite du zéro degré en atmosphère libre

Dans des conditions atmosphériques normales, la température de l'air diminue avec une hauteur croissante par rapport à la surface de la Terre. Si la température au sol est positive, il existe en altitude une surface où la température est de 0 °C. Au-dessus de cette surface, la température est négative. La hauteur à laquelle se situe la frontière entre températures positives et négatives est qualifiée d'altitude de la limite du zéro degré. En cas d'inversion où la limite du zéro degré est franchie à deux, voire à trois reprises, le point d'intersection le plus élevé est généralement considéré comme altitude de la limite du zéro degré effective selon les directives de l'OMM. Afin d'obtenir des chiffres comparables concernant l'altitude de la limite du zéro degré, même lorsque les températures au sol sont négatives, une valeur théorique est déterminée dans de telles situations météorologiques.

Une altitude ou profondeur fictive de la limite du zéro degré située sous la surface de la Terre est calculée à partir de la température au sol indiquée dans le sondage, en supposant un gradient thermique vertical moyen de 0,5 °C par 100 mètres. De la sorte, on obtient des limites du zéro degré qui se situent sous la surface et, en cas de températures au sol de -2,5 °C ou inférieures, même au-dessous du niveau de la mer et sont donc négatives [36]. L'altitude de la limite du zéro degré figure dans le rapport de chaque radiosondage. Des moyennes mensuelles sont calculées à partir de ces valeurs et ultérieurement utilisées pour le calcul des tendances climatiques.

Altitude de la tropopause

L'altitude de la tropopause correspond au niveau le plus bas de l'atmosphère, qui présente un taux de refroidissement de 2 °C ou moins par kilomètre (0,2 °C par 100 m). En outre, la condition est que, dans une couche épaisse de 2 km au-dessus de ce niveau, le taux de refroidissement de 2 °C par km ne soit pas dépassé.

Développement de la végétation

L'observation des différentes phases phénologiques a débuté à différents moments. Les phases observées depuis 1951 sont comparées à la période de référence 1991–2020. Les phases observées depuis 1996 sont comparées à l'ensemble des séries de données disponibles de 1996 à l'année précédente de l'année en cours. Ces dernières comprennent en particulier les phases de début de floraison et les phases de coloration des feuilles de nombreux arbres. Le texte mentionne toujours la période de référence à laquelle il se réfère.

Saison pollinique et intensité des pollens

Le passage de la mesure manuelle à la mesure automatique du pollen à partir du 1^{er} janvier 2023 a entraîné des différences dans les résultats des mesures de la concentration journalière de pollen. C'est pourquoi il est actuellement possible seulement sous certaines conditions de comparer l'intensité de la saison pollinique actuelle avec celle des années précédentes. La saison pollinique actuelle (mesurée automatiquement) est comparée à la moyenne sur 30 ans 1991–2020 (mesurée manuellement).

Les graphiques de l'évolution à long terme de l'intégrale pollinique annuelle (pollen/m³ jour) du chapitre 5 ne seront plus établis tant que le passage aux mesures automatiques n'aura pas été homogénéisé dans les séries de données. L'intégrale pollinique annuelle (pollen/m³ jour) se calcule à partir des concentrations moyennes journalières de pollen par m³ d'air, additionnées pour toute l'année. Stations de mesure du pollen utilisées pour le graphique intensité du pollen :

Suisse centrale et orientale :

- Bâle
- Buchs/SG
- Lucerne
- Münsterlingen
- Zurich

Suisse occidentale :

- Berne
- Genève
- Neuchâtel

Tessin :

- Locarno
- Lugano

Somme de neige fraîche et journées de neige fraîche

Les mesures journalières et mensuelles de neige ne sont pas disponibles sous la forme de données homogènes. L'homogénéisation des données sur la neige n'a pas encore pu être effectuée. L'interprétation des séries de mesures doit donc se faire avec toute la prudence requise.

Indice du printemps

L'état du développement de la végétation est enregistré au moyen de phases phénologiques. La phénologie se penche sur des phénomènes d'évolution naturels se produisant régulièrement au cours de l'année. Des observations phénologiques sont effectuées dans environ 160 stations réparties sur tout le territoire suisse. Pour établir l'indice du printemps, près de 80 stations disposant des plus longues séries de mesures sont utilisées.

L'indice du printemps utilisé ici est déterminé sur la base des dix phases phénologiques suivantes : floraison du noisetier, floraison du pas-d'âne, floraison de l'anémone des bois, déploiement des feuilles du marronnier d'Inde, floraison du cerisier, déploiement des feuilles du noisetier, déploiement des aiguilles du mélèze, floraison de la cardamine des prés, déploiement des feuilles du hêtre et floraison du pissenlit.

L'analyse en composantes principales permet de structurer ces nombreuses données d'observation, de les simplifier et de les rassembler, à des fins d'illustration, en un indice printanier pour l'ensemble de la Suisse [31].

Floraison des cerisiers près de Liestal et apparition de la première feuille du marronnier à Genève

Source des données de la floraison des cerisiers de Liestal :

- Landwirtschaftliches Zentrum Ebenrain, Sissach
- MétéoSuisse

Source des données de l'apparition de la première feuille du marronnier à Genève :

- Grand Conseil de la République et canton de Genève





Références

- [1] Begert M., Seiz G., Foppa N., Schlegel T., Appenzeller C., Müller G., 2007: Die Überführung der klimatologischen Referenzstationen der Schweiz in das Swiss National Climatological Network (Swiss NBCN). Arbeitsbericht MeteoSchweiz, 215.
- [2] IPCC, 2013: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker T. F., Qin D., Plattner G.-K., Tignor M., Allen S. K., Boschung J., Nauels A., Xia Y., Bex V. and Midgley P. M. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- [3] Collaud Coen M., Andrews E., Alastuey A., Arsov T. P., Backman J., Brem B. T., Bukowiecki N., Couret C., Eleftheriadis K., Flentje H., Fiebig M., Gysel-Beer M., Hand J. L., Hoffer A., Hooda R., Hueglin C., Joubert W., Keywood M., Kim J. E., Kim S.-W., Labuschagne C., Lin N.-H., Lin Y., Lund Myhre C., Luoma K., Lyamani H., Marinoni A., Mayol-Bracero O. L., Mihalopoulos N., Pandolfi M., Prats N., Prenni A. J., Putaud J.-P., Ries L., Reisen F., Sellegri K., Sharma S., Sheridan P., Sherman J. P., Sun J., Titos G., Torres E., Tuch T., Weller R., Wiedensohler A., Zieger P. and Laj P.: Multidecadal trend analysis of aerosol radiative properties at a global scale, *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, <https://doi.org/10.5194/acp-2019-1174>, in review, 2020.
- [4] Collaud Coen M., Weingartner E., Furger M., Nyeki S., Prévôt A. S. H., Steinbacher M. and Baltensperger U., 2011: Aerosol climatology and planetary boundary influence at the Jungfraujoch analyzed by synoptic weather types. *Atmos. Chem. Phys.*, 11, 5931-5944, doi: 10.5194/acp-11-5931-2011.
- [5] WMO 2025: State of the Global Climate 2024, WMO-No. 1368, 42 p., <https://library.wmo.int/records/item/69455-state-of-the-global-climate-2024>.
- [6] Copernicus C3S, ECMWF: Global Climate Highlights 2024: <https://climate.copernicus.eu/global-climate-highlights-2024>.
- [7] NOAA National Centers for Environmental Information, State of the Climate: Global Climate Report for Annual 2024, published online January 2025 from <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/monthly-report/global/202413>.
- [8] Morice C.P., Kennedy J.J., Rayner N.A., Winn J. P., Hogan E., Killick R. E., Dunn R. J. H., Osborn T. J., Jones P. D. and Simpson I. R., 2020, An updated assessment of near-surface temperature change from 1850: the HadCRUT5 dataset. *Journal of Geophysical Research (Atmospheres)* doi: 10.1029/2019JD032361 (supporting information).
- [9] MEI-Daten unter: <https://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei/>.
- [10] WMO, 2003: GCOS-82. Second Report on the Adequacy of the Global Observing Systems for Climate in Support of the UNFCCC. WMO TD 1143.
- [11] Zwiers F.W., Zhang X., Guidelines on Analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation. WMO/TD-No. 1500; WCDMP-No. 72: https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=138.
- [12] World Meteorological Organization (WMO), WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals. WMO- No. 1203, <https://library.wmo.int/records/item/48826-guidelines-on-analysis-of-extremes-in-a-changing-climate-in-support-of-informed-decisions-for-adaptation>.
- [13] Swiss GCOS Office, Seiz G, Foppa N, National Climate Observing System, 2011: <https://www.meteoschweiz.admin.ch/service-und-publikationen/publikationen/wissenschaftliche-publikationen/2011/national-climate-observing-system-of-switzerland.html>.
- [14] WMO, Essential Climate Variables: <https://gcos.wmo.int/site/global-climate-observing-system-gcos/essential-climate-variables>.

- [15] Sommertag, Deutscher Wetterdienst DWD: <https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/begriffe/S/Sommertag.html>.
- [16] Scherrer S.C., Appenzeller C., Laternser M., 2004: Trends in Swiss Alpine snow days: The role of local- and large-scale climate variability. *Geophys. Res. Lett.*, 31, L13215, doi: 1029/2004GL020255.
- [17] Laternser M., Schneebeli M., 2003: Long-term snow climate trends of the Swiss Alps (1931–99). *International Journal of Climatology* 23: 733–750.
- [18] Scherrer S. C., Wüthrich C., Croci-Maspoli M., Weingartner R., Appenzeller C., 2013: Snow variability in the Swiss Alps 1864–2009, *International Journal of Climatology* 33: 3162–3173. <https://doi.org/10.1002/joc.3653>.
- [19] Wüthrich C., 2008: Lange Schneemessreihen der Schweiz, Aufarbeitung der längsten Schneemessreihen und Trendanalyse ausgewählter Schneeparameter, Geographisches Institut der Universität Bern, Diplomarbeit.
- [20] Scherrer S. C., de Valk C., Begert M., Gubler S., Kotlarski S., Croci-Maspoli M., 2024: Estimating trends and the current climate mean in a changing climate, *Climate Services*, 33, 100428, <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2023.100428>.
- [21] NCCS (Hrsg.), 2018: CH2018 – Klimaszenarien für die Schweiz. National Centre for Climate Services, Zürich. 24 S. ISBN-Nummer 978-3-9525031-0-2, <http://www.klimaszenarien.ch>.
- [22] Bauer V. M. and Scherrer S. C., 2024: The observed evolution of sub-daily to multi-day heavy precipitation in Switzerland, *Atmospheric Science Letters*, <https://doi.org/10.1002/asl.1240>.
- [23] MeteoSchweiz: 2018, Hitze und Trockenheit im Sommerhalbjahr 2018 – eine klimatologische Übersicht. Fachbericht MeteoSchweiz, 272, 38 pp.
- [24] Scherrer S. C., Hirschi M., Spirig C., Maurer F., Kotlarski S., 2022: Trends and drivers of recent summer drying in Switzerland. *Environ. Res. Commun.* 4, 025004, <https://doi.org/10.1088/2515-7620/ac4fb9>.
- [25] Calanca, P., 2007: Climate change and drought occurrence in the Alpine region: How severe are becoming the extremes? *Global and Planetary Change*, 57, 1–2, 151–160. doi: 10.1016/j.gloplacha.2006.11.001.
- [26] Pfister C., Rutishauser M., 2000: Dürresommer im Schweizer Mittelland seit 1525. Workshopbericht «Trockenheit in der Schweiz», Organe Consultatif sur les Changements Climatiques (Occc), Bern. 17 S. und 2 Anhänge, http://occc.ch/reports_d.html.
- [27] WMO, 1957: Definition of the tropopause. *WMO Bull.*, 6, 136.
- [28] Isaksen I., Hesstvedt E. and Stordal F. Influence of stratospheric cooling from CO₂ on the ozone layer. *Nature* 283, 189–191 (1980) doi:10.1038/283189a0.
- [29] Humpage N., Boesch H., Palmer P. I., Vick A., Parr-Burman P., Wells M., Pearson D., Strachan J. and Bezawada, N.: GreenHouse gas Observations of the Stratosphere and Troposphere (GHOST): an airborne shortwave-infrared spectrometer for remote sensing of greenhouse gases, *Atmos. Meas. Tech.*, 11, 5199–5222, <https://doi.org/10.5194/amt-11-5199-2018>, 2018.
- [30] Philipona R., Mears C., Fujiwara M., Jeannet P., Thorne P., Bodeker G., Haimberger L., Hervo M., Popp C., Romanens G., Steinbrecht W., Stübi R., Van Malderen R., 2018: Radiosondes show that after decades of cooling the lower stratosphere is now warming. *J Geophys Res* 123(22): 12–509.

- [31] Studer S., Appenzeller C. and Defila C., 2005: Inter-annual variability and decadal trends in Alpine spring phenology: A multivariate analysis approach. *Climatic Change* 73: 395–414.
- [32] Begert M., Seiz G., Schlegel T., Musa M., Baudraz G., Moesch M., 2003: Homogenisierung von Klimamessreihen der Schweiz und Bestimmung der Normwerte 1961–1990. Schlussbericht des Projekts NORM90. MeteoSchweiz, Zürich.
- [33] Frei C. and Schär C., 2001: Detection probability of trends in rare events: Theory and application to heavy precipitations in the Alpine region. *Journal of climate* 14: 1568–1584.
- [34] McKee T. B., Doesken N. J., Kleist J., 1993: The relationship of drought frequency and duration to time scales, Proc. 8th Conf. on Applied Climatology, Jan. 17–22, American Meteorological Society, Boston, pp. 179–184.
- [35] Vicente-Serrano S., Bugueria S., Lopez-Moreno J., 2010: A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index, *J of Climate*, 23, 1696–1718, doi: 10.1175/2009JCLI2909.1.
- [36] Güller A., 1979: Die Nullgradgrenze in der Schweiz 1951–1978, nach den Radiosondierungen von Payerne. *Klimatologie in der Schweiz*, Heft 21/0. Beiheft zu den Annalen der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt (Jahrgang 1978).





printed in
switzerland

 PRINTED MATTER
CO₂ NEUTRAL
by Swiss Climate
SC2025090901

Adresses

Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie
MeteoSchiweiz
Operation Center 1
Postfach
CH-8058 Zürich-Flughafen

Ufficio federale di meteorologia e climatologia
MeteoSvizzera
Via ai Monti 146
CH-6605 Locarno-Monti

Office fédéral de météorologie et de climatologie
MétéoSuisse
7bis, av. de la Paix
CH-1211 Genève 2

Office fédéral de météorologie et de climatologie
MétéoSuisse
Chemin de l'Aérolologie
CH-1530 Payerne

Site web

 meteosuisse.ch

Contact

 serviceclient@meteosuisse.ch