

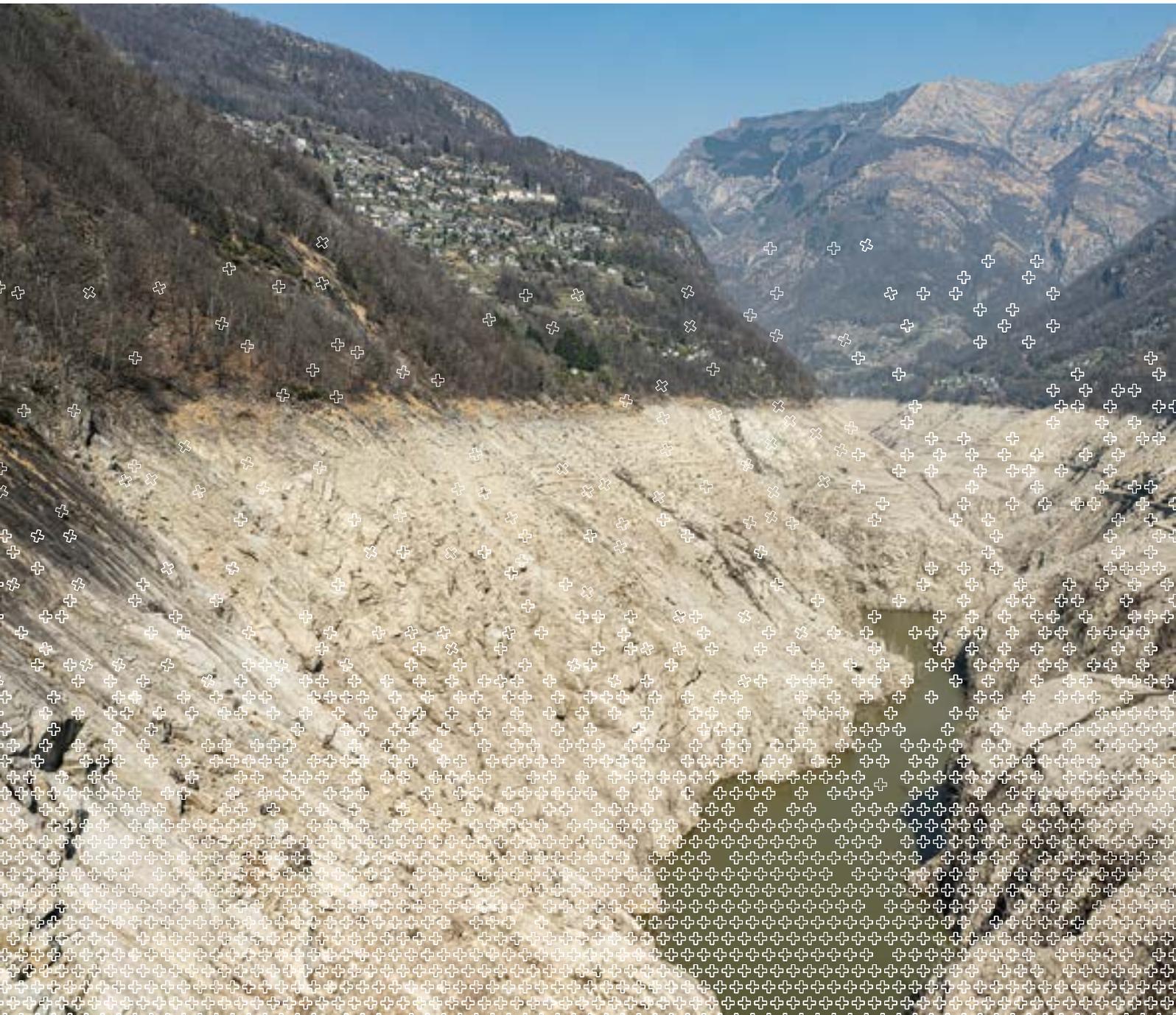


Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

MétéoSuisse

Département fédéral de l'intérieur DFI
Office fédéral de météorologie et de climatologie MétéoSuisse

Rapport climatologique 2022



Rapport climatologique 2022

Editeur

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

serviceclient@meteosuisse.ch
www.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, Simon Scherrer, Christoph Spirig,
René Stübi, Laurent Vuilleumier, Elias Zubler

Images

Photo de couverture: Lac de barrage vidé dans
le Val Verzasca, Tessin; contenu avec des images
sur la production d'énergie à partir du vent, du
soleil et de l'eau.

Distribution

OFCL, Vente des publications fédérales, CH-3303 Berne
www.publicationsfederales.admin.ch
Numéro d'article 313.011.f
ISSN: 2296-1496

Merci de bien vouloir citer le présent rapport comme suit:

MétéoSuisse, 2023: Rapport climatologique 2022.
Office fédéral de météorologie et de climatologie.
MétéoSuisse, Zurich. 104 p.

Table des matières

	Résumé	4
	Summary	7
1	Evolution du climat au cours de l'année 2022	8
2	Diagrammes représentant l'évolution annuelle	18
	Température, durée d'ensoleillement et précipitations	18
	Evolution 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 et Davos	26
	Mesures de l'ozone à Payerne	28
	Mesures des aérosols au Jungfraujoch	30
	Poussières du Sahara	31
	Développement de la végétation	32
	Saison pollinique	36
3	Particularités de l'année 2022	42
3.1	Année 2022 record	42
3.2	Eté très chaud	44
3.3	Records d'ensoleillement	46
4	Climat global et événements météorologiques	50
4.1	Une année chaude en Europe et en Asie	50
4.2	El Niño et La Niña	52
4.3	Evénements particuliers	53
5	Surveillance du climat	58
5.1	Atmosphère	60
5.1.1	Mesures au sol	60
	Température	60
	Jours de gel	64
	Journées d'été	65
	Précipitations	66
	Jours de fortes précipitations	70
	Précipitations des journées très humides	71
	Périodes de sécheresse	72
	Indice de sécheresse	73
5.1.2	Atmosphère libre	76
	Limite du zéro degré	76
	Altitude de la tropopause	78
	Tendance de la température à plusieurs niveaux standards	80
5.1.3	Composition de l'atmosphère	82
	Série de mesures de l'ozone d'Arosa et Davos	82
	Mesures de l'ozone à Payerne	83
	Intensités des pollens	86
5.2	Terres émergées	88
	Sommes de neige fraîche	88
	Journées de neige fraîche	89
	Indice du printemps	90
	Floraison des cerisiers près de Liestal et apparition de la première feuille du marronnier à Genève	91
5.3	Origine des données et méthodes	94
	Références	98

Résumé

4

En 2022, la température annuelle de la Suisse a atteint 7,4 °C (1,6 °C au-dessus de la norme 1991–2020), de loin la valeur la plus élevée depuis le début des mesures en 1864. L'année 2022 s'inscrit ainsi dans la nette tendance au réchauffement des dernières décennies.

Le Sud des Alpes a localement enregistré son deuxième hiver le plus doux. Le Sud des Alpes a régionalement connu l'hiver le plus ensoleillé de ces 60 dernières années. Les trois mois d'hiver ont donc été marqués par de très faibles précipitations.

L'hiver doux a été suivi par le quatrième printemps le plus chaud depuis le début des mesures en 1864. Le mois de mai a été particulièrement chaud. Les quatre sites de Bâle, Berne, Genève et Zurich, avec leurs longues séries de mesures, ont enregistré le quatrième printemps le plus ensoleillé depuis le début des mesures. Les précipitations sont restées nettement inférieures à la norme 1991–2020 sur une grande partie du territoire. Au Nord des Alpes, il s'agit localement du printemps le moins pluvieux depuis plus de 70 ans. Les précipitations ont été faibles, surtout en mars et en mai.

La chaleur s'est poursuivie avec le deuxième été le plus chaud en moyenne suisse depuis le début des mesures en 1864. Seul l'historique été caniculaire de 2003 avait été encore plus chaud. En moyenne nationale, il a été enregistré le deuxième mois de juin le plus chaud, le quatrième mois de juillet le plus chaud et enfin le troisième mois d'août le plus chaud depuis le début des mesures. Chaque mois de l'été a connu une période caniculaire avec des valeurs maximales dépassant 36 °C. La persistance d'un temps très ensoleillé a permis à plusieurs sites de connaître le semestre d'été le plus ensoleillé depuis le début des mesures. Le manque de pluie persistant pendant des mois, associé à une forte évaporation, a entraîné une sécheresse marquée dans de grandes parties du pays au cours de l'été.

La chaleur supérieure à la moyenne s'est également maintenue en automne. La chaleur record en octobre et des températures largement supérieures à la moyenne en novembre ont conduit au troisième automne le plus chaud depuis le début des mesures en 1864. Au Nord des Alpes, l'automne a connu des précipitations globalement supérieures à la moyenne. Le mois de septembre a été particulièrement pluvieux. En revanche, le Sud des Alpes et les régions voisines ont reçu des précipitations inférieures à la moyenne.

Au niveau mondial, l'année 2022 a été la sixième plus chaude depuis le début des mesures en 1850. Elle a dépassé de 0,8 °C la norme 1961–1990 (+0,26 °C par rapport à la norme 1991–2020). Tout au long de l'année, des conditions La Niña ont régné dans le Pacifique tropical. La chaleur a dominé sur tous les continents, mais plus particulièrement en Sibérie, en Europe, en Asie centrale et en Chine. Les huit dernières années depuis 2015 ont toutes été les plus chaudes depuis le début des mesures.

Dans l'évolution à long terme des températures en Suisse entre 1864 et 2022, l'année 2022 est à nouveau clairement marquée par le changement climatique à long terme en Suisse. L'augmentation à long terme des températures en Suisse est claire et concerne toutes les saisons. La moyenne des dix dernières années est la plus élevée depuis le début des relevés systématiques. Elle est supérieure de 2,5 °C à la période de référence préindustrielle 1871–1900 (réchauffement global: 1,1 °C). En accord avec 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. De même, une augmentation de la limite du zéro degré a été observée. Le réchauffement s'exprime également par un développement plus précoce de la végétation.

L'évolution des précipitations sur la période 1864–2022 est dominée par des variations décennales et interannuelles, tant sur le Plateau qu'au Sud des Alpes. En hiver, on constate une augmentation à long terme des précipitations. Les autres saisons ne montrent aucun changement à long terme dans les sommes pluviométriques. Toutefois, des études montrent que la fréquence et l'intensité des fortes précipitations quotidiennes ont augmenté depuis 1901 dans la grande majorité des 185 stations de mesures. Les étés suisses sont devenus nettement plus secs au cours des 40 dernières années. Outre une légère diminution des précipitations, l'augmentation de l'évaporation a contribué à ces conditions plus sèches.

En ce qui concerne la neige fraîche et la hauteur de neige, un net recul dans l'espace alpin a été constaté au cours des 50 à 60 dernières années.

Ces dernières années, la situation de l'ozone dans la haute atmosphère au-dessus de la Suisse est restée stable. Cette stabilité fait suite à une diminution de l'ozone totale de quelque 6 % qui s'est produite entre 1970 et 1995.





Summary

Switzerland's annual mean temperature in 2022 reached 7,4°C (1.6°C above the norm 1991–2020), by far the highest value since measurements began in 1864. The year 2022 thus continues the clear warming trend of recent decades.

The second mildest winter was recorded locally on the southern side of the Alps. The southern side of the Alps experienced the sunniest winter of the last 60 years. Accordingly, all three winter months brought very little precipitation.

The mild winter was followed by the fourth warmest spring nationwide since measurements began in 1864. May was particularly warm. The four measurement sites in Basel, Bern, Geneva and Zurich with long measurement series recorded the fourth sunniest spring since measurements began. Precipitation levels remained well below the 1991–2020 norm across the board. On the northern side of the Alps, it was locally the spring with the least precipitation for more than 70 years. Little precipitation fell, especially in March and May.

The warmth continued with the second warmest summer nationwide since measurements began in 1864. Only the legendary hot summer of 2003 brought more warmth. In the national average it was the second hottest June, the fourth hottest July and finally the third hottest August since measurements began. All three summer months gave Switzerland a period of heat with maximum values above 36°C. The weather was persistently sunny. This led to the sunniest summer half-year since measurements began at several measurement sites. The lack of rain, which lasted for months and was accompanied by high evaporation, led to a pronounced drought in large parts of the country during the summer.

The above-average warmth also continued in autumn. The record-warm October and the far above-average November warmth led to the third warmest autumn since measurements began in 1864. North of the Alps, the autumn brought above-average precipitation overall. September was particularly wet. In contrast, the southern side of the Alps and neighbouring areas received below-average precipitation.

Worldwide, the year 2022 was the sixth warmest since measurements began in 1850. It was 0,8°C above the 1961–1990 norm (+0,26°C compared to the 1991–2020 norm). La Niña conditions prevailed in the tropical Pacific throughout the year. Warmth dominated on all continents, but especially in Siberia, Europe Central Asia and China. The last eight years since 2015 have been the warmest since measurements began.

In the long-term Swiss temperature trend 1864–2022, the year 2022 is yet another representation of the long-term climate change in Switzerland. The long-term temperature increase in Switzerland is clear and affects all seasons. The average over the last ten years is the highest since systematic records began. It is 2,5°C above the pre-industrial reference period 1871–1900 (global warming: 1,1°C). In line with the general temperature increase in Switzerland, the number of summer days has increased significantly, while the number of frost days has decreased. Likewise, an increase in the zero degree level can be observed. The general warming is also expressed in an earlier vegetation development.

The precipitation development in the period 1864–2022 is dominated by decadal and year-to-year fluctuations both on the Central Plateau and on the southern side of the Alps. In winter, a slight increase can be observed on the Central Plateau. The other seasons show no long-term change in precipitation totals. However, studies show that the frequency and intensity of daily heavy precipitation has increased at the vast majority of 185 measuring stations since 1901. When considering 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 significant decrease in new snow 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 Evolution du climat au cours de l'année 2022

La Suisse a connu l'année nettement la plus chaude et, dans certaines régions, la plus ensoleillée depuis le début des mesures. L'année 2022 a été marquée par des températures durablement supérieures à la moyenne, un manque de précipitations persistant et un ensoleillement important. L'été caniculaire a donné lieu à trois vagues de chaleur et, dans certaines régions, à une sécheresse marquée.

Année la plus chaude

La moyenne nationale des températures annuelles en 2022 a atteint 7,4°C (1,6°C au-dessus de la norme 1991–2020), de loin la valeur la plus élevée depuis le début des mesures en 1864. L'année 2022 poursuit ainsi la forte tendance au réchauffement de ces dernières années.

L'année 2022 a été ponctuée de saisons et de mois très chauds. Seul le mois de septembre a enregistré une température moyenne légèrement inférieure à la moyenne nationale par rapport à la norme 1991–2020.

Les sept années les plus chaudes depuis le début des mesures ont toutes été enregistrées après 2010. Elles dépassent de 1°C ou plus les records de chaleur d'avant 1980. La poussée de chaleur massive à partir de 2010 est la deuxième du genre au cours des 30 dernières années. La Suisse a connu la première dans les années 1990. De la période préindustrielle 1871–1900 à la période sur 30 ans la plus récente 1993–2022, la température annuelle a augmenté de 2°C en moyenne dans toute la Suisse.

Douceur en hiver et au printemps

Au Sud des Alpes, il s'agit localement du deuxième hiver le plus doux depuis le début des mesures. Il s'en est suivi du quatrième printemps le plus doux au niveau national depuis le début des mesures en 1864. Le mois de mai s'est révélé extrêmement doux et s'est avéré le deuxième plus chaud en moyenne nationale. Plusieurs sites ont enregistré le mois de mai le plus chaud depuis le début des mesures.

Forte chaleur en été

La chaleur s'est poursuivie avec le deuxième été le plus chaud au niveau national depuis le début des mesures en 1864. Seul l'historique été caniculaire de 2003 avait été encore plus chaud. La chaleur estivale de 2022 s'est étendue sur les trois mois d'été. En moyenne nationale, on a enregistré le deuxième mois de juin le plus chaud, le quatrième mois de juillet le plus chaud et enfin le troisième mois d'août le plus chaud depuis le début des mesures en 1864.

Chaque mois de l'été a connu une période caniculaire avec des valeurs maximales dépassant 36°C. Le 4 août, Genève a mesuré une température de 38,3°C, soit la valeur la plus élevée mesurée de l'été en Suisse. Lugano a enregistré en juillet la plus longue période de chaleur persistante depuis le début des mesures en 1864, avec 14 jours tropicaux consécutifs (température maximale journalière de 30°C ou plus).

Chaleur record en octobre

La chaleur supérieure à la moyenne s'est également maintenue en automne. La chaleur record en octobre et des températures largement supérieures à la moyenne en novembre ont conduit au troisième automne le plus chaud depuis le début des mesures en 1864. L'automne 2014 s'était montré tout aussi chaud. Jusqu'à présent, seul l'automne 2006 avait été nettement plus chaud.

L'année la plus ensoleillée depuis le début des mesures

L'année 2022 a été marquée par un fort ensoleillement. Trois des quatre sites de mesures avec des séries de données homogénéisées de plus de 120 ans – Genève, Bâle et Zurich – ont enregistré l'année la plus ensoleillée depuis le début des mesures. Plusieurs autres sites avec des séries de données homogénéisées à partir de 1961 ont également connu l'année la plus ensoleillée. Ce qui est frappant, surtout à Genève, c'est la grande différence de plus de 150 heures d'ensoleillement par rapport aux précédents records d'ensoleillement.

L'hiver le plus ensoleillé au Sud

Le Sud des Alpes a régionalement connu, l'hiver nettement le plus ensoleillé de la période remontant à plus de 60 ans avec des données homogénéisées. Localement, il a été enregistré le mois de janvier le plus ensoleillé et le deuxième ou troisième mois de février le plus ensoleillé. Au Nord des Alpes, il s'agit localement du quatrième ou cinquième hiver le plus ensoleillé depuis le début des mesures il y a plus de 120 ans (Genève, Berne). Au Nord, le mois de janvier s'est montré particulièrement ensoleillé. Sur les sites de Genève, Berne et Zurich, il s'est classé au deuxième rang. Seul janvier 2020 avait connu un ensoleillement plus important.

Beaucoup de soleil durant le printemps

Les quatre sites de Bâle, Berne, Genève et Zurich ont enregistré le quatrième printemps le plus ensoleillé depuis le début des mesures. Le mois de mars a été particulièrement ensoleillé. Zurich a enregistré le mois de mars le plus ensoleillé, Bâle et Berne le cinquième plus ensoleillé depuis le début des mesures. Genève a ensuite enregistré le cinquième mois de mai le plus ensoleillé depuis le début des mesures.

Records d'ensoleillement en été

Genève et Bâle ont enregistré l'été le plus ensoleillé et Zurich le deuxième plus ensoleillé depuis le début des mesures il y a plus de 120 ans. L'ensoleillement estival a également atteint des records sur les sites disposant de séries de mesures homogénéisées sur plus de 60 ans. Lugano, La Chaux-de-Fonds, Neuchâtel et Altdorf ont enregistré l'été le plus ensoleillé, Locarno, Sion, Saint-Gall et Lucerne le deuxième plus ensoleillé. Samedan, Davos et le Säntis ont connu le troisième été le plus ensoleillé.

La persistance d'un temps très ensoleillé a permis à plusieurs sites de connaître le semestre d'été (avril–septembre) le plus ensoleillé depuis le début des mesures.

Importante sécheresse

Au Sud des Alpes, les sommes de précipitations ont été inférieures à la moyenne au cours des quatre saisons. Le printemps et l'été ont été peu arrosés dans toute la Suisse. En automne, la Suisse occidentale a reçu de copieuses précipitations. En moyenne nationale, l'année 2022 a été l'une des dix années les moins pluvieuses depuis le début des mesures en 1864.

Suite à la sécheresse persistante depuis l'hiver, des incendies de forêt se sont déclarés au printemps dans les cantons de Berne, du Tessin et du Valais. Le plus grand incendie de forêt a fait rage du 23 au 25 mars dans les Centovalli au Tessin. La voie ferrée et la route ont été temporairement fermées. Jusqu'à huit hélicoptères ont été engagés pour atteindre le brasier.

Le manque de pluie persistant pendant des mois, associé à une forte évaporation due à la persistance de températures élevées, a entraîné une sécheresse marquée en Suisse romande et au Sud des Alpes au cours de l'été.

Hiver extrêmement sec au Sud

Au Sud des Alpes, les trois mois d'hiver ont été peu arrosés. Locarno Monti a enregistré son deuxième hiver le plus sec depuis le début des mesures en 1884. Dans le reste de la Suisse, la somme des précipitations hivernales a souvent été proche de la norme 1991–2020.

Peu de pluies printanières

Au printemps, les quantités de précipitations sont souvent restées nettement inférieures à la norme 1991–2020. Au Nord des Alpes, il s'agit localement du printemps le plus sec depuis plus de 70 ans. Le Sud des Alpes a enregistré localement le printemps le moins pluvieux depuis plus de 60 ans.

Les précipitations ont été faibles, surtout en mars et en mai. Certaines régions ont connu le mois de mars avec la somme de précipitations la plus faible ou la deuxième plus faible depuis le début des mesures. En mai, les sommes de précipitations sont restées une nouvelle fois souvent inférieures à la norme 1991–2020. Dans de nombreux sites de Suisse romande avec des séries de mesures de plus de 60 ans, il s'agit du mois de mai le moins pluvieux depuis le début des mesures. La Chaux-de-Fonds a enregistré le mois de mai le moins pluvieux depuis le début des mesures en 1900.

Sécheresse localement prononcée en juillet

En juin, les quantités de pluie ont atteint des valeurs moyennes ou supérieures à la moyenne dans certaines régions. Certains sites ont même enregistré l'un des mois de juin les plus humides depuis le début des mesures. En revanche, le mois de juillet a apporté dans certaines régions de Suisse moins de 30 %, voire localement moins de 10 % des quantités de pluie normales. Dans le sud-ouest de la Suisse, certaines régions ont enregistré le mois de juillet le plus sec depuis plus de 50 ans. En raison des températures élevées et l'évaporation importante qui en a résulté, ainsi que le manque de pluie des mois précédents, cette région a connu une sécheresse prononcée.

Un automne arrosé sur l'ouest du pays

Au Nord des Alpes, l'automne a apporté des quantités de précipitations souvent excédentaires. En Suisse romande et localement sur le Plateau central, elles ont dépassé 130 % de la norme 1991–2020. Dans les Alpes, les valeurs ont oscillé en de nombreux endroits entre 80 et 120 % de la norme.

En revanche, le Sud des Alpes et les régions limitrophes n'ont souvent reçu que 60 à 90 %, voire régionalement moins de 50 % de la norme 1991–2020. Comme la norme est élevée au Sud, les quantités mesurées au Sud des Alpes ont souvent été plus importantes qu'au Nord, malgré des valeurs inférieures à la moyenne. Par exemple, il est tombé 391 mm à Stabio (75 % de la norme), contre 339 mm à Neuchâtel (141 % de la norme).

Fin d'année extrêmement douce

Décembre s'est montré froid jusque peu après le milieu du mois, avec plusieurs épisodes de chutes de neige jusqu'à basse altitude. Un fort réchauffement a ensuite fait grimper la limite des chutes de neige à plus de 2000 mètres.

Le jour de la Saint-Sylvestre, de l'air subtropical chaud a apporté des valeurs maximales de 14 à 16 °C au Nord des Alpes, voire plus de 17 °C dans le nord-ouest de la Suisse et dans les vallées à foehn. Les valeurs les plus élevées du réseau de MétéoSuisse ont été mesurées à Delémont (20,9 °C) et à Vaduz (19,3 °C). De nombreux sites ont mesuré la valeur la plus élevée pour une dernière décennie de décembre depuis le début des mesures. A Delémont, il s'agit de la deuxième valeur la plus élevée pour un mois de décembre depuis le début des mesures en 1959. Avec 18 °C, Elm (GL) a enregistré la valeur la plus élevée pour un mois de décembre depuis le début des mesures des températures maximales en 1972.

Bilan annuel

En 2022, la température annuelle a été supérieure de 1,3 à 1,8 °C à la norme 1991–2020 dans de nombreuses régions de Suisse. En Suisse romande et en Valais, certaines régions ont également enregistré 1,9 à 2,1 °C de plus que la norme. En Engadine, les valeurs ont atteint 1 à 1,5 °C au-dessus de la norme. En moyenne nationale, la température annuelle a dépassé de 1,6 °C la norme 1991–2020. Il s'agit nettement de l'année la plus chaude depuis le début des mesures en 1864.

Les précipitations annuelles en 2022 ont souvent atteint 70 à 90 % de la norme 1991–2020. Au Sud des Alpes, les valeurs se sont situées entre 50 et 75 % de la norme. De nombreux sites avec des séries de mesures de plus de 60 ans ont signalé l'une des dix années les moins pluvieuses. Dans certaines régions, il s'agit localement de l'année la moins pluvieuse depuis le début des mesures. Au Sud des Alpes, il s'agit souvent de la deuxième année la moins pluvieuse depuis le début des mesures, même dans les séries de mesures remontant à 100 ans ou plus.

Au Nord des Alpes, la somme annuelle 2022 de la durée d'ensoleillement s'est souvent située entre 120 et 130 % de la norme 1991–2020. Dans les autres régions, elle a souvent atteint 110 à 120 % de la norme. Plusieurs sites ont enregistré l'année la plus ensoleillée depuis le début des mesures.

Station	Altitude m	Température [°C]			Durée d'ensoleillement [h]			Précipitations [mm]		
		moyenne	norme	écart	somme	norme	%	somme	norme	%
Berne	553	11.0	9.3	1.7	2143	1797	119	895	1022	88
Zurich	556	11.5	9.8	1.7	2149	1694	127	872	1108	79
Genève	420	12.8	11.0	1.8	2342	1887	124	694	946	73
Bâle	316	12.6	11.0	1.6	2119	1687	126	795	842	94
Engelberg	1036	8.4	6.8	1.6	1608	1380	117	1271	1568	81
Sion	482	12.2	10.7	1.5	2400	2158	111	486	583	83
Lugano	273	14.4	13.0	1.4	2514	2120	119	1096	1567	70
Samedan	1709	3.5	2.4	1.1	1998	1767	113	571	710	80

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

norme moyenne climatologique 1991–2020
écart écart à la norme
% rapport à la norme (norme = 100%)

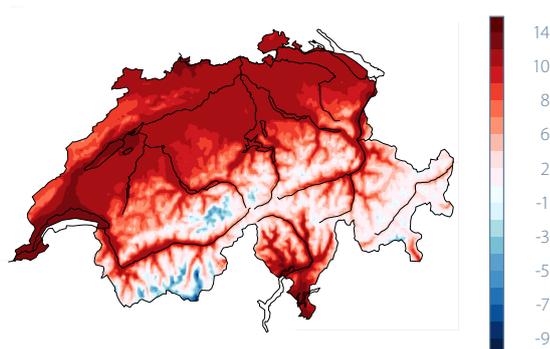


Tous les rapports mensuels et saisonniers 2022 (bulletins mensuels, bulletins saisonniers) sont disponibles à l'adresse internet suivante:
www.meteosuisse.admin.ch/services-et-publications

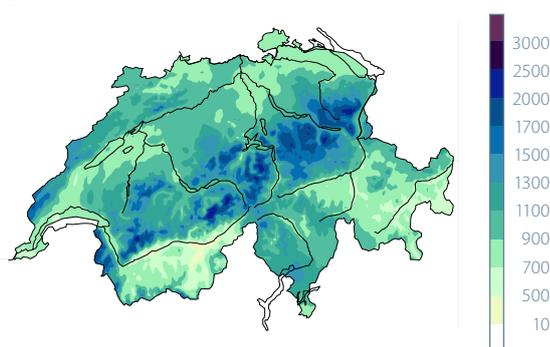
Température, précipitations et durée d'ensoleillement de l'année 2022

Valeurs mesurées en 2022

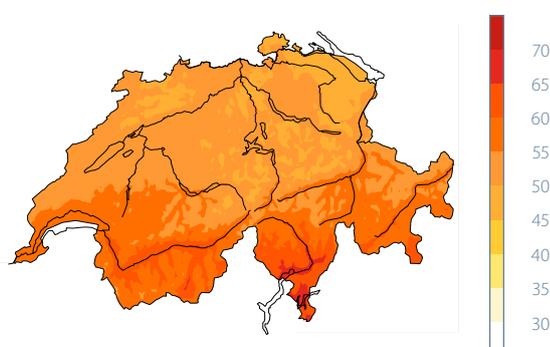
Températures moyennes annuelles en °C



Somme annuelle des précipitations en mm

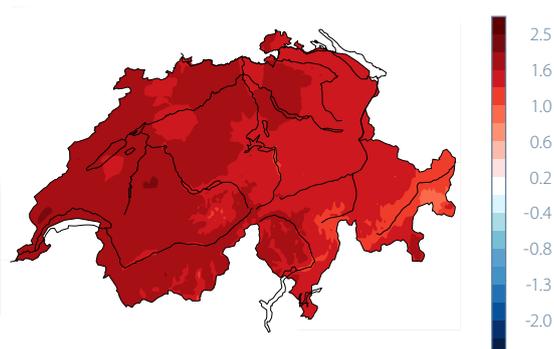


Rapport à l'ensoleillement annuel maximal en %

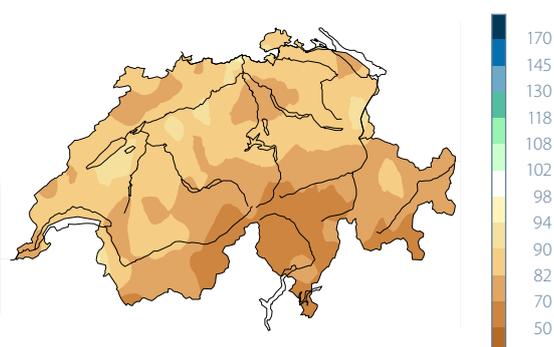


Ecart à la norme 1991-2020

Ecart à la norme de la température moyenne en °C



Somme des précipitations en % de la norme



Durée d'ensoleillement en % de la norme

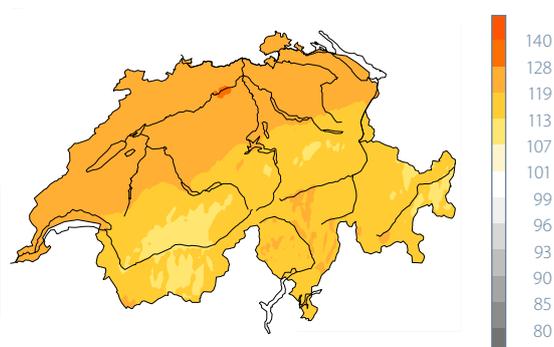


Figure 1.1

Répartition spatiale des températures, des précipitations et de la durée d'ensoleillement en 2022. Les valeurs mesurées sont représentées à gauche et les rapports à la norme climatologique 1991-2020 à droite.

Température mensuelle 2022 écart à la norme 1991–2020

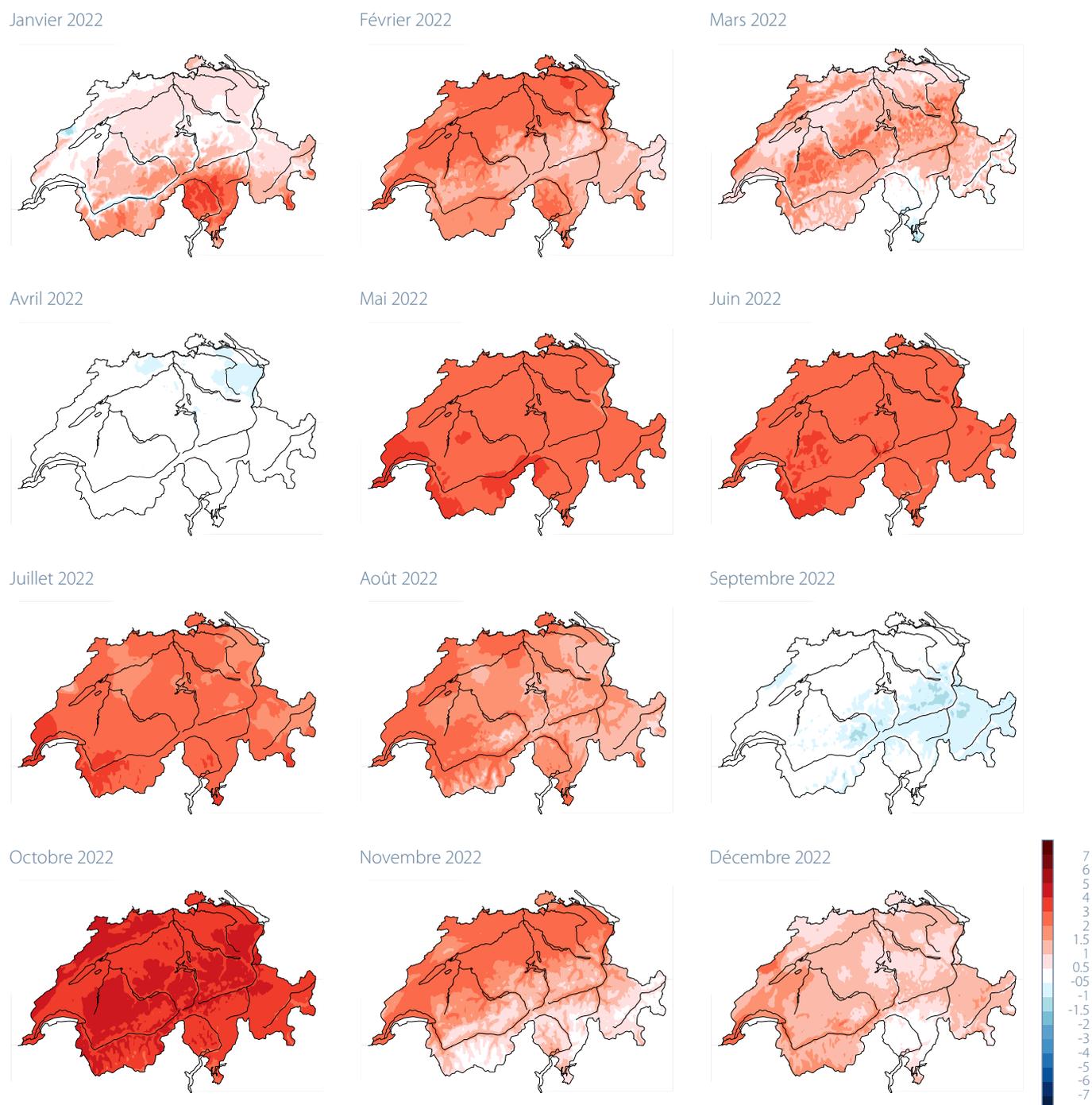


Figure 1.2
Répartition spatiale de la température mensuelle, écart à la norme 1991–2020, en °C.

Précipitations mensuelles 2022 en % de la norme 1991–2020

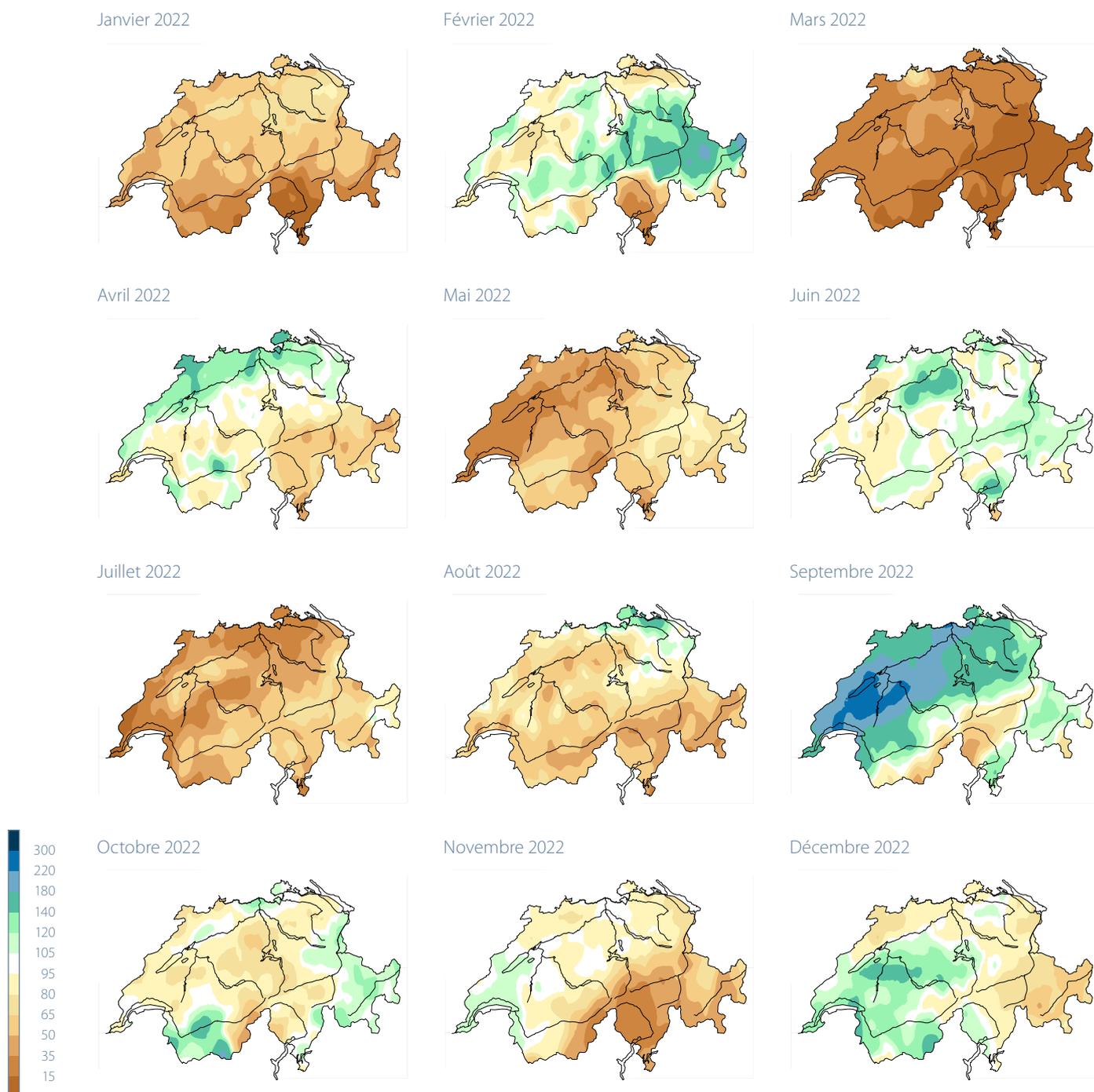


Figure 1.3
Répartition spatiale des précipitations mensuelles en % de la norme 1991–2020.

Durée mensuelle d'ensoleillement 2022 en % de la norme 1991–2020

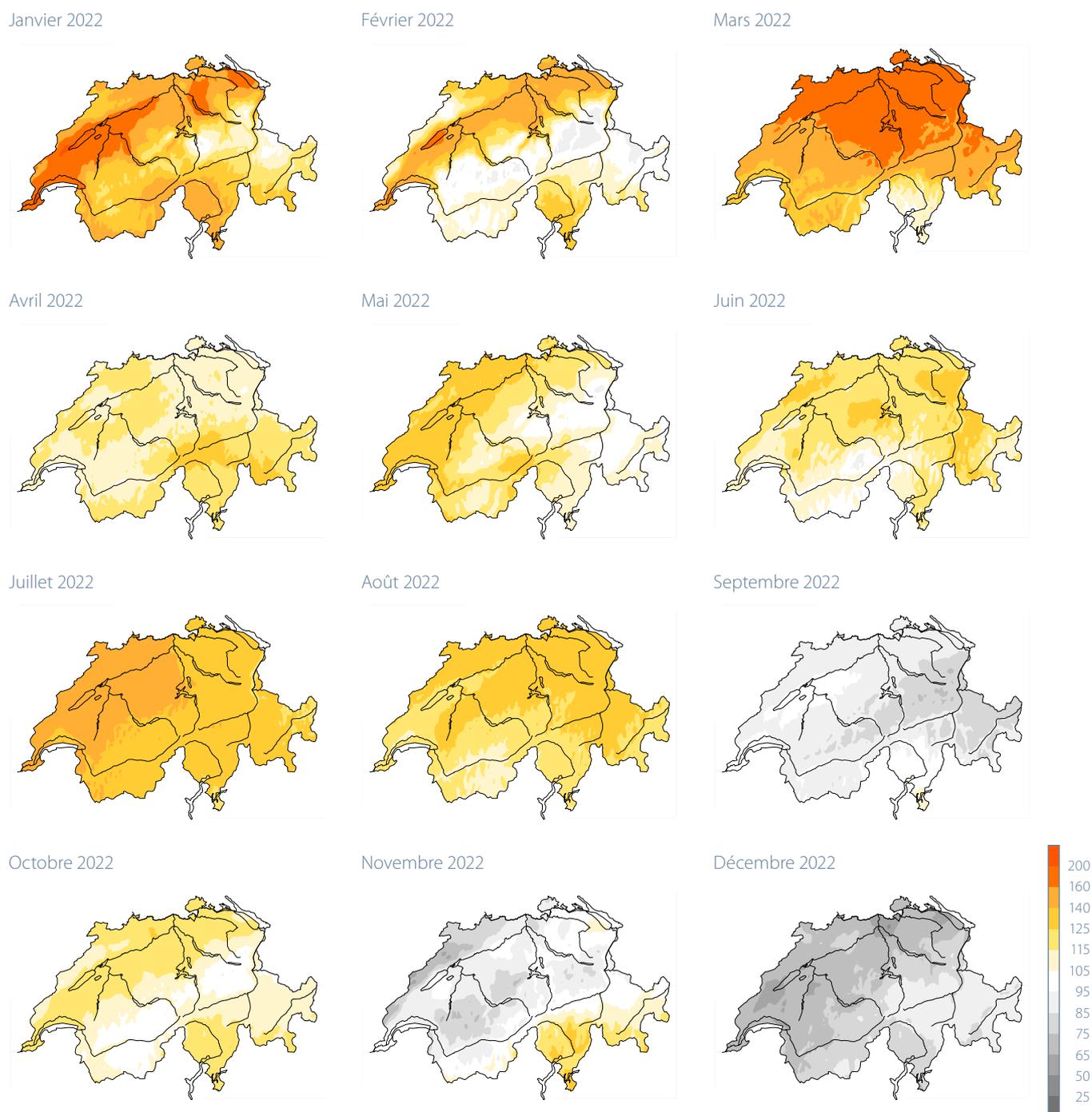


Figure 1.4
Répartition spatiale de la durée mensuelle d'ensoleillement en % de la norme 1991–2020.





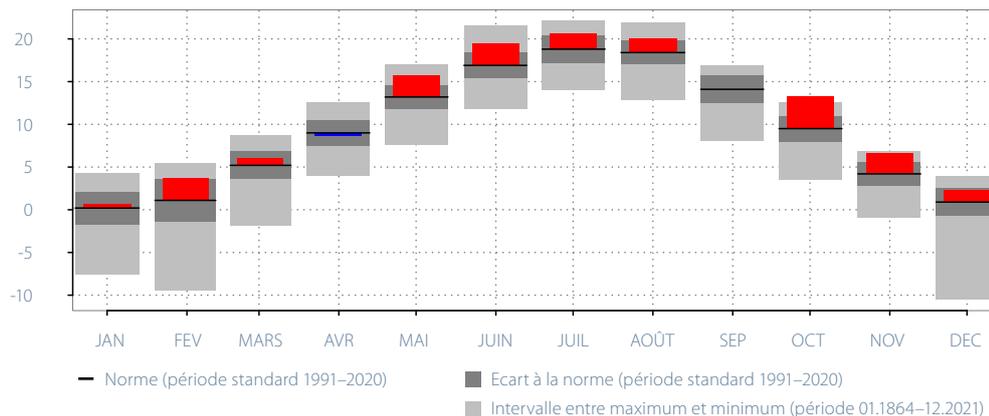
2 | Diagrammes représentant l'évolution annuelle

Température, durée d'ensoleillement et précipitations

Berne-Zollikofen (553 m) 1.1. au 31.12.2022

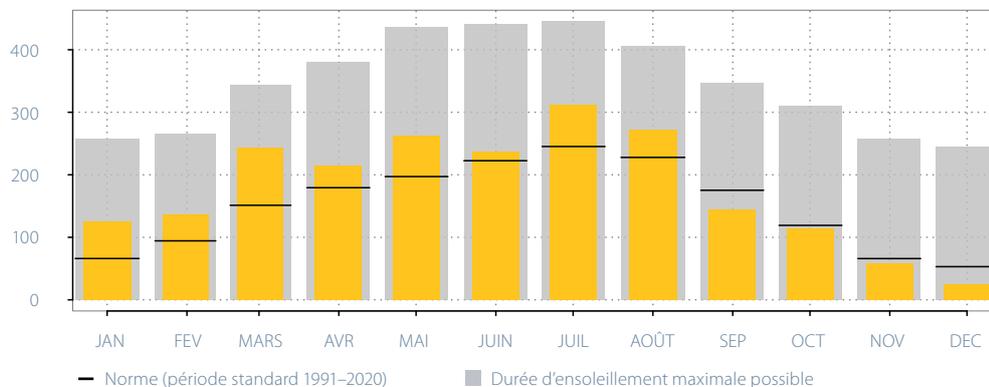
Moyenne mensuelle de la température de l'air en °C

Moyenne: 10,9; norme: 9,3



Durée mensuelle d'ensoleillement en h

Somme: 2143,0; norme: 1797,1



Somme mensuelle des précipitations en mm

Somme: 895,1; norme: 1021,8

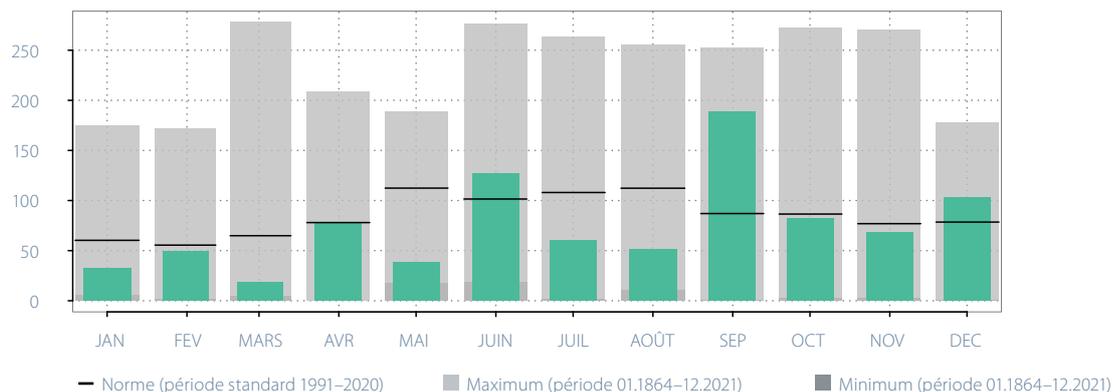


Figure 2.1

Evolution 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.

Les diagrammes d'évolution annuelle pour toutes les stations du réseau suisse de mesures climatiques [1] figurent à l'adresse mentionnée ci-dessous:

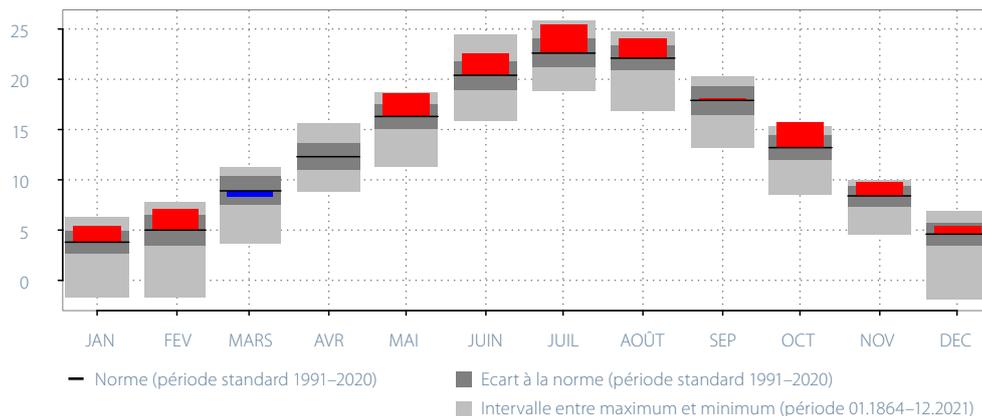
www.meteosuisse.admin.ch/climat/climat-de-la-suisse/evolution-annuelle-de-la-temperature-des-precipitations-et-de-la-duree-d-enseillement.html



Lugano (273 m) 1.1. au 31.12.2022

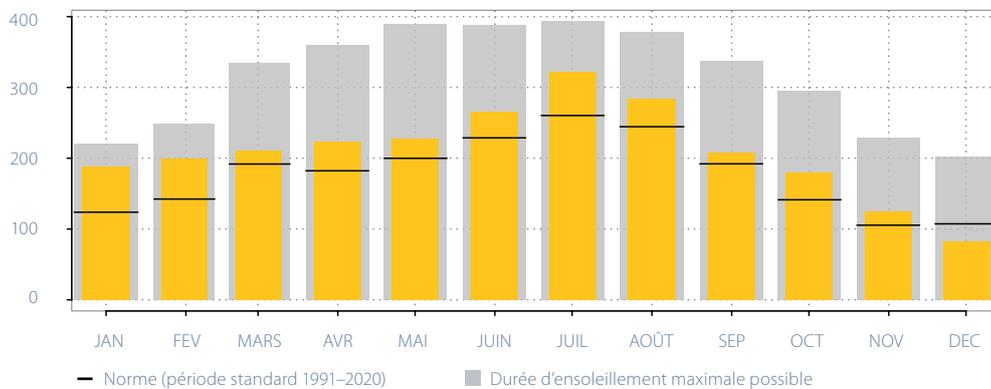
Moyenne mensuelle de la température de l'air en °C

Moyenne: 14,4; norme: 13,0



Durée mensuelle d'ensoleillement en h

Somme: 2513,6; norme: 2119,8



Somme mensuelle des précipitations en mm

Somme: 1096,4; norme: 1566,6

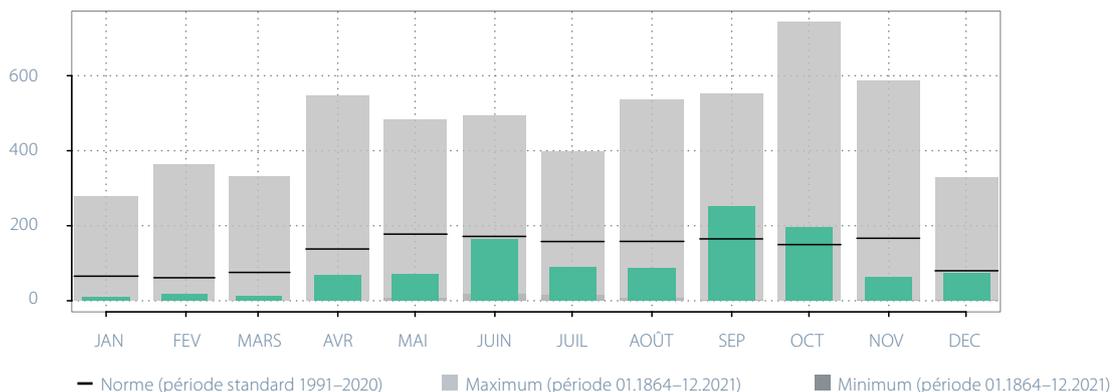


Figure 2.2

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

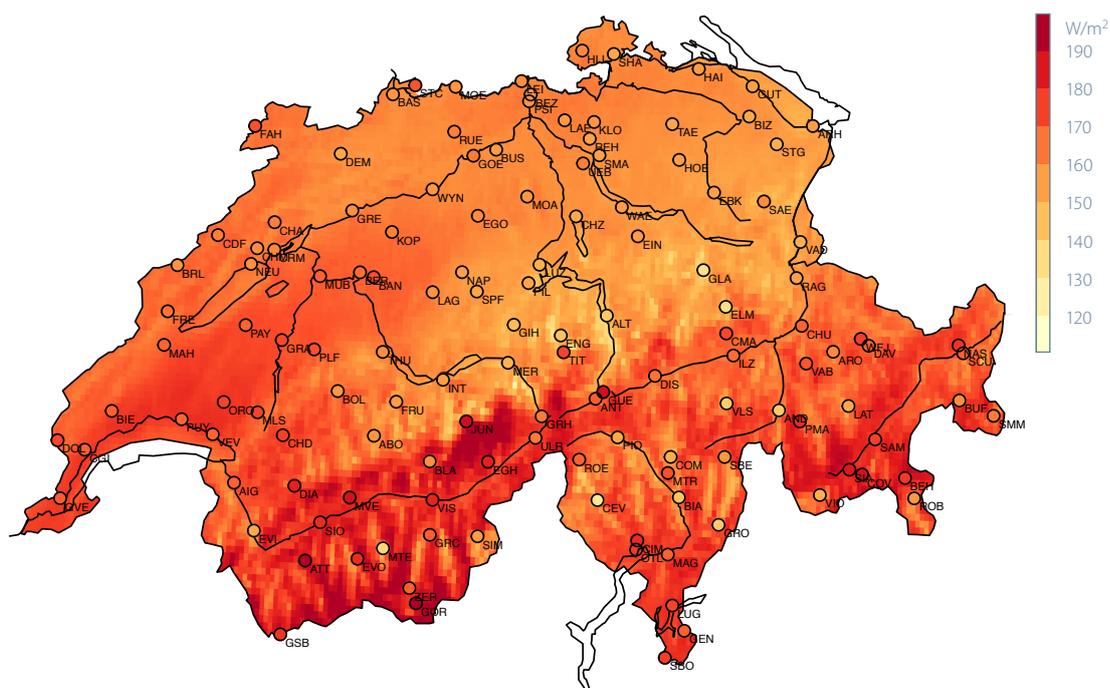
Evolution annuelle du rayonnement global

Le rayonnement global est la somme du rayonnement direct et du rayonnement diffus sur une surface de réception horizontale. Le rayonnement global revêt une importance particulière pour la production d'énergie.

Le rayonnement global moyen annuel a atteint en 2022 des valeurs maximales allant jusqu'à 190 W/m^2 (Figure 2.3). Le rayonnement global le plus élevé a également été mesuré en 2022 sur la crête principale des Alpes. Mais des valeurs comprises entre 160 et 180 W/m^2 ont également été atteintes sur le Plateau occidental, au Tessin, en Valais et dans les Grisons. Dans la partie nord des Alpes, en revanche, on n'a parfois enregistré que 130 – 140 W/m^2 .

Le Valais, les Grisons et aussi le Plateau occidental ont enregistré en 2022 presque le même rayonnement global que le Tessin. Ainsi, la séparation entre le sud de la Suisse et le Plateau a été presque inexistante par rapport aux années précédentes. Alors que Genève et Payerne ont enregistré respectivement 166 et 168 W/m^2 , Lugano, Zermatt et Samedan ont reçu 167 – 173 W/m^2 . Une valeur record de 157 W/m^2 a également été enregistrée à Kloten. En revanche, à Engelberg, on n'a enregistré que 146 W/m^2 .

Figure 2.3
Moyenne annuelle du rayonnement global (W/m^2) pour 2022, 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.



2022 a été l'année du rayonnement global le plus élevé depuis le début des mesures de rayonnement par satellite en 2004. Par rapport à la moyenne 2004–2021, les valeurs de rayonnement global ont été supérieures de plus de 10 W/m^2 dans presque toutes les régions de Suisse. Cela s'explique par un été particulièrement ensoleillé. Seules de petites régions dans la partie nord des Alpes et certaines parties du sud du Valais ont enregistré des valeurs inférieures à la norme.

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 extrêmement fortement en raison de la nébulosité qui change chaque jour.

L'année 2022 a été extrêmement changeante. Janvier et février ont été dans la norme dans toute la Suisse, avec une alternance de périodes ensoleillées et de périodes sombres. Le mois de mars a été très ensoleillé, surtout au Tessin. Le mois d'avril a été très gris en montagne. En mai, le rayonnement global a été nettement supérieur à la moyenne, surtout sur le Plateau. De la mi-juin

à la mi-août, la Suisse a bénéficié d'un ensoleillement exceptionnel, presque sans interruption (Figure 1.4). En juillet, le rayonnement global a été nettement supérieur à la norme dans toute la Suisse, avec 50 W/m^2 . Le mois d'août a également été nettement au-dessus de la norme de 20 W/m^2 . Le mois de septembre a connu une longue période de jours très nuageux et les mois d'octobre, novembre et décembre ont également été marqués par de nombreuses périodes nuageuses. Les valeurs de rayonnement global ont été nettement inférieures à la norme dans toute la Suisse, surtout en novembre.

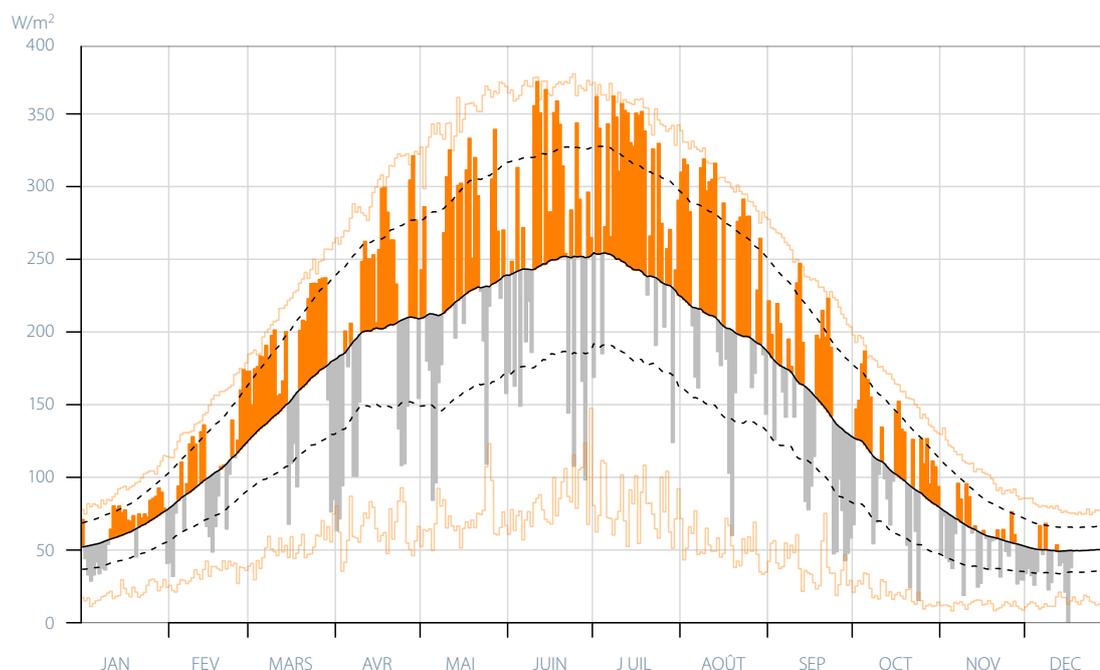


Figure 2.4
Moyenne journalière du rayonnement global pour toute la Suisse pour 2022. Les barres orange indiquent un rayonnement supérieur à la moyenne et les barres grises des valeurs inférieures à la moyenne par rapport à la période 2004–2021.

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°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°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.

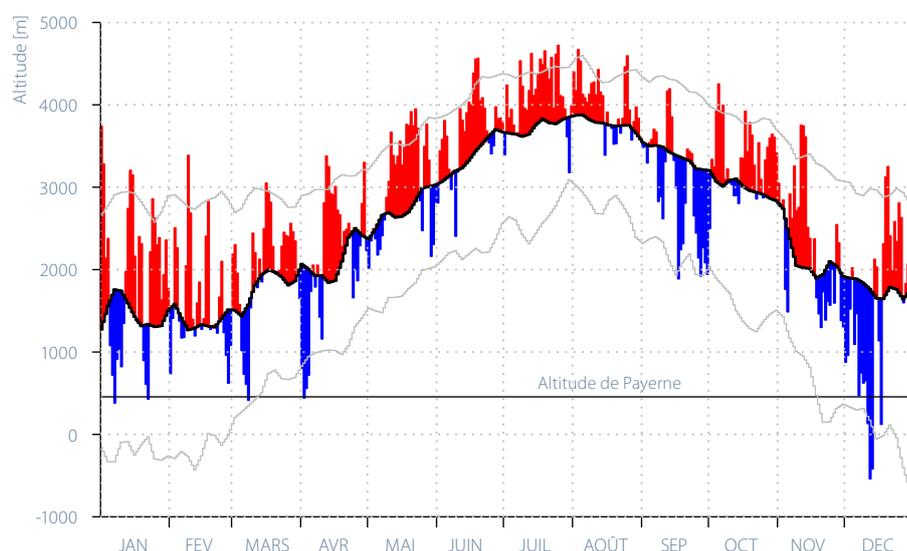
La Figure 2.5 montre l'évolution annuelle des altitudes journalières du zéro degré pendant l'année 2022. Les valeurs sont représentées autant en valeur absolue (mètres au-dessus du niveau de la mer) que par rapport aux valeurs de référence journalières calculées sur la période de référence 1991–2020 (courbe noire). Les zones en bleu et en rouge dans le graphique montrent les anomalies par rapport à la référence. La valeur médiane 1991–2020 est égale à 2605 m. La médiane annuelle de l'altitude du zéro degré en 2022 est égale à 2830 m, soit 225 m plus haut que la médiane de référence et 150 m

plus haut que la médiane de l'année 2021. Le pourcentage d'anomalies négatives pendant l'année 2022 est de 36,4% bien plus bas que le 53,7% de 2021. Le pourcentage des anomalies positives (en rouge) durant l'année 2022 a augmenté par rapport à l'année 2021 en passant de 46,3% à 63,6%. La valeur maximale de la série annuelle a été mesurée le 25 juillet 2022 avec une valeur de 4719 m, soit 19 m plus haut qu'en 2021. Le 12 décembre, l'altitude mesurée de -539 m, représente le minimum de la série annuelle, soit 160 m plus haut qu'en 2021. Pratiquement seulement le mois de décembre présente des valeurs journalières en dessous du niveau du sol. De la même façon, le pourcentage des jours où les écarts de la limite de zéro degré par rapport à la référence dépassent le seuil du 95^e centile en 2022 (barres rouges dépassant la courbe grise supérieure) équivaut à 12,9%, contre 7,12% en 2021. Le pourcentage d'anomalies négatives en dessous du 5^e centile a été de 2,7%.

Les phases prolongées avec un isotherme zéro degré relativement élevé, qui se sont produites à plusieurs reprises au cours de l'année 2022 et en particulier pendant le semestre d'été, sont un autre indicateur de la chaleur exceptionnelle de cette année. 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 du zéro degré en 2022 contribue à la tendance positive des valeurs annuelles commencé dans la moitié des années 1980 (voir chapitre 5.1.2).

Figure 2.5
Altitude de la limite du zéro degré en atmosphère libre au-dessus de Payerne en 2022 mesurée par les radiosondages aérologiques 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. 90 % des moyennes journalières se situent à l'intérieur des lignes des percentiles 5 % et 95 %.

Médiane 2022: 2830 m; norme 1991–2020: 2605 m



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 2022. Une température plus élevée dans la colonne d'air entraîne une tropopause plus haute. C'est pourquoi la médiane de la période normale 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 zones 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. Au contraire, lors de l'arrivée d'une masse d'air chaud d'origine tropicale (maritime ou continentale), la hauteur de la tropopause augmente par rapport aux valeurs de référence

pour l'atmosphère au-dessus de la Suisse. La médiane des valeurs de hauteur de la tropopause pour l'année 2022 a été de 11'658 m, c'est-à-dire 403 m plus haut que la médiane de référence qui a été de 11'255 m. Les valeurs médianes journalières ont été plus basses que la valeur de référence seulement dans le 38,6% du temps. Par contre pendant la plupart de 2022, les valeurs médianes journalières sont restées au-dessus de la norme, plus précisément pour le 61,4% du temps. Les valeurs mesurées ont été au-dessus de la valeur de référence quasi-systématiquement pendant la période estivale mai-août avec très peu d'anomalies négatives. Il a fallu attendre la fin de l'année 2022, notamment les deux premières semaines de décembre pour mesurer une série ininterrompue d'anomalies négatives de l'année.

Par rapport à l'année précédente, plus fraîche, on a observé davantage d'extrêmes chauds en 2022. Au total, 8,5% des écarts positifs par rapport à la norme ont dépassé le 95^e percentile et seulement 1,6% des anomalies négatives sont restées en dessous du 5^e percentile. Le maximum pour l'année 2022 a été mesuré le 25 juillet avec une tropopause à 15'592 m d'altitude (1102 m de plus qu'en 2021). Le 11 décembre, le minimum de l'altitude de la tropopause de 6364 m a été enregistré.

Le nombre croissant de dépassements du 95^e centile de l'altitude de la tropopause, 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 2022: 11'658 m; norme 1991–2020: 11'255 m

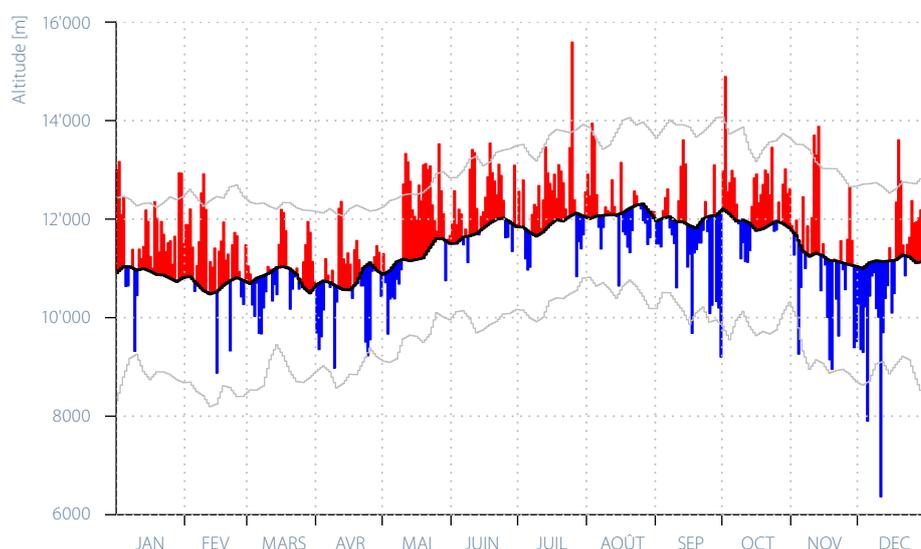


Figure 2.6

Altitude de la tropopause au-dessus de Payerne en 2022 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 à l'aide d'un filtre numérique. 90% des moyennes journalières se situent à l'intérieur des lignes des percentiles 5% et 95%.

Fortes précipitations exceptionnelles

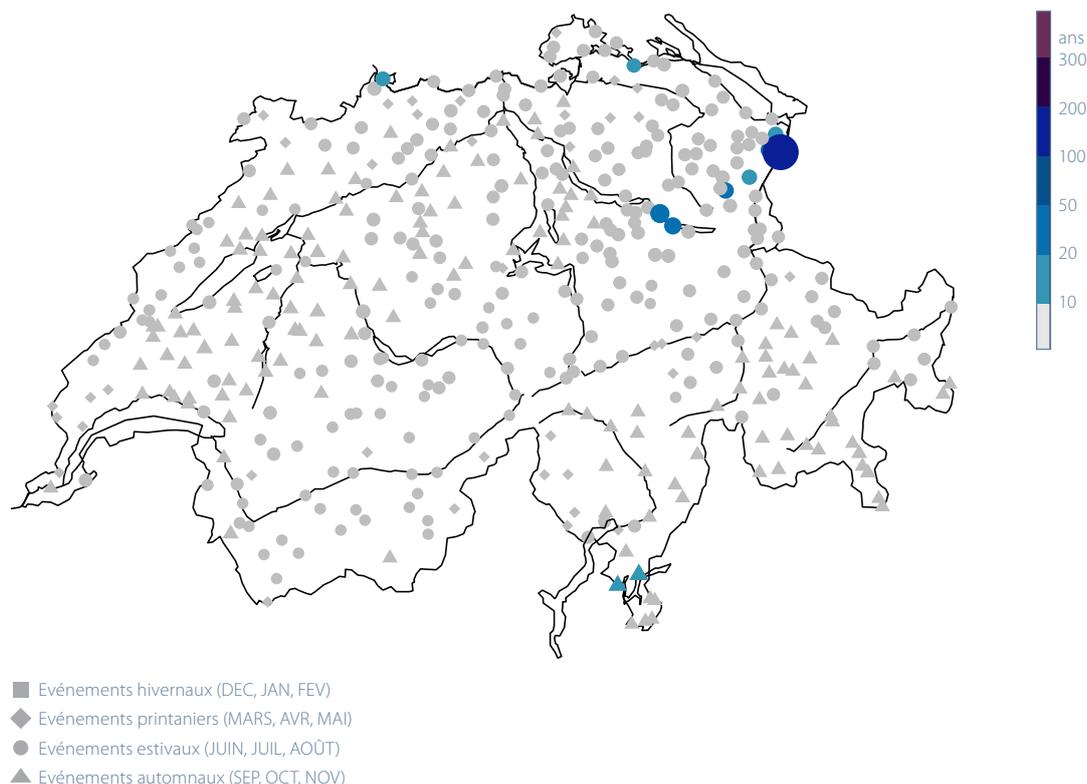
Pour déterminer si un événement météorologique exceptionnel est survenu, des analyses de fréquence (ou analyses de valeurs extrêmes) sont effectuées. Ces analyses donnent des indications sur la fréquence avec laquelle l'événement observé pourrait se produire en moyenne sur une très longue période, par exemple tous les 10 ans ou tous les 20 ans. Cette fréquence est appelée période de retour.

Une méthode statistique (analyse spatiale des valeurs extrêmes avec une période de base 1961–2020) permet d'évaluer, pour chaque site de mesures des précipitations, la plus forte somme de précipitations sur 1 jour relevée au cours de l'année de référence. Les précipitations journalières les plus extrêmes de l'année 2022 se sont produites le 19 août. A partir du 17 août, une dépression sur le proche-Atlantique a amené de l'air très humide sur la Suisse. Le 19 août, cette masse d'air humide a été pressée contre les Alpes par un courant d'altitude du nord. Par la suite, il a plu abondamment et durablement, surtout le long des Préalpes orientales et dans la vallée du Rhin saint-galloise. A Oberriet (SG), on a mesuré ce

jour-là 144,7 mm de précipitations. Cela correspond à une période de retour de 140 ans à cet endroit de mesure. Les précipitations journalières du 19 août à Schänis (120,3 mm) présentent une période de retour de 38 ans, celles d'Altstätten (121,9 mm) sont dépassées tous les 27 ans environ. A Weesen, au bord du Walensee, 119,9 mm se sont également déversés le même jour (période de retour 26,5 ans). Le 19 août, le Säntis a même reçu 145,6 mm (période de retour 21,5 ans).

Une situation de sud-ouest avec un centre de précipitations sur le Tessin méridional a apporté des précipitations extrêmes le 7 septembre. Lugano a ainsi enregistré 156,1 mm de précipitations en 24 heures, un chiffre qui y est dépassé tous les 18 ans environ. A Ponte Tresa, il y a eu 179,5 mm le même jour (période de retour 15,6 ans).

Figure 2.7
Périodes de retour
des plus importantes
sommées de précipita-
tions en 1 jour en 2022
(06 h: 06 h). Le point
bleu foncé correspond
au site de mesure
Oberriet/Kriessen
(détails dans le texte).



La taille des points et leur couleur indiquent la longueur de la période de retour en années. La couleur grise représente des périodes de retour de dix ans ou moins.

Cycle annuel du rayonnement UV érythémal

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'autres 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 MétéoSuisse 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 2022 le rayonnement UV a été significativement plus élevé que le cycle annuel moyen. Cela se vérifie à toutes les stations, mais pendant une plus ou moins grande partie de l'année: pendant presque toute l'année à Locarno-Monti, une grande partie de l'année (de fin avril à début septembre) au Jung-

fraujoch et à Payerne et de juin à début septembre à Davos. 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). Le fort rayonnement UV observé en 2022 n'a pas été dû à un déficit de la quantité d'ozone dans l'atmosphère car celle-ci a été en moyenne semblable à ce qu'elle était durant les années précédentes (voir «Série de mesures de l'ozone d'Arosa et Davos», Figure 2.9). L'année 2022 a été la plus ensoleillée depuis le début des mesures sur de nombreux sites de mesures. Les heures d'ensoleillement ont été particulièrement nombreuses au cours du semestre d'été et en hiver au Sud des Alpes. Les valeurs élevées du rayonnement UV sont donc liées à ce fort ensoleillement observé en Suisse en 2022 (voir «Evolution annuelle du rayonnement global», Figure 2.4).

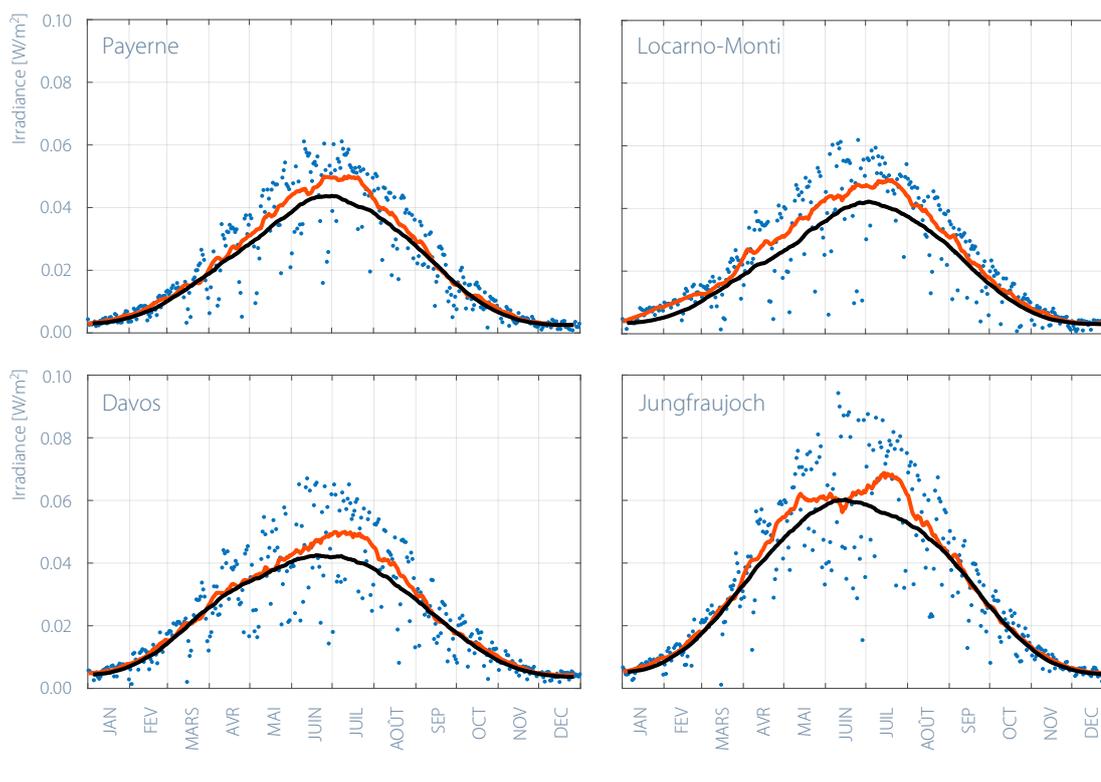


Figure 2.8
Moyennes journalières 2022 de l'irradiance UV érythémale à Payerne, Locarno-Monti, Davos et au Jungfraujoch, moyennes glissantes mensuelles (31 jours) correspondantes et cycles annuels moyens établis sur les années 1995-2021 (Davos), 1997-2021 (Jungfraujoch), 1998-2021 (Payerne) et 2001-2021 (Locarno-Monti).

• Journalier
— Mensuel 2022
— Mensuel climatologie

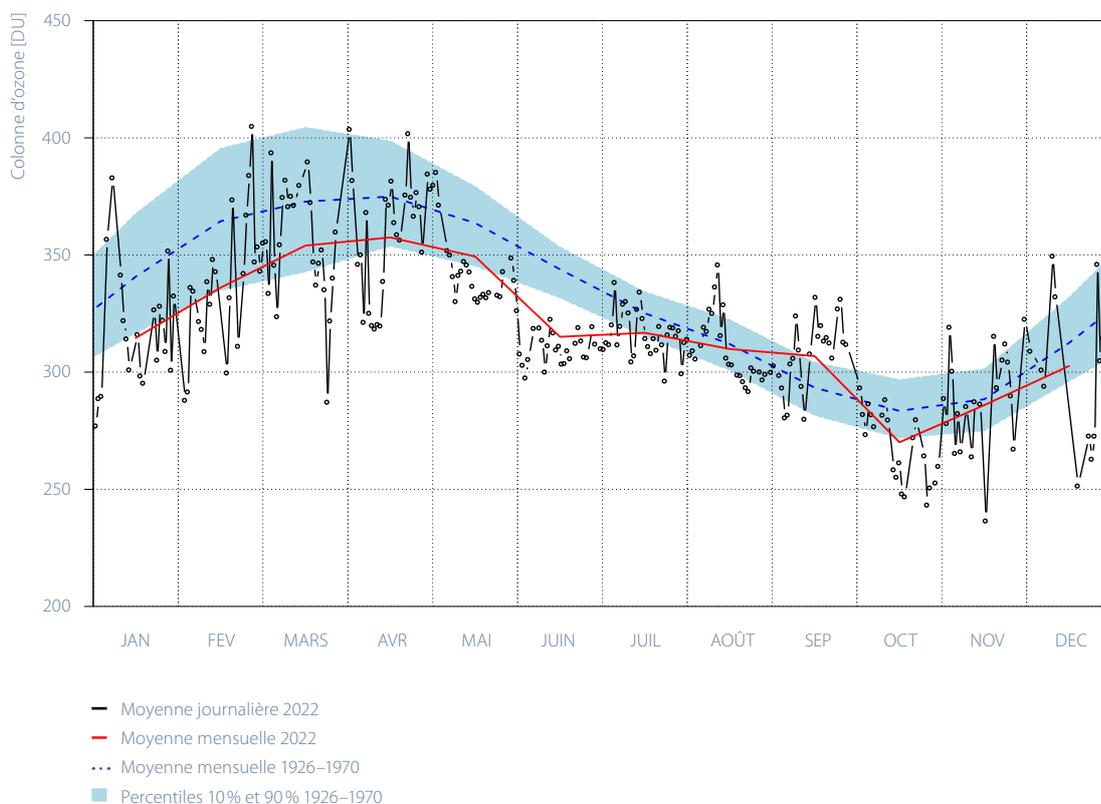
Série de mesures de l'ozone d'Arosa et Davos

Les mesures de la colonne d'ozone ont été toutes effectuées à Davos en 2022. 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.

En 2022, les valeurs d'ozone ont été significativement inférieures à celles de la période de référence pour le mois de juin et légèrement inférieures pour le reste de l'année. Septembre par contre montre des valeurs supérieures à la moyenne climatologique.

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 responsable de la destruction de la couche d'ozone ont fortement augmenté. A partir des années 2000, on observe une stabilisation de la colonne d'ozone au-dessus de la Suisse.

Figure 2.9
Evolution annuelle de la colonne totale d'ozone mesurée à Davos en 2022. 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. Le 80% des variations autour de la courbe moyenne à long terme (1926–1970) se situent dans la bande bleue.



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 2022 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 niveaux 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 2022 n'ont pas présenté d'événements particuliers. Néanmoins, on constate que le mois de juin présente des valeurs d'ozone inférieures à la moyenne climatologique en dessous de 20 km alors que les valeurs d'ozone supérieures à la moyenne du mois de septembre 2022 se situent surtout vers 25 km.

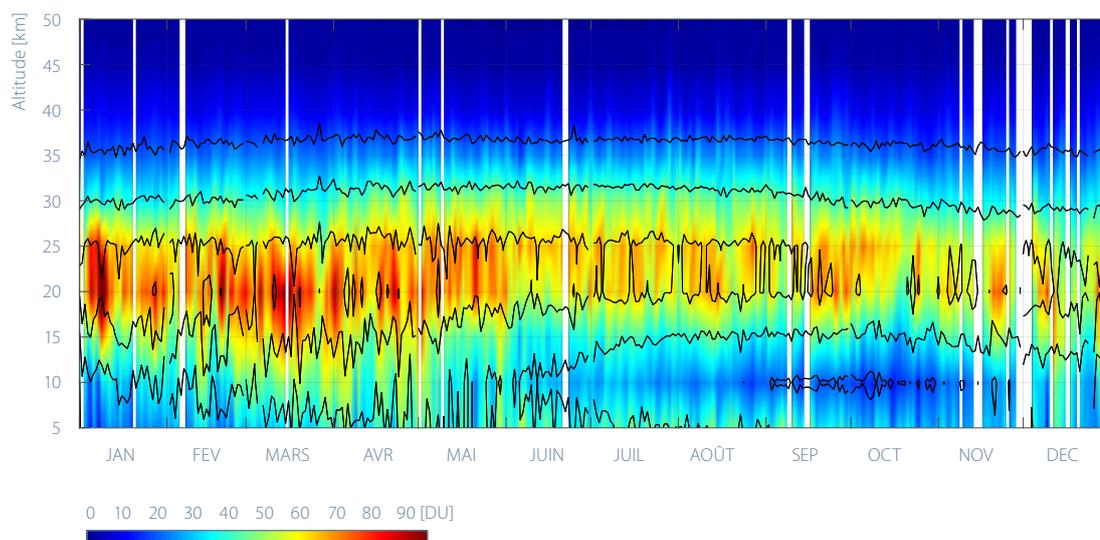
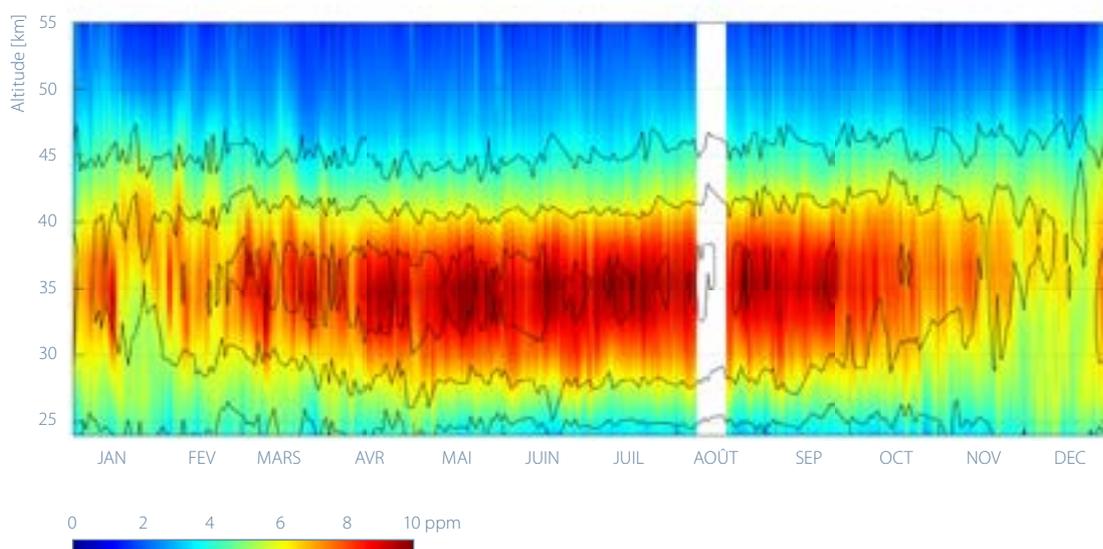


Figure 2.10
Les profils d'ozone mesurés par un spectrophotomètre Dobson à Davos en 2022.
Le graphique montre la concentration d'ozone en Dobson Units (DU) (échelle de droite entre 0 et 90 DU). 100 DU = 1mm d'ozone pur à 1013 hPa et 0°C.

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 de 1h. La variation annuelle d'ozone en ppm pour 2022 est représentée en couleur dans le graphique suivant Figure 2.11 et la variation annuelle pour 2021 est représentée en noir (courbes de niveaux 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 2022. 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 2022 pour quatre niveaux d'altitude distincts:

- 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.
- 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.

- 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, 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.

- 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).

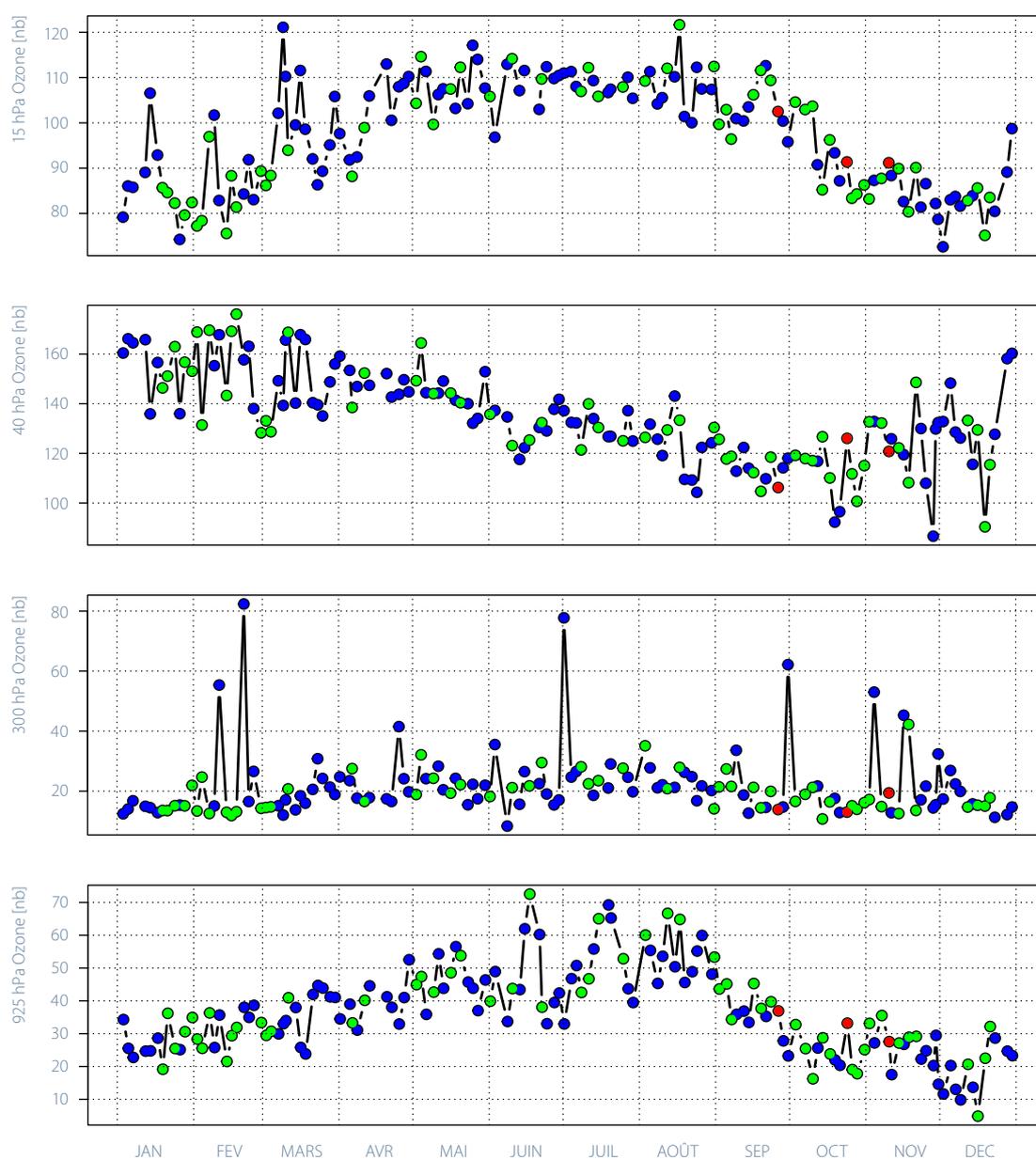


Figure 2.12
Evolution de la concentration d'ozone (pression partielle en nanobars) en 2022 pour deux niveaux dans la troposphère (niveaux 925 hPa ~800 m et 300 hPa ~9000 m) et deux niveaux dans la stratosphère (niveau 40 hPa ~22'000 m et 15 hPa ~28'000 m). Les couleurs correspondent à un critère de qualité 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].

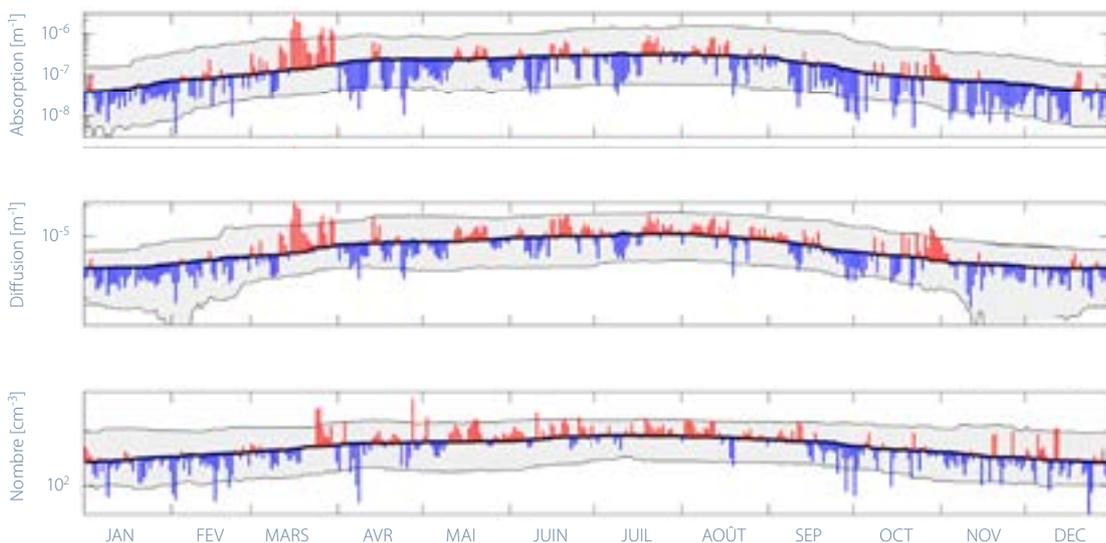
L'évolution annuelle des paramètres des aérosols au Jungfraujoch fait apparaître des valeurs maximales l'été et des valeurs minimales l'hiver. Les aérosols générés par des processus naturels et anthropogéniques s'accumulent principalement dans la couche la plus basse de l'atmosphère, la limite planétaire, 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 2022, il y a eu un afflux très important de poussières minérales en provenance du Sahara pendant tout le mois de mars, ainsi qu'en juin et en octobre. La forte charge en poussières minérales peut être démontrée par les valeurs mesurées des coefficients d'absorption et de diffusion au-dessus de la valeur de référence 1995–2021 pour ces mois. Plus ces valeurs sont élevées, plus la lumière du soleil est diffusée ou absorbée par les aérosols.

Figure 2.13
**Evolution en 2022
 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 1995–2021,
 et les courbes grises aux
 5^e et 95^e percentiles.**



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 m 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 17 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 incursions 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.

Entre 2016 et 2018, les anciens instruments ont dû être remplacés et la sensibilité de la détection des SDE en a été modifiée. La climatologie actuelle ne prend donc en compte que les dernières années depuis 2015 avec des sensibilités comparables. Les incursions de poussières du Sahara ont été particulièrement nombreuses et intenses pendant les mois de mars, juin et octobre 2022. L'incursion des 15–18 mars 2022 a été très intense avec une concentration journalière de PM_{2.5}¹ au Jungfraujoch de 112 µg/m³. Une coloration jaune du ciel provoquée par la forte concentration de particules minérales dans toute la colonne atmosphérique a été facilement observable dans toute la Suisse. Les concentrations en plaine ont cependant été nettement moins élevées qu'en haute altitude.

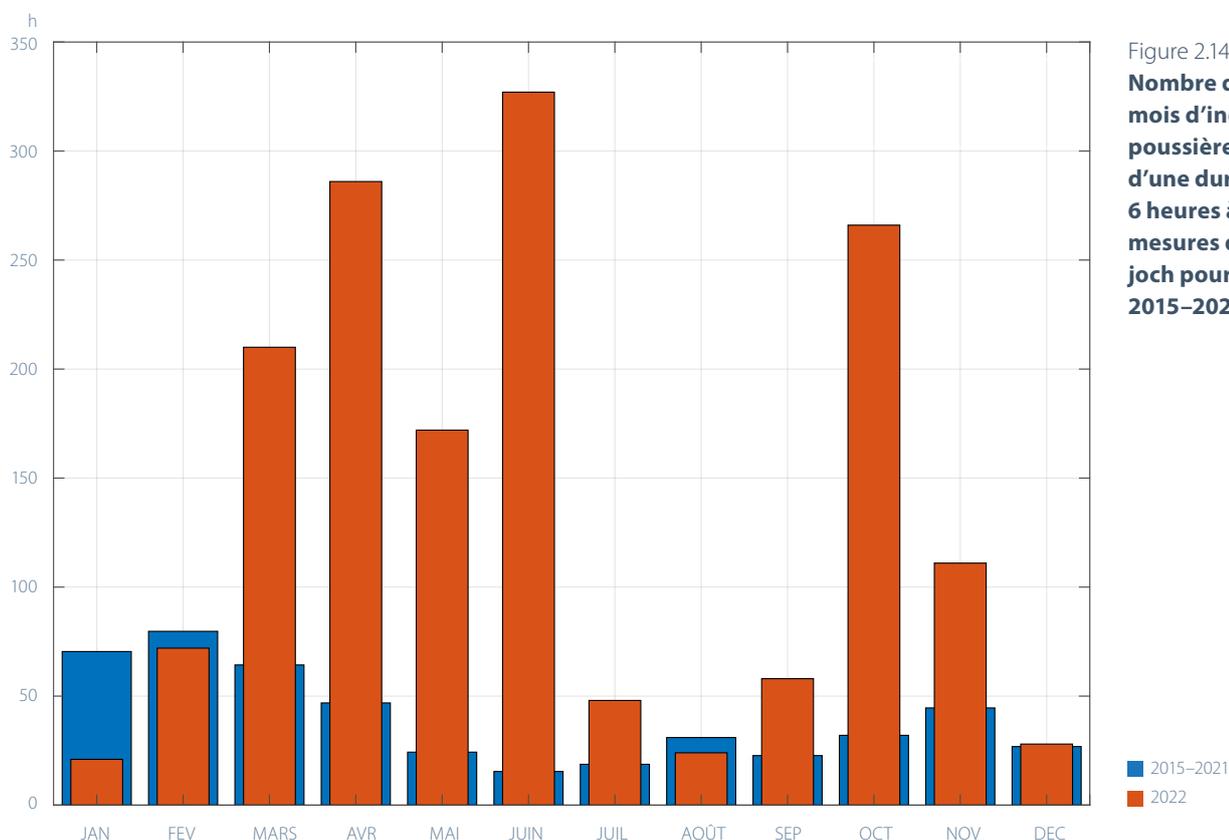


Figure 2.14
Nombre d'heures par mois d'incursions de poussières minérales d'une durée d'au moins 6 heures à la station de mesures du Jungfraujoch pour la période 2015–2021 et pour 2022.

¹ PM_{2.5} : Particules d'aérosol (particulate matter) d'un diamètre inférieur à 2,5 micromètres.

Développement de la végétation

L'année phénologique 2022 a commencé début janvier avec un démarrage très précoce de la floraison des noisetiers. L'avance printanière a été d'environ une semaine pour la floraison des arbres fruitiers et des pissenlits. Le déploiement des feuilles a été en avance de 3 à 5 jours, à l'exception du hêtre qui a déployé ses feuilles assez exactement dans la moyenne pluriannuelle. A partir de mai, le développement des plantes s'est accéléré en raison des températures élevées. La floraison des tilleuls et du sureau noir a été prématurée de plus d'une semaine. La maturité des fruits du sureau rouge en juillet a été la plus précoce depuis le début des observations en 1996, celle du sureau noir en août la deuxième plus précoce, avec une avance de près de deux semaines sur la moyenne. Les vendanges ont également été les plus précoces du réseau d'observation phénologique. La coloration automnale des feuilles s'est produite à une date normale. Les mélèzes, en particulier, ont profité de la chaleur du mois d'octobre pour se colorer quelques jours plus tard que la moyenne.

L'année en cours est comparée à la période 1991–2020. Les données de cette période sont divisées en classes. En moyenne, 50% de tous les cas sont classés comme normaux, 15% comme étant précoces ou tardifs et les 10% les plus extrêmes comme étant très précoces ou très tardifs. Les écarts en jours par rapport à la moyenne de la période de comparaison sont donnés pour la médiane de toutes les stations en 2022. 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 1951–1952.

Printemps

Les premières stations du réseau d'observations phénologiques ont signalé le début de la floraison des noisetiers au Tessin et au Nord des Alpes dès le début du mois de janvier. Le réseau de mesure du pollen a confirmé cette floraison très précoce des noisetiers. A Lugano, le pollen de noisetier a été mesuré dès la mi-décembre et la concentration de pollen a été forte à très forte à partir du 31 décembre. Au Tessin, les noisetiers ont pleinement fleuri dès janvier, alors qu'au Nord des Alpes, la température a été un peu trop basse en janvier et ils n'ont fleuri de manière généralisée qu'à partir de la fin janvier, lorsque la température est montée à environ 5–8°C. Au Tessin, la floraison du noisetier a eu lieu 3 semaines plus tôt que la moyenne de la période 1991–2020. Sur l'ensemble des stations d'observations de Suisse, l'avance de la floraison du noisetier a été de 12 jours. Près de la moitié des observations ont pu être classées dans les catégories «précoce» et «très précoce».

A partir du 20 février, la floraison du tussilage (ou pas-d'âne) a été observée et, à partir de la fin février, celle des premières anémones des bois. En moyenne, dans toutes les stations, le tussilage a fleuri le 16 mars (5 jours plus tôt que la moyenne) et l'anémone des bois le 25 mars (10 jours plus tôt que la moyenne).

Les cerisiers ont fleuri à partir du 21 mars dans le nord-ouest de la Suisse et vers la fin mars au Tessin et dans les régions de basse altitude du Plateau. La floraison des cerisiers s'est déplacée vers des régions plus élevées avec un retard de 3,4 jours par 100 mètres d'altitude, ce qui correspond exactement à la moyenne. Les premières fleurs de poiriers se sont ouvertes fin mars. La floraison complète des poiriers n'a toutefois eu lieu qu'après l'arrivée tardive de l'hiver et de la neige du 1^{er} au 3 avril. Les chutes de neige n'ont guère endommagé la floraison des arbres fruitiers. Même après la nuit de gel du 4 avril, avec des températures inférieures à -2°C, les dégâts aux arbres fruitiers sont restés limités, notamment parce que des bougies contre le gel ont été utilisées en de nombreux endroits. La floraison des pommiers a commencé à partir du 10 avril, à peu près en même temps au Tessin et au Nord des Alpes. La date moyenne de floraison des arbres fruitiers dans les stations situées en dessous de 600 m a été le 8 avril pour les cerisiers, le 12 avril pour les poiriers et le 19 avril pour les pommiers. Tous ont fleuri environ une semaine plus tôt que la moyenne pluriannuelle. Au-dessus de 1000 m, les cerisiers ont surtout fleuri fin avril et début mai, également une semaine plus tôt que la moyenne.

Quelques jours avant la floraison des cerisiers, le pissenlit (ou la dent-de-lion) et la cardamine des prés ont commencé à fleurir, également une semaine plus tôt que la moyenne. Dès le 20 avril, les deux ont fleuri à plus de 1000 m d'altitude.

Dès la fin mars, les premiers arbres à feuilles caduques ont commencé à verdier, comme les bouleaux, les marronniers et les noisetiers, et les premiers mélèzes ont déployé leurs aiguilles. Les aiguilles des mélèzes se sont déployées à partir de la mi-avril environ au-dessus de 1000 m et vers la mi-mai en Engadine. Le bourgeonnement des feuilles et le déploiement des aiguilles de ces espèces ont été en avance de 3 à 5 jours. A partir de la mi-avril environ, on a pu souvent observer l'apparition des feuilles du tilleul à petites feuilles et du tilleul à larges feuilles, de l'érable et du hêtre. Les feuilles du hêtre se sont déployées exactement à une date moyenne, car la température en avril a été très légèrement inférieure à la moyenne 1991–2020. En moyenne, les feuilles du hêtre se sont déployées le 24 avril en dessous de 600 m, le 30 avril entre 600 et 1000 m et le 7 mai au-dessus de 1000 m.

Les observations classées comme «précoces» ont diminué au cours d'un mois d'avril normal du point de vue thermique et le classement dans la classe «normale» a dominé (Figure 1.1). Le déploiement des aiguilles de l'épicéa a commencé à la mi-avril. En dessous de 600 m, il a eu lieu en moyenne le 1^{er} mai et au-dessus de 1000 m, le 18 mai. Le mois de mai a été le deuxième plus chaud depuis le début des mesures, de sorte que le développement des plantes s'est de nouveau accéléré. Sur le Plateau, le déploiement des aiguilles des épicéas n'a été en avance que de 2 jours, alors qu'au-dessus de 1000 m, l'avance sur la moyenne a accéléré à 6 jours.

Les marguerites ont commencé à fleurir à partir de la dernière décade d'avril. En dessous de 600 m, les marguerites ont eu une avance de 8 jours sur la moyenne, mais au-dessus de 1000 m, elles ont déjà eu 13 jours d'avance. Au-dessus de 1000 m, les marguerites ont fleuri en moyenne le 25 mai. En Engadine, à Lenzerheide et à Davos, les marguerites ont pu être observées très tôt, entre le 24 mai et le 11 juin, avec une avance de 11 à 24 jours sur la moyenne.

Eté

Le temps très chaud s'est poursuivi tout au long de l'été. La température de chaque mois a été la deuxième à la quatrième plus chaude et l'été entier a été le deuxième plus chaud depuis le début des mesures. L'influence sur l'évolution des phases phénologiques de l'été s'est clairement manifestée.

La première période de fenaison a commencé le 9 mai et a duré jusqu'à la fin du mois. Les annonces de fenaison sont arrivées de la plaine jusqu'à 1200 m d'altitude. Après un intermède humide, le foin a de nouveau pu être récolté à partir du 9 juin pendant une longue période, de la plaine jusqu'en montagne. Au total, la récolte de foin a eu une avance de 4 jours sur la moyenne.

Au Tessin, le sureau noir a fleuri à partir de début mai et au Nord des Alpes à partir de mi-mai environ. En plaine, sa période de floraison principale s'est située en mai et, à partir de 900 m environ, en juin. L'avance sur la norme a été de 7 jours dans les régions de basse altitude et de 10 jours dans les régions de plus haute altitude. La vigne a fleuri en moyenne le 3 juin avec une avance de 9 jours. Les premiers tilleuls à larges feuilles et ceux à petites feuilles ont fleuri à partir de la fin mai, avec une floraison principale en juin. En moyenne de toutes les stations, les tilleuls à larges feuilles ont fleuri le 11 juin et les tilleuls à petites feuilles le 18 juin, tous deux avec un peu plus d'une semaine d'avance. Le nombre d'observations dans les classes «précoce» et «très précoce» a de nouveau augmenté pour atteindre 61–68%. La maturité des fruits du sureau rouge (en moyenne de toutes les stations le 1^{er} juillet), du sorbier des oiseleurs (6 août) et du sureau noir (17 août) a été en avance de 8 à 14 jours. La maturité des fruits des deux espèces de sureau est observée depuis 1996. Cette année, la maturité des fruits a été la plus précoce pour le sureau rouge et la deuxième plus précoce pour le sureau noir depuis le début des observations.

En 2022, les vendanges ont été observées dans 38 stations. En moyenne, elles ont eu lieu le 15 septembre, avec une avance de 21 jours sur la moyenne de la période 1991–2020. Les vendanges ont donc eu lieu encore plus tôt que lors des années record précédentes, 2003 et 2018. Il convient toutefois de noter que la date des vendanges dépend fortement du type de raisin observé et qu'une comparaison sur une longue période est entachée d'une grande incertitude.

Automne

Un été caniculaire avec une forte sécheresse comme en 2022 peut entraîner un brunissement très précoce des arbres à feuilles caduques, en particulier sur les sites avec des sols peu profonds. Sur les sites du réseau d'observations phénologiques, on ne dispose que de très rares observations très précoces du jaunissement des feuilles à partir de la mi-septembre. Les tilleuls ont été le plus souvent touchés. Dans plusieurs stations, les marronniers ont même changé de couleur dès le mois d'août. Mais la raison de leur coloration très précoce est due non seulement à la sécheresse, mais aussi et surtout aux attaques parasitaires de la mineuse du marronnier et des champignons. En moyenne, les feuilles du marronnier ont changé de couleur le 4 octobre, avec 5 jours d'avance sur la moyenne. Les sorbiers des oiseleurs se sont colorés à partir de la mi-septembre, à une date normale.

La coloration du feuillage à grande échelle a commencé au cours de la dernière semaine de septembre, surtout dans les régions de plus haute altitude, et à partir de début octobre dans les régions de plus basse altitude. Le plus souvent, les observations ont pu être classées dans la classe «normale» pour tous les arbres à feuilles caduques, de manière particulièrement nette pour le tilleul à petites feuilles avec 55% de toutes les observations et pour le hêtre avec 51%. Pour le hêtre, on constate une tendance à une coloration des feuilles légèrement plus précoce en montagne (2 jours plus tôt que la moyenne) et une apparition légèrement plus tardive en plaine (+3 jours). Ces deux écarts se situent toutefois dans un cadre temporel normal.

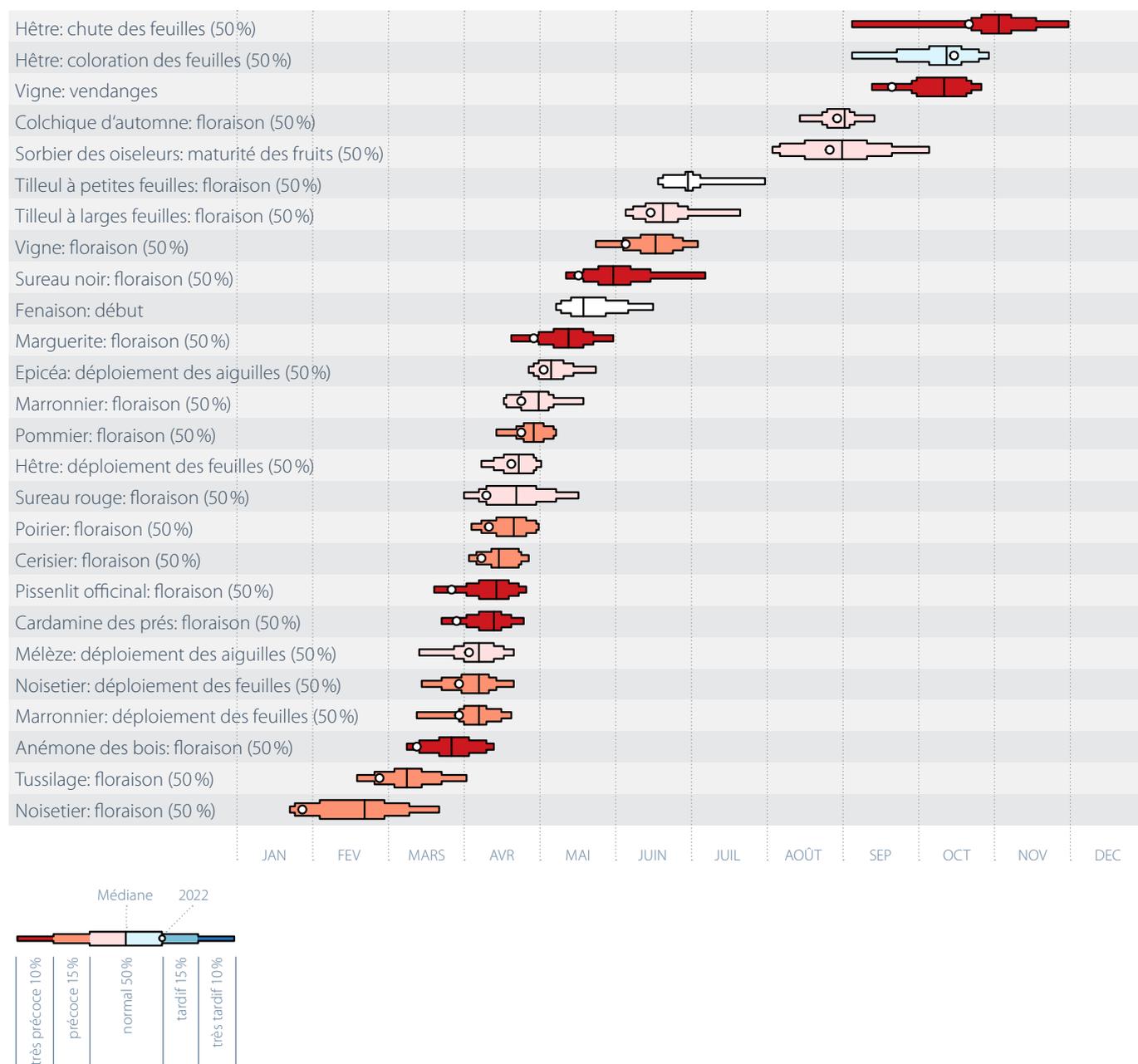
Dans les régions de basse altitude, les arbres ont profité des températures élevées du mois d'octobre, si bien que leurs feuilles ont tardé à se colorer. Cependant, comme chaque année, la dispersion de la coloration des feuilles a été importante, avec des dates très précoces ou au contraire très tardives selon les stations.

La chute des feuilles du hêtre a commencé à partir de la mi-octobre, à une date moyenne pour toutes les stations, la chute des feuilles en montagne étant légèrement plus précoce que la moyenne, tandis qu'en plaine, avec un pic début novembre, elle a eu lieu environ 2 jours plus tard que la moyenne. La chute des feuilles du bouleau, qui a débuté peu avant la mi-octobre, a été en avance de 3 jours à toutes les altitudes.

Le mélèze a été encore plus nettement influencé par la chaleur en octobre lors du jaunissement et de la chute des aiguilles. Dans les cantons des Grisons et du Valais, les mélèzes situés au-dessus de 1500 m ont changé de couleur entre le 5 et le 21 octobre, à une date moyenne. En dessous de cette altitude, les observations tardives et très tardives ont été de plus en plus nombreuses, de sorte que les mélèzes se sont colorés avec un retard moyen de 4 jours. Entre 600 et 1000 m d'altitude, la date moyenne a été le 31 octobre, et en dessous de 600 m, le 4 novembre. La chute des aiguilles du mélèze a été retardée de 6 jours sur l'ensemble des stations, mais là encore, les mélèzes de plaine en particulier ont souvent conservé leurs aiguilles jusqu'en décembre, et la chute des aiguilles a eu lieu environ 8 jours plus tard que la moyenne.

Figure 2.15

Calendrier phénologique 2022 de Rafz. La répartition montre la période de référence 1991–2020. La date de l’année courante est représentée par un carré noir et la période de référence est colorée de très précoce à très tardif en fonction de son ordre chronologique. Si l’observation est manquante en 2022 ou si elle se situe précisément dans la médiane, la période de comparaison reste blanche.



Saison pollinique

L'année pollinique 2022 a commencé très tôt et a été particulièrement intense pendant la floraison des arbres. Les premiers pollens de noisetier ont été mesurés dès la fin décembre au Tessin et début janvier au Nord des Alpes. Le bouleau et le frêne ont commencé à fleurir en mars avec plus d'une semaine d'avance sur la moyenne. Le passage à de fortes concentrations de pollen de graminées début mai a également connu une avance d'une semaine. Les pollens de noisetier, d'aune, de bouleau et de chêne ont été intenses, alors que ceux de frêne et de graminées se sont situés autour de la moyenne. Les pollens d'armoise en Valais et d'ambroisie au Tessin ont été très faibles. La saison pollinique 2022 est comparée ci-dessous à la moyenne sur 30 ans 1991–2020.

Saison du pollen de noisetier et d'aune

La saison pollinique du noisetier a commencé au Tessin dès la fin décembre et au Nord des Alpes pendant les journées douces du début de l'année. C'est environ 20 à 30 jours plus tôt que la moyenne de la période sur 30 ans 1991–2020. Le Tessin a connu un hiver très sec et doux. Dans ces conditions météorologiques, la dispersion du pollen de noisetier n'a pratiquement pas été interrompue et a été forte pendant de très nombreuses journées de fin décembre à mi-février.

Au Nord des Alpes, les températures ont été un peu trop basses en janvier, de sorte que les noisetiers n'ont généralement pas fleuri complètement. Le premier jour avec une forte charge pollinique a été mesuré entre le 30 janvier et le 5 février, avec des températures en hausse, soit 11 jours plus tôt que la moyenne. Au Nord des Alpes, 6 à 16 jours de fortes concentrations de pollen de noisetier ont été enregistrés. Dans la plupart des stations, ces valeurs sont supérieures à la moyenne – à Lucerne, Münsterlingen et Buchs, la saison du pollen de noisetier a même été l'une des plus fortes de la période de comparaison.

Les aunes, qui ont fleuri en même temps, ont également libéré beaucoup de pollen. Pour l'aune, c'est surtout l'intégrale pollinique annuelle (la somme des concentrations journalières de pollen) qui a été élevée. Au Nord des Alpes, elle a été la plus forte à la cinquième plus forte de la période de comparaison selon les stations de mesures. Cela s'explique par le fait que des concentrations de pollen particulièrement élevées ont été mesurées pendant deux jours en février.

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.

www.meteosuisse.admin.ch/services-et-publications/applications/ext/climate-pollen.html



Saison du pollen de frêne et de bouleau

Au printemps, les concentrations de pollen ont été fortes pendant de nombreux jours, car les arbres ont de nouveau produit plus de fleurs et donc de pollen cette année. Pour le bouleau, 16 à 29 jours avec fortes concentrations de pollen (jours avec plus de 70 grains de pollen/m³) ont été mesurés sur le Plateau et même 35 à 36 jours au Tessin. Sur le Plateau, cela représente jusqu'à 13 jours de plus que la moyenne et jusqu'à 16 jours de plus au Tessin. A Buchs, Lucerne et au Tessin, ce chiffre est l'un des plus élevés de la période de comparaison 1991–2020. Le pollen a surtout été très abondant pendant la longue période sèche de la mi-avril. A Davos aussi, la saison du pollen de bouleau a été très forte par rapport à la moyenne: 7 jours avec de fortes concentrations de pollen ont été mesurés et l'indice pollinique annuel a été le plus élevé jamais enregistré. La saison du pollen de bouleau a commencé dans toute la Suisse du 23 au 28 mars. Les valeurs ont très rapidement augmenté pour atteindre des niveaux forts. La saison du pollen de bouleau a ainsi commencé environ 8 jours plus tôt que la moyenne sur le Plateau et 4 jours plus tôt au Tessin. En raison de ce début très précoce de la saison du pollen de bouleau, la période entre le premier et le dernier jour avec de fortes concentrations de pollen a duré 28 à 35 jours, soit presque une semaine de plus que la moyenne.

Le pollen de frêne n'a pas été aussi abondant. Au Nord des Alpes, 5 à 12 jours avec de fortes concentrations de pollen de frêne ont été mesurés, ce qui se situe autour de moyenne. La saison pollinique du frêne a commencé au Tessin fin février ou début mars, soit 12 à 14 jours plus tôt que la moyenne de la période 1991–2020. A Locarno, il s'agit du troisième début de saison pollinique du frêne le plus précoce. Au Nord des Alpes, le pollen de frêne a été présent dans l'air à partir de la mi-mars environ, soit un peu plus d'une semaine plus tôt que la moyenne.

La floraison des chênes a également été importante cette année. Dans la plupart des stations, les concentrations de pollen ont été parmi les cinq plus fortes de la période de référence. Le pollen de chêne a été présent dès le début du mois d'avril au Tessin et vers la mi-avril au Nord des Alpes, soit environ une semaine plus tôt que la normale. Pour le charme et le hêtre, seules des concentrations faibles à modérées de pollen ont été mesurées. Il est probable qu'ils fleuriront à nouveau plus fortement l'année prochaine.

Saison du pollen de graminées

Comme souvent ces dernières années, le pollen de graminées a été régulièrement présent dans l'air dès la mi-avril, même si les concentrations ont été faibles au Nord des Alpes et modérées au Tessin. A Locarno, de faibles concentrations de pollen de graminées ont été mesurées régulièrement dès le mois de mars, environ un mois plus tôt que la moyenne. Le passage à de fortes concentrations de pollen a été enregistré à partir de fin avril au Tessin et du 8 mai au Nord des Alpes, une demi-semaine à une semaine plus tôt que la moyenne.

Mai et juin ont été chacun les deuxièmes mois les plus chauds depuis le début des mesures en 1864 et ont été dans l'ensemble très ensoleillés. De plus, le mois de mai a été très sec dans toutes les régions. Dans de telles conditions, les graminées ont pu fleurir rapidement. La concentration de pollen a augmenté vers le 8–11 mai pour atteindre des concentrations très fortes, une petite semaine plus tôt que la moyenne. C'est surtout en mai que les concentrations de pollen ont été intenses, avec entre 6 et 21 jours de concentrations très fortes au Nord des Alpes, selon les stations, soit un peu plus que la moyenne. Les concentrations de pollen ont été généralement plus élevées en Suisse alémanique que dans les stations de mesures de Suisse romande et du Valais. Au Tessin, les concentrations de pollen de graminées ont été fortes de fin avril à fin mai. Des concentrations élevées de pollen de graminées ont été mesurées pendant 14 à 16 jours. Il n'y a eu que 1 à 2 journées avec de très fortes concentrations de pollen de graminées au Tessin. En Suisse romande et à Bâle, la période avec de fortes concentrations de pollen de graminées s'est déjà terminée entre le 16 et le 21 juin. C'est la première fois que cela se termine aussi tôt depuis le début des mesures. La sécheresse a joué un rôle dans ce cas, car, comme lors de l'été caniculaire de 2003, la floraison des graminées s'était terminée très tôt.

En juillet, seules quelques journées avec de fortes concentrations de pollen de graminées ont été mesurées en Suisse alémanique, à l'exception des stations de Buchs (SG) et Lucerne, où des journées avec de fortes concentrations de pollen de graminées ont été régulièrement enregistrées jusqu'au 25 juillet. La saison des pollens de graminées s'est terminée à une date moyenne dans ces stations.

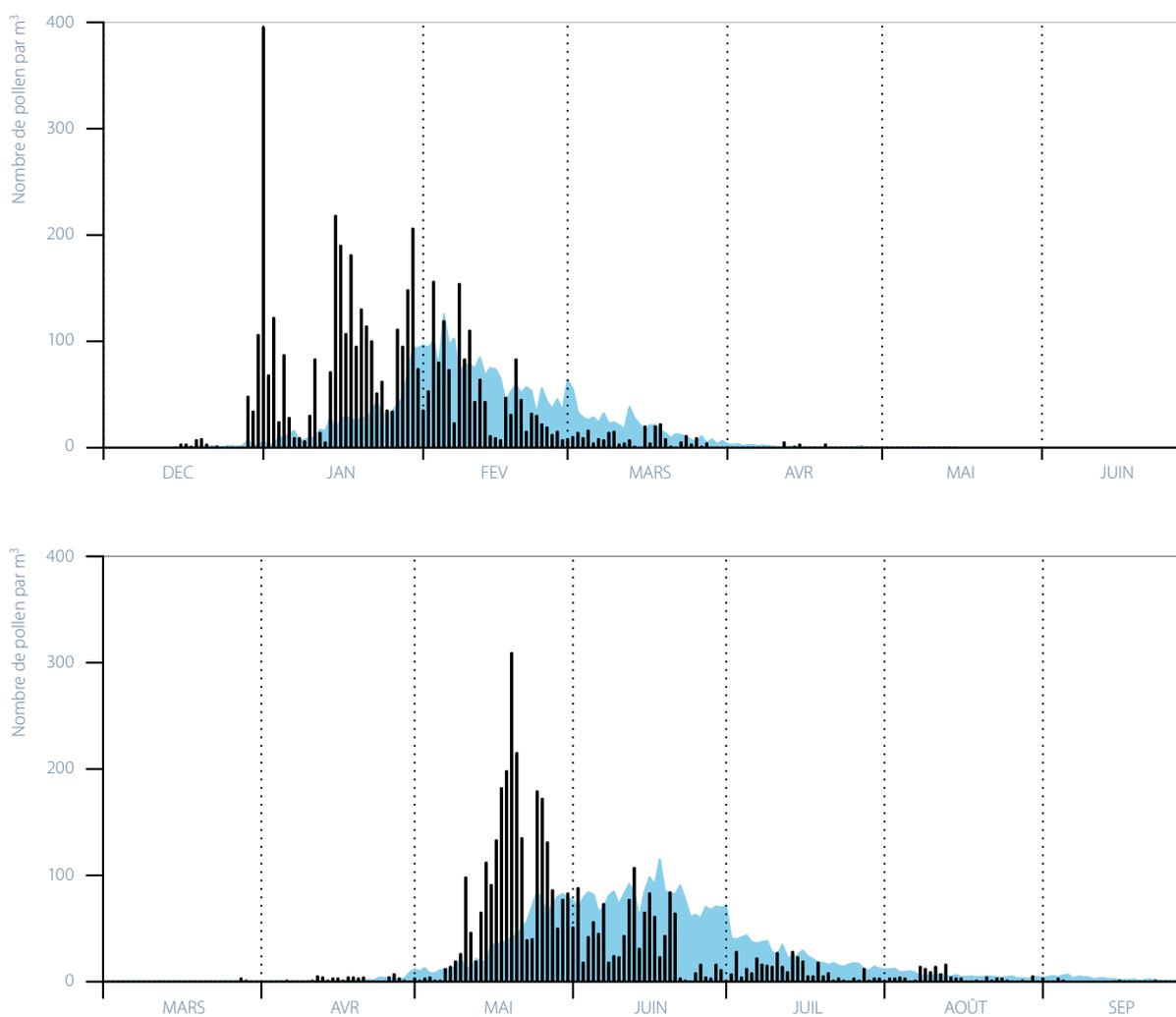
Saison du pollen d'armoise et d'ambrosie

En Suisse, le pollen d'armoise est surtout important en Valais. A Viège, l'indice pollinique annuel a été l'un des plus bas de la période de référence 1991–2020. 13 journées avec de concentrations fortes ont été mesurées entre le 28 juillet et le 31 août, soit 12 jours de moins que la moyenne de la période de référence. Dans toutes les autres stations de mesures, des concentrations faibles ou tout au plus modérées ont été mesurées la plupart du temps. Les concentrations de pollen d'armoise ont été nettement plus faibles que la normale en Suisse romande et au Tessin. A Lugano, ce n'est que le 22 septembre qu'a été enregistrée la première journée avec des concentrations moyennes de pollen. C'est l'armoise Verlot, une espèce invasive particulièrement fréquente dans le sud et l'ouest de la Suisse, qui fleurit si tard dans l'année.

Au Tessin, le pollen d'ambrosie a été très faible. L'intégrale annuelle du pollen a été la plus basse à Lugano et la troisième plus basse à Locarno de la période de comparaison sur 30 ans 1991–2020. A Lugano, seuls 2 jours avec des concentrations fortes de pollen d'ambrosie ont été mesurés (en moyenne 10 jours), alors qu'à Locarno il n'y a pas eu un seul jour avec de fortes concentrations de pollen d'ambrosie (en moyenne 5 jours). Depuis 2013, les concentrations de pollen ont fortement diminué dans le nord de l'Italie et au Tessin en raison de l'invasion de la chrysomèle de l'ambrosie. A Genève et dans la station complémentaire de Meyrin, les concentrations de pollen ont été proches de la moyenne. Cinq, respectivement huit jours avec de fortes concentrations de pollen ont été enregistrés. La plupart des pollens d'ambrosie ont été mesurés en fin d'après-midi et en soirée. Cela montre qu'il s'agit de pollen transporté depuis la France, car les plantes d'ambrosie libèrent du pollen dans l'air le matin.

Figure 2.16

Evolution de la saison pollinique 2022 du noisetier à Lugano (en haut) et de la saison pollinique 2022 des graminées à Neuchâtel (en bas) par rapport à la moyenne sur 30 ans 1991–2020 (surface bleue). A Lugano, de fortes concentrations de pollen de noisetier ont été mesurées dès la fin décembre, presque 4 semaines plus tôt que la moyenne. Les concentrations de pollen de noisetier ont été plus intenses et la saison a duré plus longtemps que la moyenne. A Neuchâtel, la période avec de fortes concentrations de pollen de graminées s’est terminée le 21 juin déjà, soit 20 jours plus tôt que la moyenne. Les axes des concentrations polliniques ont été limités à 400 pollens/m³, afin que les valeurs basses, qui sont importantes pour les allergies, soient également visibles.





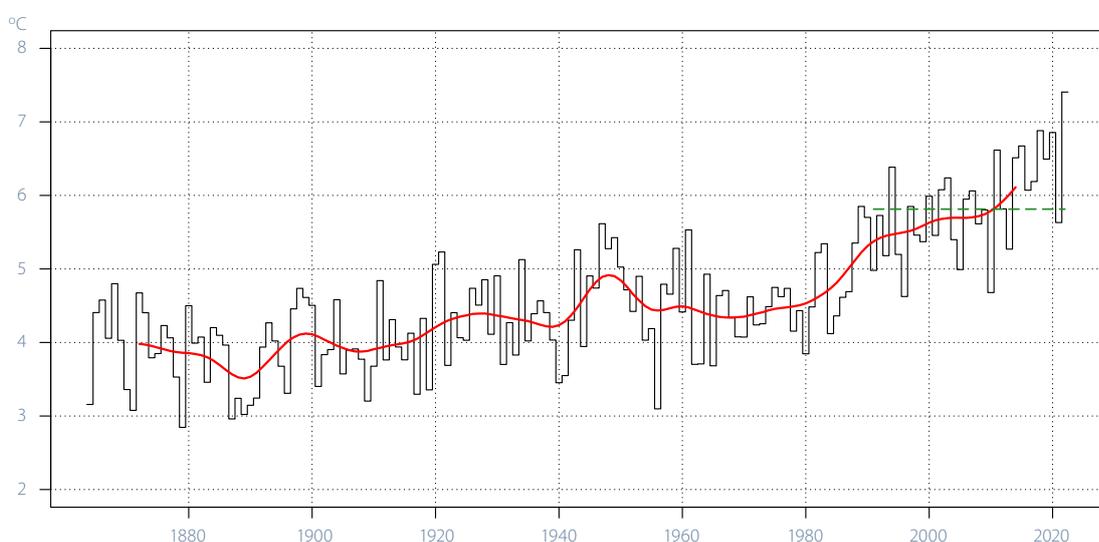


3 | Particularités de l'année 2022

3.1 Année 2022 record

Avec 7,4°C, la température annuelle en 2022 a atteint la valeur la plus élevée depuis le début des mesures en 1864. L'année 2022 se distingue ainsi nettement de toutes les autres années depuis le début des mesures en 1864. C'est la première fois que le seuil de 7°C est dépassé. Il y a près de 30 ans, une année avait pour la première fois dépassé les 6°C en moyenne nationale. Elle se distinguait alors aussi nettement des années précédentes depuis le début des mesures en 1864.

Figure 3.1
Température annuelle moyenne (de janvier à décembre) sur l'ensemble du pays depuis le début des mesures en 1864. L'année 2022 a atteint 7,4°C. La ligne verte discontinue indique la norme 1991–2020 (5,8°C), la ligne rouge la moyenne glissante sur 20 ans.



Nouvelle dimension de la température

Pendant la période de référence 1991–2020, la température annuelle moyenne en Suisse a été de 5,8°C. Auparavant, une température annuelle de 5,8°C représentait quelque chose de tout à fait exceptionnel. Au cours de la longue période de mesure de 1864–1988, même les années les plus extrêmes n'avaient jamais atteint cette valeur. Aujourd'hui, ce qui n'était pas atteint auparavant est devenu la normale.

Parallèlement, les années vraiment fraîches ont disparu du climat actuel de la Suisse. Au cours des 30 dernières années, la température annuelle à l'échelle du pays n'est même plus descendue jusqu'aux valeurs de la norme antérieure 1961–1990, même pendant les années les plus fraîches.

De la période préindustrielle 1871–1900 à la période trentenaire la plus récente 1993–2022, la température annuelle a augmenté de 2°C en moyenne sur l'ensemble de la Suisse. La dernière décennie (2013–2022) est même supérieure de 2,5°C à la moyenne préindustrielle. La nette augmentation de la température normale et la disparition des années vraiment fraîches sont des signaux impressionnants du changement climatique provoqué par l'homme.

Une chaleur continue en 2022

Dix mois de l'année 2022 ont connu des températures supérieures à la moyenne, dont 5 mois de manière très nette. La Suisse a enregistré le mois d'octobre le plus chaud, les deuxièmes mois de mai et de juin les plus chauds, le troisième mois d'août le plus chaud et le quatrième mois de juillet le plus chaud depuis le début des mesures en 1864. Le semestre d'été 2022, d'avril à septembre, s'est classé troisième et l'année civile a été la plus chaude.

2022: Écart à la norme 1991–2020 de la température en °C

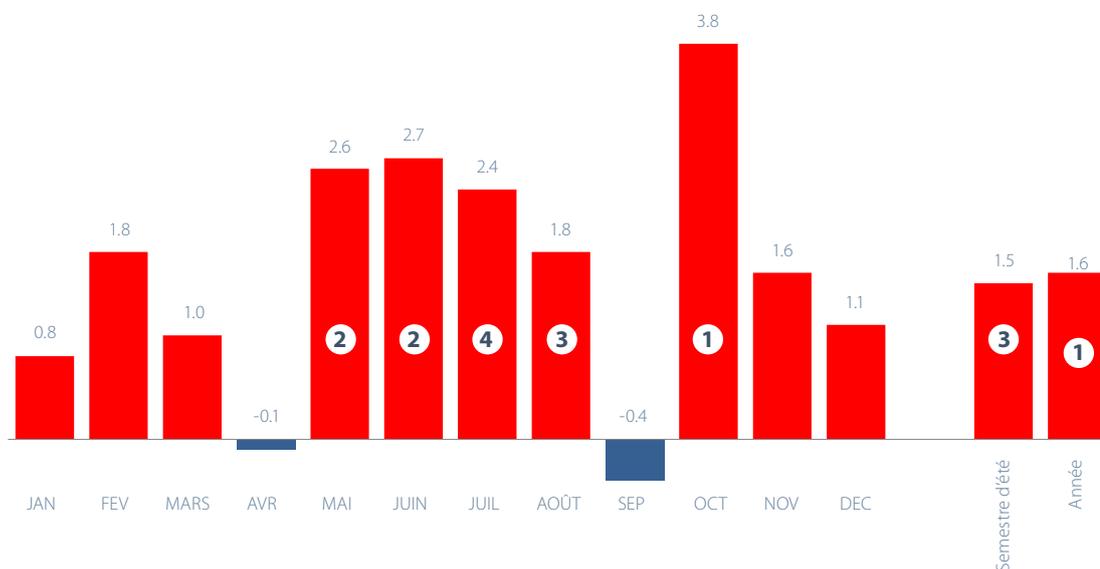


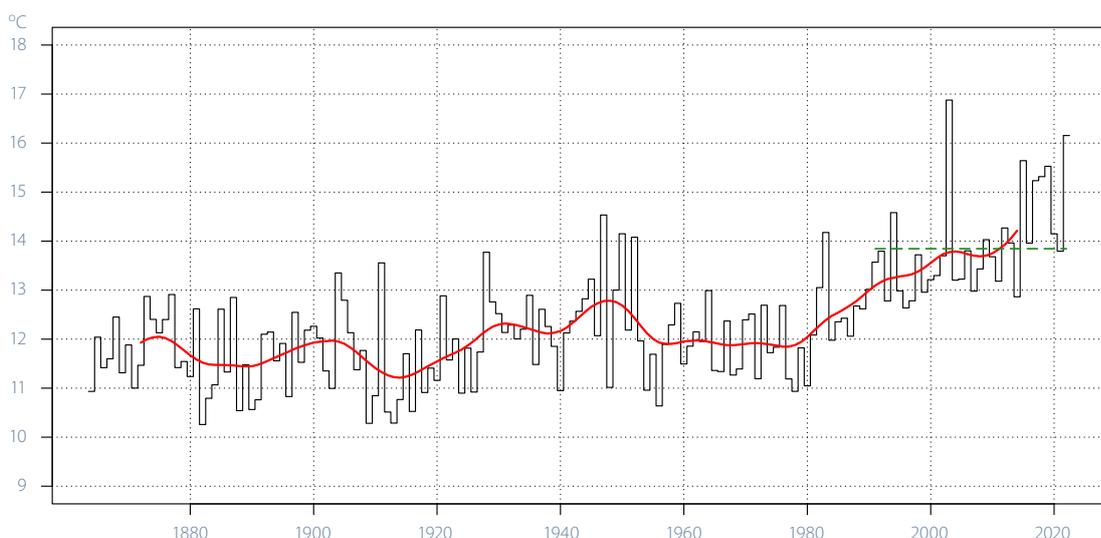
Figure 3.2

Aperçu de l'année 2022: Température moyenne (°C) à l'échelle nationale pour chaque mois, du semestre d'été d'avril à septembre et de l'année civile janvier-décembre en tant qu'écart par rapport à la norme 1991–2020. Les classements entre 1 et 5 sont indiqués par des chiffres encadrés (1 = octobre le plus chaud depuis le début des mesures en 1864).

Été très chaud

La Suisse a enregistré le deuxième été le plus chaud depuis le début des mesures en 1864. En moyenne nationale, la température estivale a dépassé de 2,3 °C la norme 1991–2020. Seul l'historique été caniculaire 2003 s'est avéré encore plus chaud, avec un dépassement de la normale de 3 °C. Ce deuxième rang des températures durant l'été 2022 a été enregistré dans toutes les régions du pays.

Figure 3.3
La température en été (moyenne de juin à août) en Suisse depuis le début des mesures en 1864. La ligne verte discontinue indique la norme 1991–2020 (13,9 °C), la ligne rouge la moyenne glissante sur 20 ans.



Trois périodes de chaleur

La chaleur estivale s'est étendue sur les trois mois d'été. La première vague de chaleur a débuté à la mi-juin. Le nord de la Suisse et les régions de Neuchâtel, Sion et Biasca ont été les plus concernés avec plus de 36 °C. La température la plus élevée a été enregistrée à Beznau (AG), au nord de la Suisse, avec 36,9 °C. Juste derrière, Biasca (TI) a mesuré une température de 36,6 °C.

Neuchâtel a connu la période sur trois jours la plus chaude en juin depuis le début des mesures en 1864, avec un maximum journalier moyen de 34,6 °C. Le précédent record pour un mois de juin a été de 32,9 °C (été caniculaire 1947) et de 32,8 °C (été caniculaire 2003).

La vague de chaleur de la mi-juin a été remarquablement précoce. Les fortes chaleurs sur trois jours mesurées à Neuchâtel aussi tôt dans l'année ne se produisent qu'une fois tous les 25 ans, voire plus rarement. Hormis la précocité, cette vague de chaleur en juin n'a rien eu d'exceptionnel.

Vers la mi-juillet, la Suisse a été touchée par une deuxième vague de chaleur. Le 19 juillet a été la journée la plus chaude de juillet pour une grande partie du Nord des Alpes. Les températures maximales journalières ont atteint 33 à 35 °C en de nombreux endroits au Nord des Alpes et en Valais. Localement, on a même enregistré 36 °C et plus. Au Sud des Alpes, les valeurs les plus élevées ont été comprises entre 33 et 34,5 °C.

La troisième vague de chaleur s'est installée au début du mois d'août. Le Sud des Alpes a déjà ressenti de fortes chaleurs dès les derniers jours de juillet. Les températures maximales journalières ont atteint 35 à 37 °C dans certaines régions. Le 4 août, Genève a mesuré une température de 38,3 °C, soit la valeur la plus élevée mesurée cet été 2022 en Suisse.

Longue période de chaleur

La période de chaleur du mois de juillet, qui a particulièrement touché l'ouest et le sud de la Suisse, n'a pas été unique en termes de températures maximales. Ce qui a rendu cette période de chaleur exceptionnelle, c'est sa durée. Lugano a enregistré un maximum quotidien de 30 °C ou plus pendant 14 jours consécutifs. Lugano a enregistré la période de chaleur sur 14 jours la plus longue depuis le début des mesures en 1864. Lors des étés caniculaires de 2015 et 2003, il y a eu 13 jours consécutifs avec un maximum quotidien de 30 °C ou plus.

De nombreuses journées tropicales

Le mois de mai, déjà extrêmement chaud, a apporté quelques journées tropicales en Suisse. Ainsi, jusqu'à la fin de l'été, le nombre total de journées tropicales a localement atteint des valeurs élevées.

Genève a enregistré 41 jours de forte chaleur, soit la deuxième place depuis le début des mesures en 1864, le record remontant à l'été caniculaire 2003 avec 50 jours tropicaux. Lugano, dont la série de mesures est tout aussi longue, s'est également classée deuxième avec 38 jours de forte chaleur, contre 47 lors de l'été caniculaire 2003. Sion, dont les mesures ont débuté en 1958, a connu 49 jours de forte chaleur. C'est juste en dessous du record de 50 jours tropicaux lors de l'été caniculaire 2003.

A Stabio, dans le Sud du Tessin, le record de 2003 a été battu. Si l'on a compté alors 57 jours de forte chaleur, l'année 2022 en a compté 63. Toutes les autres années depuis le début des mesures en 1981, le nombre de jours tropicaux à Stabio est resté inférieur à 40.

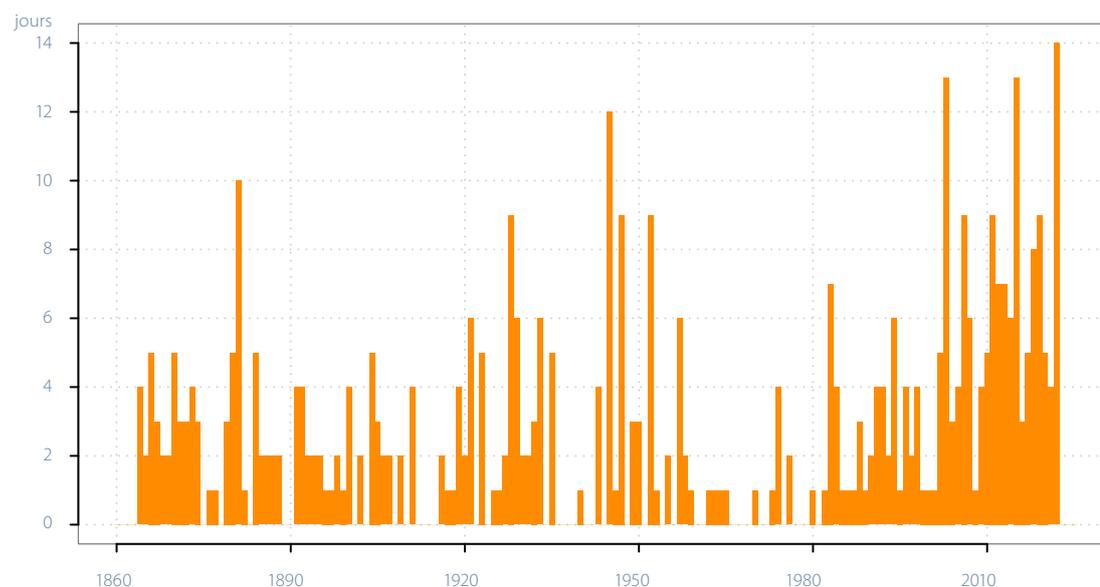


Figure 3.4
Vague de chaleur la plus longue par année avec un maximum quotidien de 30 °C ou plus à Lugano.

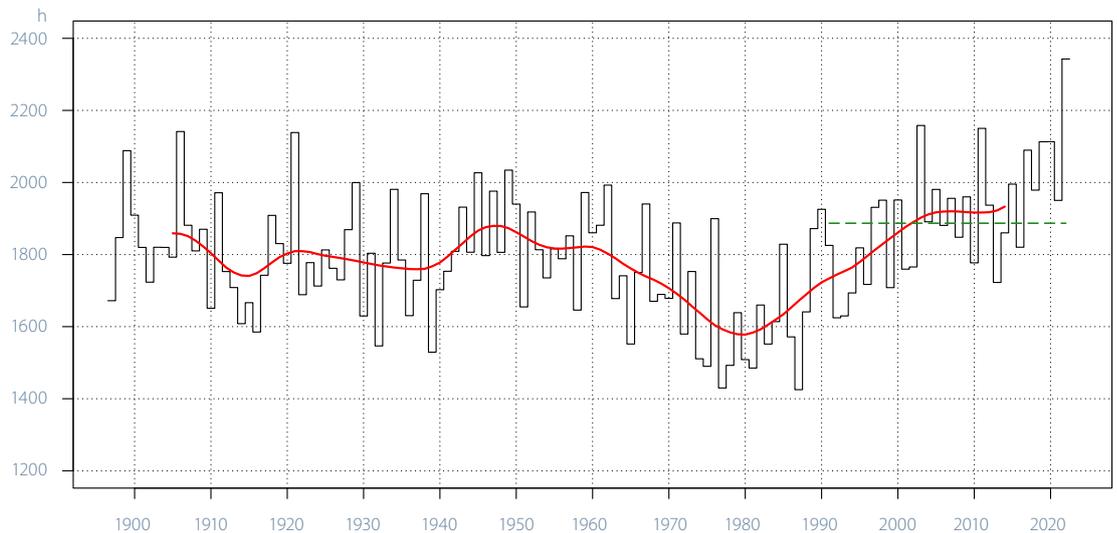
Records d'ensoleillement

En 2022, le temps en Suisse et en France a été dominé par des situations météorologiques anticycloniques plus fréquentes que d'habitude. Elles ont contribué à une année très ensoleillée.

Les sites de Genève, Bâle et Zurich, qui disposent de séries de données homogénéisées sur plus de 120 ans, ont enregistré l'année la plus ensoleillée depuis le début des mesures. A Genève, il y a eu 2343 heures d'ensoleillement, à Bâle 2119 heures et à Zurich 2149 heures. Plusieurs sites avec des séries de mesures homogénéisées à partir de 1961 se sont également classés au premier rang.

Ce qui est frappant surtout à Genève, c'est la grande différence avec le précédent record annuel d'ensoleillement. L'année 2003, qui occupe la deuxième place, a enregistré 2158 heures d'ensoleillement à Genève. La différence de 185 heures d'ensoleillement correspond à environ deux semaines d'été avec un ensoleillement complet.

Figure 3.5
**Durée annuelle
 d'ensoleillement à
 Genève-Cointrin depuis
 le début des mesures
 en 1897. La ligne verte
 discontinue indique
 la norme 1991–2020
 (1887 heures), la ligne
 rouge la moyenne
 glissante sur 20 ans.**

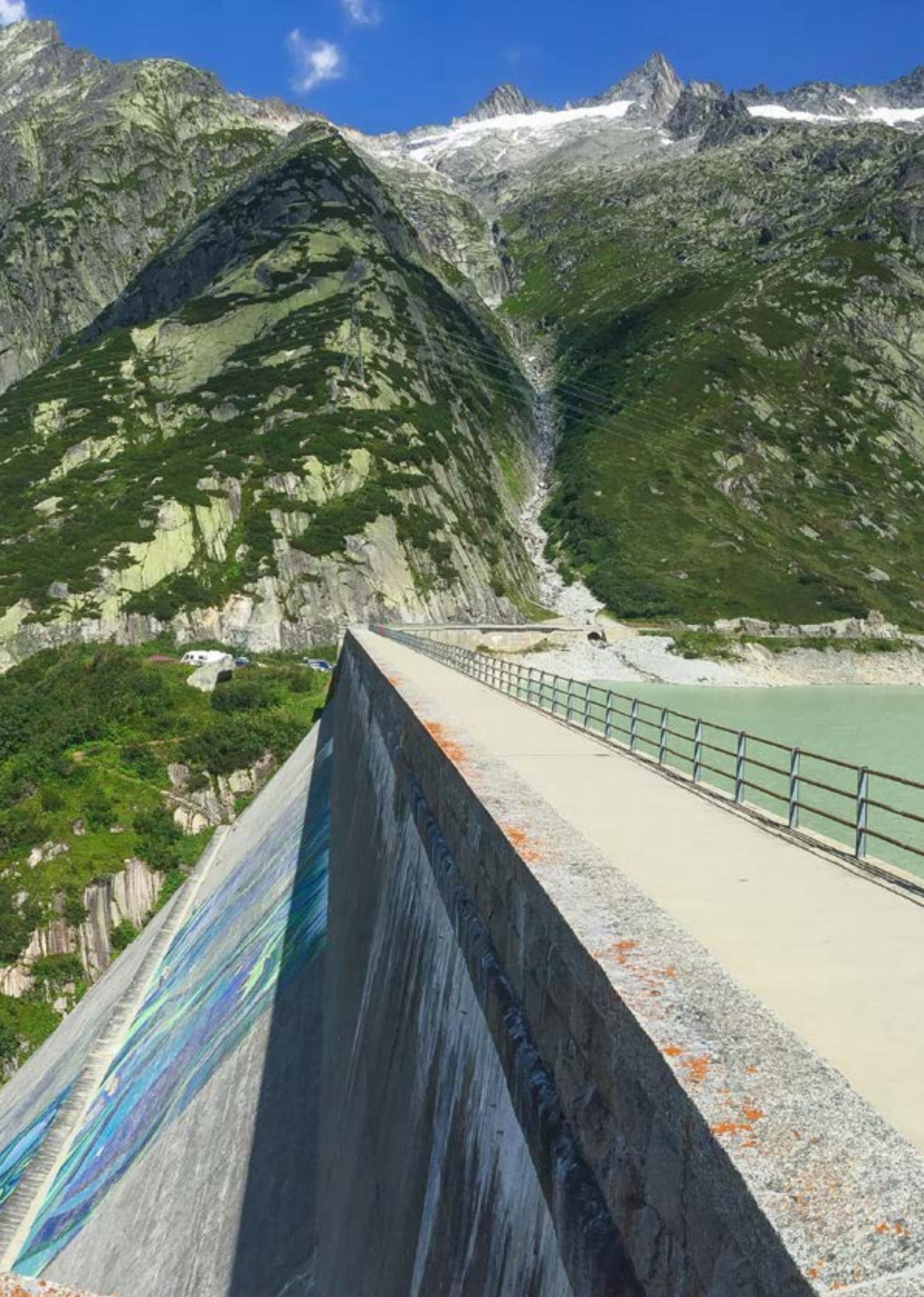


Été régionalement le plus ensoleillé

Avec un ensoleillement de 130 à 150 % de la norme 1991–2020, Genève et Bâle ont enregistré l'été (juin à août) le plus ensoleillé et Zurich le deuxième plus ensoleillé depuis le début des mesures il y a plus de 120 ans. L'ensoleillement estival a également atteint des records sur les sites disposant de séries de mesures homogénéisées sur plus de 60 ans. Lugano, La Chaux-de-Fonds, Neuchâtel et Altdorf ont enregistré l'été le plus ensoleillé, Locarno Monti, Sion, Saint-Gall et Lucerne le deuxième plus ensoleillé. Samedan, Davos et le Säntis ont connu le troisième été le plus ensoleillé.

Par ailleurs, les sites de Genève-Cointrin, La Chaux-de-Fonds, Lugano et Locarno Monti ont enregistré le semestre d'été le plus ensoleillé. A Neuchâtel, il s'agit du semestre d'été le plus ensoleillé avec le semestre d'été 2003. Bâle-Binningen n'a enregistré que deux heures d'ensoleillement de moins durant le semestre d'été 2022 que lors du semestre d'été record en 2018.





4 Climat global et événements météorologiques

Avec un écart de $+0,8^{\circ}\text{C}$ par rapport à la norme 1961–1990, l'année 2022 occupe le sixième rang dans le jeu de données HadCRUT5 depuis le début des mesures en 1850. Des conditions La Niña marquées ont régné toute l'année dans le Pacifique équatorial. Cette région a également été la seule à présenter une température moyenne annuelle inférieure à la moyenne. La chaleur a dominé sur tous les continents, mais surtout en Sibérie, en Europe, en Asie centrale et en Chine. Le résumé ci-dessous se fonde principalement sur la Déclaration annuelle sur l'état du climat mondial de l'Organisation météorologique mondiale (OMM) [5] et sur le rapport climatique global de la National Oceanic and Atmospheric Association (NOAA) [6] ainsi que sur les sources qui y figurent.

4.1 Une année chaude en Europe et en Asie

Selon le jeu de données HadCRUT5 de l'Université anglaise d'East Anglia, la température annuelle moyenne globale de 2022 a présenté un écart de $+0,8^{\circ}\text{C}$ par rapport à la norme 1961–1990 ($+0,26^{\circ}\text{C}$ par rapport à la norme 1991–2020), ce qui la place au sixième rang depuis le début des mesures en 1850 (Figure 4.1). Les huit dernières années depuis 2015 ont été les plus chaudes depuis le début des mesures. 2016 reste à ce jour l'année la plus chaude de la série chronologique globale.

Le nord de la Sibérie a enregistré une chaleur particulièrement élevée. La norme 1961–1990 y a été dépassée de plus de 3°C . En Europe, en Afrique du Nord, dans le Sinaï et dans certaines régions d'Asie centrale et de Chine, un excédent de chaleur de 2 à 3°C a été atteint. Pour l'Asie et l'Europe, il s'agit de la deuxième année la plus chaude depuis le début des mesures.

Les fortes conditions de La Niña tout au long de l'année ont entraîné des températures jusqu'à 1°C en dessous de la norme 1961–1990 sur le Pacifique équatorial. Les températures ont été proches ou légèrement en dessous de la norme en Patagonie, en Australie du Sud et dans certaines parties de l'Asie du Sud-Est.

Le changement total de la température annuelle globale (terre et eau) entre les deux périodes de référence 1850–1900 et 1991–2020 est de $+0,9^{\circ}\text{C}$ selon le jeu de données de l'Université d'East Anglia [7]. Selon le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), la température moyenne mondiale a augmenté d'environ $1,1^{\circ}\text{C}$ depuis le début de l'industrialisation, le réchauffement étant plus important sur les terres ($+1,6^{\circ}\text{C}$) que sur les océans ($+0,9^{\circ}\text{C}$). Il s'agit ici de la différence entre la décennie 2011–2020 et la moyenne préindustrielle. La température moyenne mondiale se situe aux alentours de 15°C . La tendance générale de l'évolution de la température globale à long terme, avec l'accumulation d'années très chaudes ces derniers temps, se retrouve également dans la série des températures pour la Suisse (Figure 5.1).

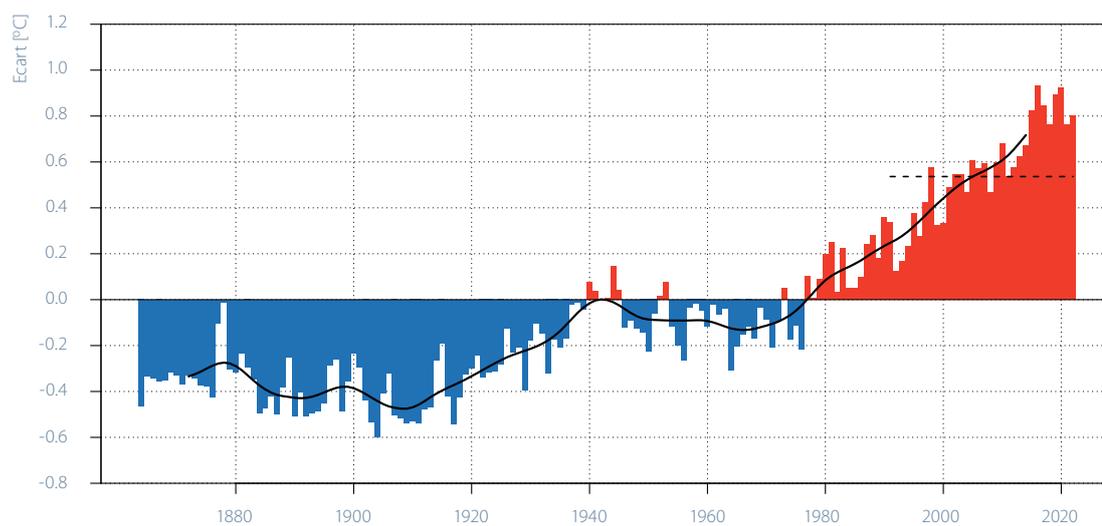


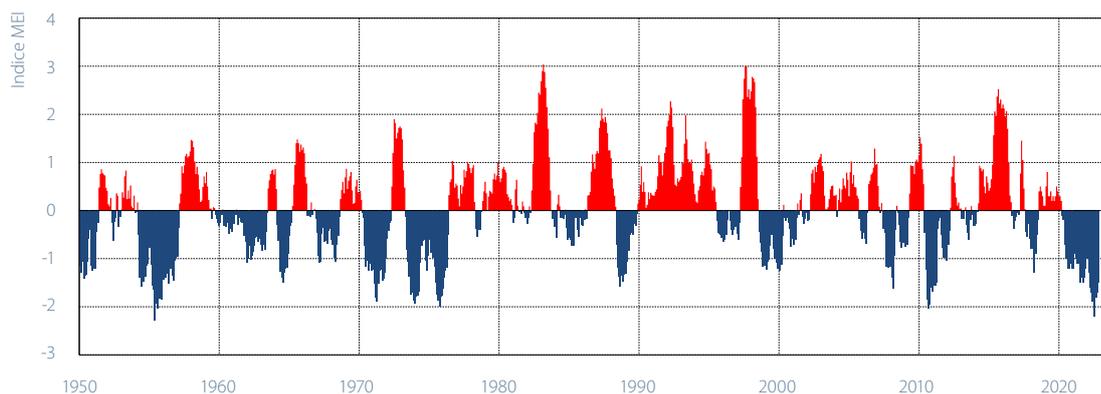
Figure 4.1
Evolution à long terme de la température globale moyenne (terres émergées et océans). Le graphique indique l'écart annuel de la température à la norme 1961–1990 (rouge = écarts positifs, bleu = écarts négatifs). La courbe noire indique la moyenne pondérée sur 20 ans.

Données: University of East Anglia, 2022 [7], HadCRUT5.

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 la phase 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 quatre à sept 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.

Depuis 2017, il n'y a plus eu de phases El Niño particulièrement marquées. Les années 2020–2022 ont toutes été marquées par une forte Niña. On peut donc supposer que le réchauffement global a été quelque peu atténué par la situation dans le Pacifique tropical au cours des six dernières années. Les températures moyennes mondiales élevées des années 2017–2022 n'en sont que plus inquiétantes. En 2016, année du record mondial, El Niño avait également été très actif.

Figure 4.2
**Indice multivarié
 d'El Niño Southern
 Oscillation (MEI) 1950–
 2022. 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 composan-
 tes est-ouest et nord-sud
 du vent de surface, de la
 température de surface
 de la mer, de la tempéra-
 ture de l'air au niveau de
 la mer et de la couverture
 nuageuse. Les mesu-
 res sont effectuées dans
 la partie équatoriale de
 l'océan Pacifique.



Les données sont disponibles sous [8].

Chaleur et sécheresse

L'été 2022 a été exceptionnellement chaud en Europe, en Afrique du Nord et en Chine. Mi-juillet, l'Europe a été touchée par une vague de chaleur intense qui a provoqué une température supérieure à 40°C en Grande-Bretagne pour la première fois, avec 40,3°C le 19 juillet à Coningsby. La chaleur s'est étendue jusqu'à l'extrême nord de l'Europe. Le 21 juillet, 37,2°C ont été enregistrés à Målilla (Suède), la température la plus élevée du pays depuis 1947. Avec la chaleur et la sécheresse généralisée en Europe, des incendies de forêt se sont déclarés en de nombreux endroits, par exemple dans le sud-ouest de la France, au Portugal et même en dehors de Londres en Angleterre.

Les pays méditerranéens d'Afrique du Nord, comme la Tunisie et l'Algérie, ont connu de fortes vagues de chaleur en juin et en août. En Algérie, les incendies de forêt ont de nouveau fait de nombreuses victimes en août, après ceux de 2021. En raison de la sécheresse en Europe, les grands fleuves comme le Rhin, la Loire et le Danube ont eu un débit très faible. Dans certains pays, l'été a été le plus sec depuis le début des relevés.

La vague de chaleur la plus longue depuis le début des relevés a eu lieu en 2022 en Chine. Elle a duré de la mi-juin à la fin août. Elle s'est accompagnée d'une sécheresse très prononcée. Le Yangtsé n'a jamais eu aussi peu d'eau en août.

La sécheresse dans la Corne de l'Afrique s'est encore aggravée en 2022. Au cours des saisons des pluies de mars-mai et d'octobre-décembre 2022, normalement la saison des pluies au Kenya, en Somalie et en Éthiopie, les précipitations ont de nouveau été nettement inférieures à la moyenne, après une situation similaire lors des quatre saisons des pluies précédentes.

Le Chili, l'Argentine et l'Uruguay ont également été touchés par des chaleurs extrêmes en novembre et décembre. A Rivadavia (Argentine), un nouveau record de chaleur pour un mois de décembre a été atteint le 7 décembre, avec 46,0°C.

Froid extrême

En 2022, les extrêmes de froid ont été peu nombreux. A la fin du mois de décembre, l'Amérique du Nord a été frappée par une vague de froid et par l'un des blizzards les plus extrêmes depuis le début des relevés. A Buffalo, 132 cm de neige fraîche sont tombés en l'espace de 26 heures. A Casper (Wyoming), un nouveau record local de température a été établi avec -41,1 °C. En Europe de l'Ouest, ce sont surtout des dégâts agricoles qui ont été à déplorer suite à un mois d'avril froid.

Fortes précipitations et inondations

Selon l'European Severe Storm Laboratory, le 18 août 2022, des grêlons d'une taille allant jusqu'à 11 cm et des vents très forts se sont abattus sur une grande partie du territoire, de Minorque à la Corse, en passant par le nord de l'Italie, la Slovaquie et la République tchèque [35]. Plusieurs morts et blessés ont été à déplorer.

Les précipitations en juillet et en août au Pakistan ont dépassé tous les records nationaux précédents. Au cours de ces deux mois, les précipitations ont été respectivement de 181 % et 243 % supérieures à la normale. Cela a induit de vastes inondations dans les provinces du Sindh et du Baloutchistan, avec des conséquences dévastatrices pour les personnes, les animaux et les infrastructures. L'Inde a également connu des inondations et des glissements de terrain importants pendant la mousson, entraînant des morts et des flux de réfugiés.

La partie sud de l'Afrique a été frappée par plusieurs cyclones tropicaux en l'espace de quelques semaines. Entre janvier et février, pas moins de quatre cyclones tropicaux ont touché terre au-dessus de l'île de Madagascar. Les cyclones tropicaux ont provoqué des inondations sur l'île, mais aussi au Malawi et au Mozambique, avec un nombre considérable de victimes et de personnes déplacées. En avril, la dépression Issa a provoqué des inondations extrêmes dans certaines régions d'Afrique du Sud. Elle a entraîné des précipitations journalières allant jusqu'à 311 mm les 11 et 12 avril. A titre de comparaison, de telles précipitations journalières correspondent à un événement cinquantennal dans la région la plus pluvieuse de Suisse (Tessin).

Dans l'est de l'Australie, des inondations se sont produites à plusieurs reprises au cours de l'année. Les inondations les plus graves ont eu lieu fin février et début mars et ont touché les zones côtières orientales du sud-est du Queensland, du nord de la Nouvelle-Galles du Sud et des environs de Sydney. Les inondations les plus graves ont eu lieu dans la région de Lismore (au sud de Brisbane), où le

niveau de la Wilsons River a dépassé d'environ 2 mètres les précédents niveaux record et où une grande partie du centre-ville a été inondée. A Doon Doon, au nord de Lismore, 758 mm de précipitations ont été mesurés en 24 heures le 28 février. Cela correspond à peu près à la moyenne des précipitations annuelles en Engadine. La région de Sydney a également connu de graves inondations début juillet. Tant la Nouvelle-Galles du Sud que l'Etat de Victoria ont connu le printemps le plus arrosé depuis le début des relevés, le mois d'octobre dans le Victoria étant le plus arrosé depuis le début des relevés. A Sydney, il est tombé 2530 mm de pluie en 2022, ce qui est nettement supérieur au précédent record annuel de 2194 mm.

Le cyclone tropical Ian, un ouragan de catégorie 4, a touché terre en Floride le 28 septembre, après avoir déjà frappé Cuba les jours précédents. Les inondations qui l'ont accompagné ont causé d'énormes dégâts. On a également déploré de nombreux décès en Floride et à Cuba. L'ouragan a atteint une vitesse de vent de 241 km/h en Floride.

Banquise

Les satellites enregistrent le recul de l'étendue de la banquise arctique depuis 1979. Par rapport à la moyenne à long terme (1981–2010), l'étendue maximale annuelle diminue constamment. Elle est enregistrée en mars. En 2022, une surface de 14,59 millions de km² a été couverte de glace à cette date. Cela représente 0,84 million de km² (~5%) de moins que la moyenne à long terme.

Au cours de la période 1979–2022, l'étendue minimale de la banquise arctique a diminué plus rapidement que l'étendue maximale. En 2022, l'étendue minimale, qui est normalement atteinte en septembre, a été de 4,87 millions de km², soit 1,54 million de km² (~24%) de moins que la moyenne à long terme. Néanmoins, la surface minimale de glace dans la région du pôle Nord en 2022 a été plus importante que lors de la décennie précédente, ce qui peut s'expliquer par la fonte modérément importante de la banquise durant l'été 2022.

Le comportement de la banquise dans l'Antarctique est très différent de celui de l'Arctique. Non seulement le minimum et le maximum de l'étendue y apparaissent à des mois différents (minimum en février, maximum en septembre), mais la banquise antarctique présente également une évolution temporelle différente. Au cours des dix dernières années, de nouveaux records d'étendue minimale et maximale ont été enregistrés (2014), ainsi que de nouveaux minimums (surface maximale de la banquise la plus basse en 2017, étendue minimale de la banquise la plus basse en 2022 avec 1,92 million de km² le 25 février 2022).





5 Surveillance du climat

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) [9]. 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.

Tableau 5.1
Variables climatiques essentielles selon le GCOS Second Adequacy Report [10], complétées par les variables s'appliquant spécifiquement à la Suisse. Tiré de [9].

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 uni-

forme 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 [11], [12].

Tableau 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 [13]
Journées d'été (OMM)	Jours de l'année civile affichant une température maximale $T_{\max} \geq 25^{\circ}\text{C}$	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 [13]
Jours de fortes précipitations (OMM)	Jours de l'année civile présentant des précipitations journalières $P \geq 20$ 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 $P < 1$ mm	Période ininterrompue de jours consécutifs sans précipitations (moins de 1 mm de précipitations).
Indice de sécheresse	SPEI (standardized precipitation evapotranspiration index); Ecart 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 qui précède par rapport à la norme.
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 [14], [15], [16], [17], [18].
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

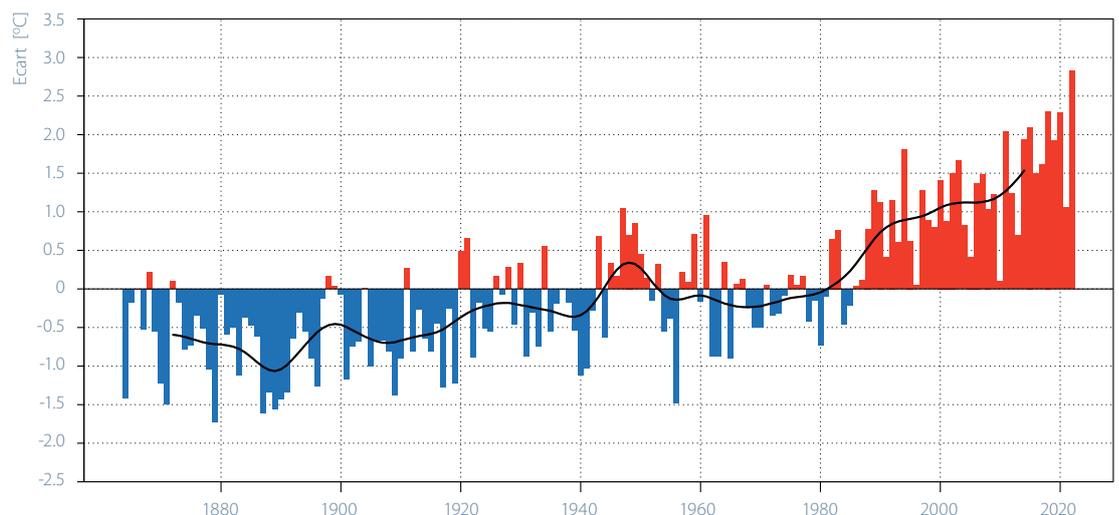
Les indicateurs climatiques de l'OMM utilisés ici (Tableau 5.2) sont représentés essentiellement à titre d'exemple à la lumière des séries de mesures des stations de Berne (zone de plaine du Nord des Alpes), Sion (vallée alpine), Davos (région alpine) et Lugano (Tessin). Ils sont calculés en tant que 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).

Température

En 2022, la température moyenne suisse a atteint un nouveau record absolu de 7,4 °C, soit 2,8 °C de plus que la norme 1961–1990. Toutes les saisons de cette année record ont été nettement plus chaudes que la norme. Seules les températures mensuelles en avril et en septembre se sont avérées légèrement excédentaires en moyenne nationale.

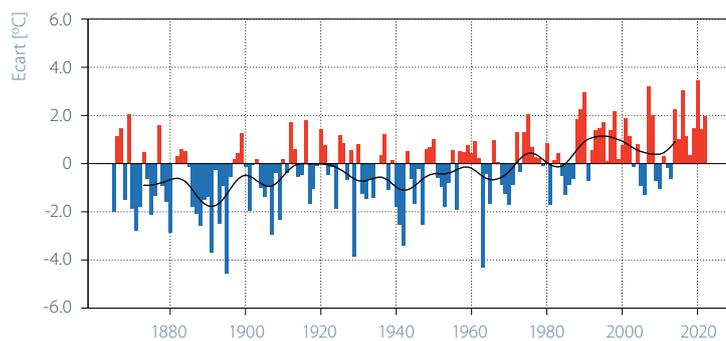
Avec un écart de +2,0 °C par rapport à la norme 1961–1990, l'hiver 2021/22 n'a tout juste pas fait partie des dix plus chauds depuis le début des mesures en 1864. La température moyenne au printemps sur l'ensemble du pays a occupé la quatrième place avec +2,8 °C par rapport à la norme 1961–1990. En été, la Suisse a enregistré un écart de température de +4,0 °C par rapport à la moyenne 1961–1990. Il s'agit du deuxième été le plus chaud depuis le début des mesures, derrière l'été caniculaire record de 2003. L'automne 2022 a également été l'un des plus chauds. Grâce principalement à la chaleur record en octobre, la température moyenne saisonnière a atteint le troisième rang depuis le début des mesures en 1864, avec un écart de +2,3 °C par rapport à la norme 1961–1990.

Figure 5.1
Evolution à long terme de la température annuelle moyenne pour l'ensemble de la Suisse. Le graphique indique l'écart annuel de la température à la norme 1961–1990 (rouge = écarts positifs, bleu = écarts négatifs). La courbe noire indique la moyenne pondérée sur 20 ans.

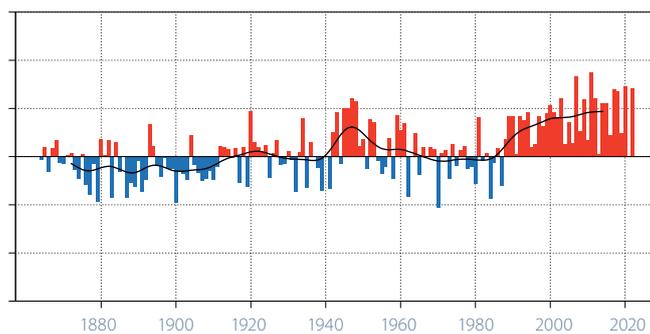


Sur le site internet de MétéoSuisse, vous trouverez des informations complémentaires sur les indicateurs climatiques:
www.meteosuisse.admin.ch/climat/changement-climatique/chaleur-canicule-secheresse-froid-et-neige/indicateurs-climatiques.html

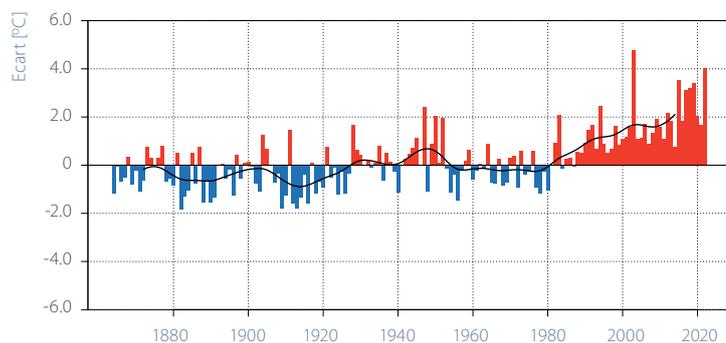
Hiver (DEC, JAN, FEV) 1864/65–2020/22



Printemps (MARS, AVR, MAI) 1864–2022



Eté (JUIN, JUIL, AOÛT) 1864–2022



Automne (SEP, OCT, NOV) 1864–2022

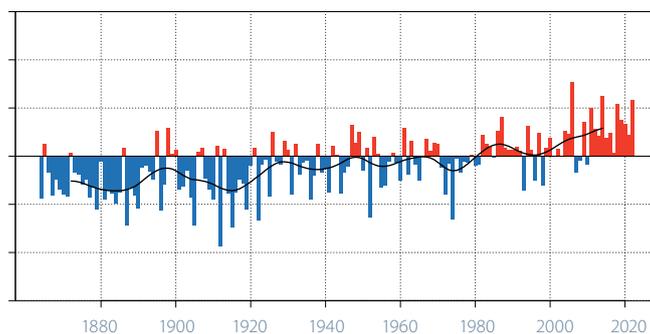
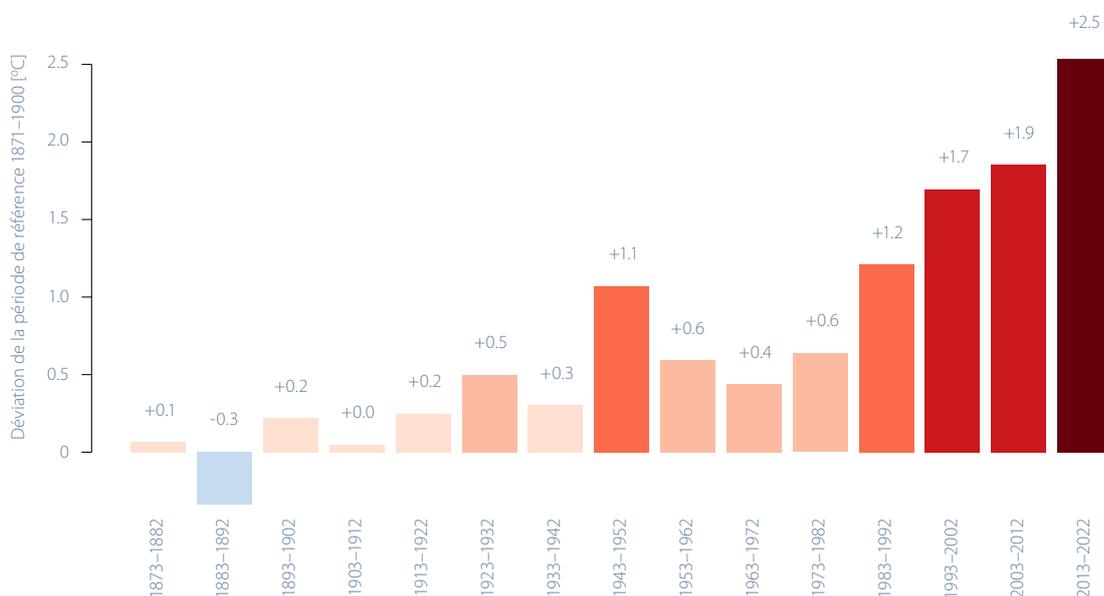


Figure 5.2

Evolution à long terme de la température saisonnière moyenne pour toute la Suisse. Le graphique indique l'écart annuel de la température saisonnière à la norme 1961–1990 (rouge = écarts positifs, bleu = écarts négatifs). La courbe noire indique la moyenne pondérée sur 20 ans.

L'augmentation à long terme des températures en Suisse est claire et concerne toutes les saisons. La moyenne sur les dix dernières années (2013–2022) est la plus élevée depuis le début des relevés systématiques. Elle est supérieure de 2,5 °C à la période de référence préindustrielle 1871–1900 (Figure 5.3).

Figure 5.3
Evolution temporelle de la température moyenne par décennie pour l'ensemble de la Suisse, indiquée comme écart par rapport à la période de référence préindustrielle 1871–1900.



Ainsi, les années affichant les températures les plus élevées sont fréquentes au cours des dernières décennies. Parmi les trente années les plus chaudes depuis le début des mesures en 1864, seules quelques-unes ont été enregistrées avant 1990, les sept premières ayant toutes eu lieu après 2010 (Figure 5.4). Seules les années 2010 et 2013 ne figurent pas parmi les trente plus chaudes en Suisse. L'année 2022 est de loin l'année la plus chaude depuis le début des mesures en 1864. 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).

En l'absence de mesures efficaces de protection du climat à l'échelle mondiale, on s'attend à ce que le changement climatique anthropique entraîne une poursuite du net réchauffement en Suisse. Selon les scénarios climatiques actuels CH2018, l'augmentation de la température moyenne annuelle d'ici la fin du 21^e siècle devrait se situer entre 3,3 et 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 l'été dans le cas où les émissions mondiales de gaz à effet de serre se poursuivent comme jusqu'à présent [19].

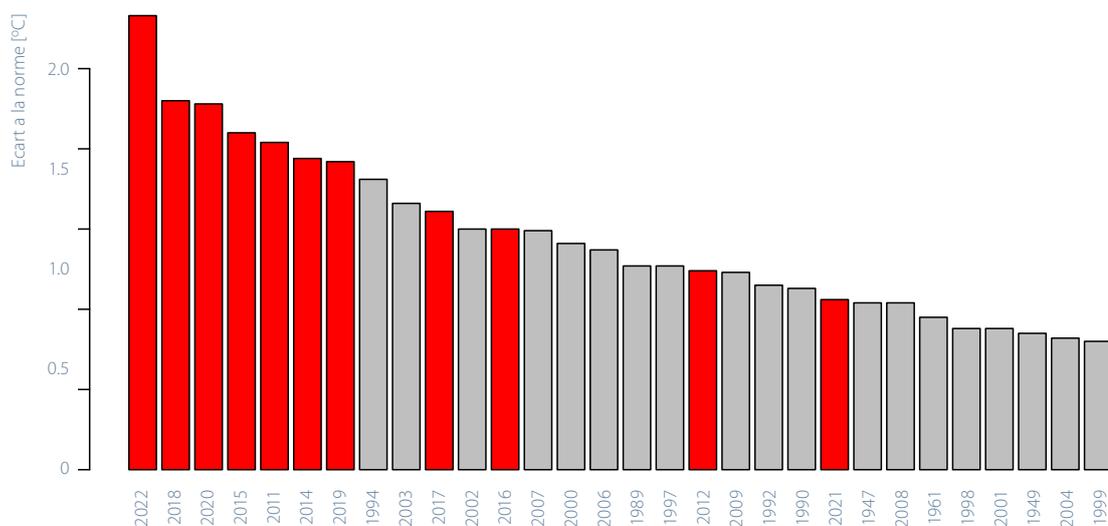


Figure 5.4
Classement des 30 années les plus chaudes depuis 1864. Les barres montrent l'écart de la température annuelle moyenne en Suisse à la norme 1961–1990. Les années à partir de 2010 sont représentées en rouge. L'année 2022 occupe de loin la première place.



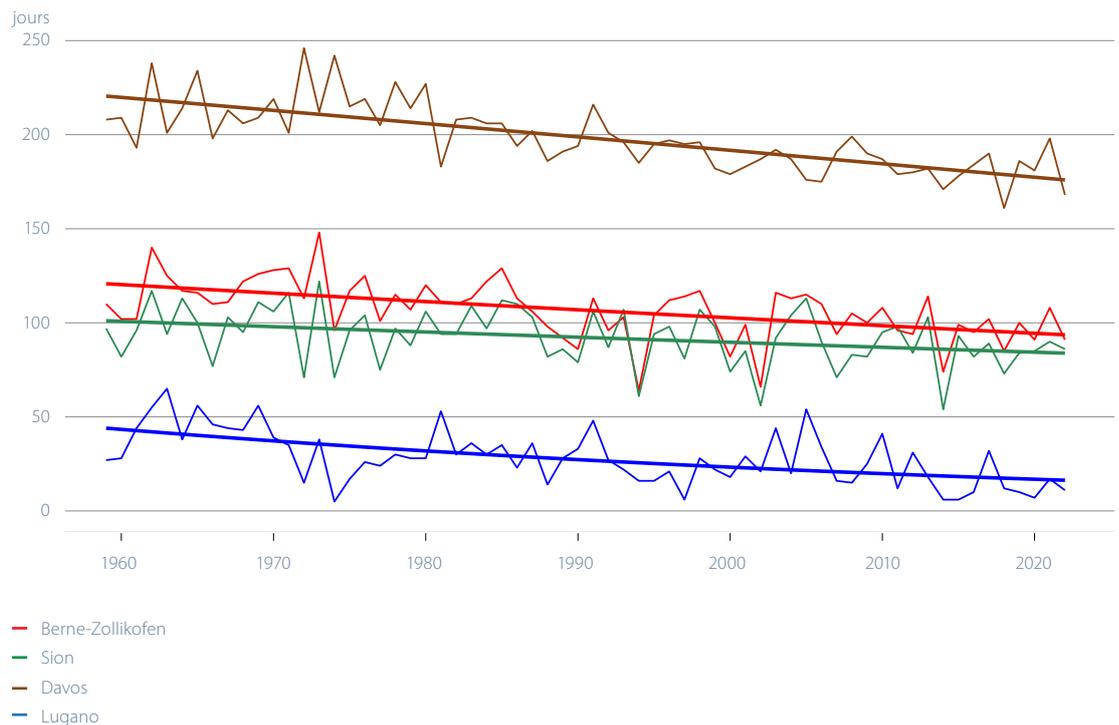
Sur le site internet de MétéoSuisse, vous trouverez des informations complémentaires sur l'évolution de la température en Suisse:
www.meteosuisse.admin.ch/climat/changement-climatique/evolution-temperature-precipitations-enseillement.html
www.meteosuisse.admin.ch/climat/changement-climatique/scenarios-climatiques.html

Jours de gel

En raison de l'hiver doux et des mois de printemps et d'automne très chauds, le nombre de jours de gel en 2022 a été nettement inférieur à la moyenne de la période 1961–1990 dans tous les sites de mesures présentés ici. 168 jours de gel ont été enregistrés dans la station de mesures la plus élevée parmi celles présentées ici, à Davos. C'est 20% de moins que la norme 1961–1990 (210). A Berne également, on a enregistré environ 20% de jours de gel en moins. A Sion, 86 jours de gel ont été enregistrés (norme: 98). A Lugano, moins d'un tiers de la norme a été mesuré (11, norme 35).

Suite au fort réchauffement hivernal des dernières décennies, on constate une diminution significative du nombre de jours de gel dans toutes les séries de mesures de Berne, Davos, Sion et Lugano. On y enregistre environ 2 à 7 jours de gel en moins par décennie.

Figure 5.5
Evolution 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 nouveaux scénarios climatiques CH2018 [19], le nombre de jours de gel à Lugano devrait tomber à 5–14 jours par année 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 semestre d'été particulièrement chaud a offert à la Suisse de très nombreux jours d'été en 2022. A Lugano, on a compté 112 jours d'été (norme 50), soit un jour de plus que lors de l'été record de 2003. Le site de mesures de Sion a également enregistré plus de 100 jours d'été (103, norme 56). A Berne, le nombre de jours d'été (74) a été nettement supérieur au double de la norme 1961–1990 (31 jours d'été par an). Davos a compté 10 journées avec une température supérieure à 25 °C. Durant la période normalisée 1961–1990, on y a enregistré en moyenne tout juste un jour d'été par an. Les jours d'été sont 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, on compte 2 jours d'été de plus par décennie.

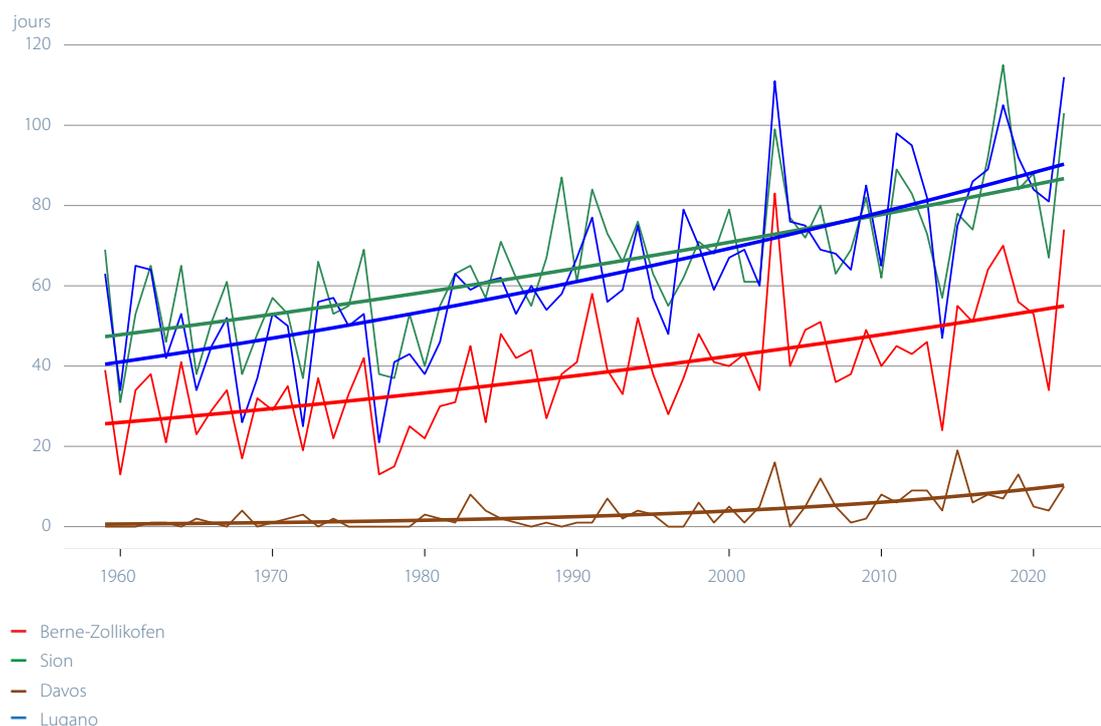


Figure 5.6
Evolution dans le temps des journées d'été (jours de l'année civile affichant une température maximale ≥ 25 °C) pour les stations de Berne, Sion, Davos et Lugano.

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 norme 1961–1990. Pour

Berne, 70–90 journées d'été pourraient devenir la norme. Pour Davos, il est attendu 15–40 journées d'été d'ici 2060, ce qui correspond approximativement à l'amplitude des fluctuations de la norme 1961–1990 à Berne [19].

Précipitations

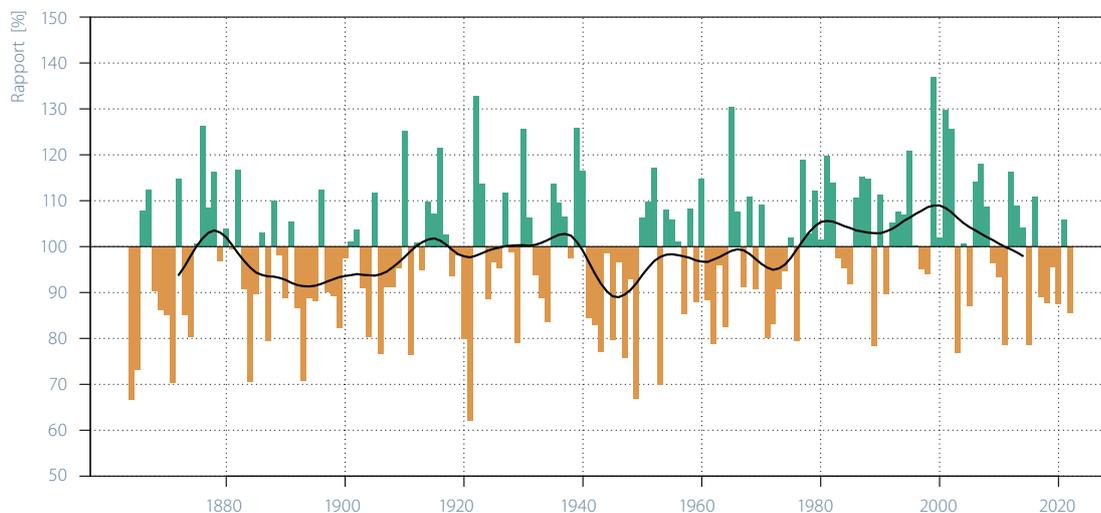
Les précipitations en 2022 ont été déficitaires et, avec 86 % de la norme sur le Plateau, similaires à celles des années 2020, 2018, 2017 et 2015 (Figure 5.7). L'hiver a été légèrement déficitaire sur le Plateau, avec 92 % de la norme. Au printemps et en été, les précipitations ont été nettement inférieures à la norme 1961–1990, avec respectivement 63 % et 71 % (Figure 5.8). Seul l'automne a été plus humide que d'habitude au Nord des Alpes, avec 128 % de la norme, principalement en raison d'un mois de septembre arrosé.

L'année 2022 a été très sèche au Sud des Alpes (Figure 5.9). Sur l'ensemble des 12 mois, les précipitations n'y ont atteint que 71 % de la norme. L'hiver, le printemps et l'été ont été nettement moins pluvieux dans le Sud de la Suisse, avec respectivement 22 %, 33 % et 72 % des précipitations

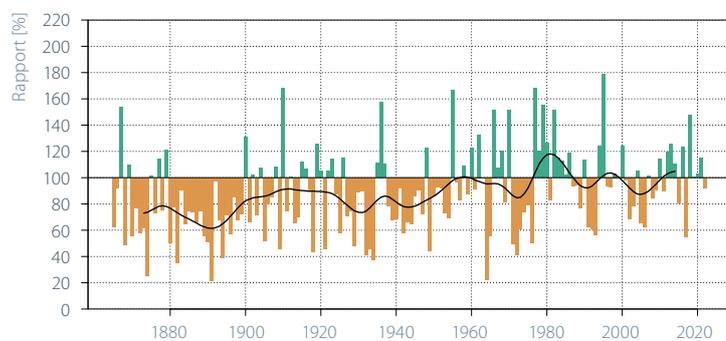
attendues pour la saison concernée (Figure 5.10). L'hiver 2021/22 a même été l'un des plus secs depuis le début des mesures en 1864. Comme au Nord des Alpes, les précipitations automnales ont été légèrement supérieures à la moyenne (123 % de la norme 1961–1990). Ces quantités n'ont toutefois pas réussi à compenser le déficit des mois précédents.

L'évolution des précipitations sur la période 1864–2022 sur le Plateau et au Sud des Alpes montre de fortes variations d'une année à l'autre et sur plusieurs années, aussi bien en moyenne annuelle que pour toutes les saisons. Seul le Plateau présente une tendance à l'augmentation des précipitations moyennes en hiver. Pour les autres saisons, il n'y a pas de tendance significative à l'augmentation ou à la diminution des sommes de précipitations.

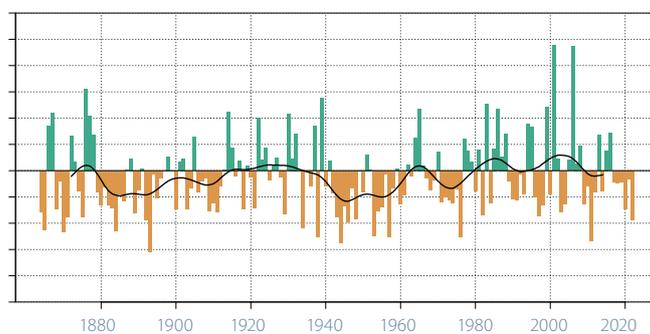
Figure 5.7
**Evolution à long terme
 des sommes des précipitations
 moyennes sur le Plateau.
 Le rapport des sommes des précipitations
 annuelles à la norme
 1961–1990 est représenté
 (vert = écarts positifs,
 brun = écarts négatifs).
 Les séries de mesures
 homogénéisées de
 Genève, Bâle, Berne
 et Zurich servent de
 base de données. La
 courbe noire indique la
 moyenne pondérée
 sur 20 ans.**



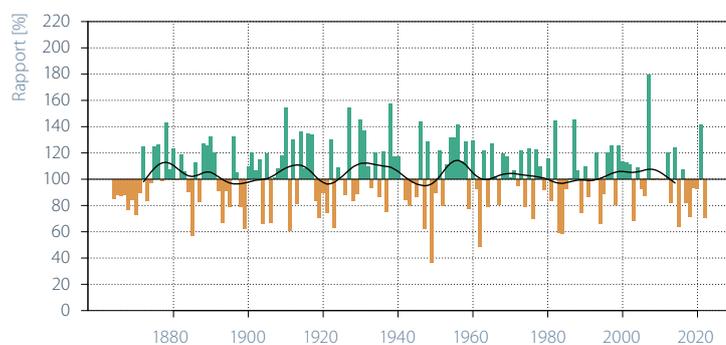
Hiver (DEC, JAN, FEV) 100% = env. 200 mm



Printemps (MARS, AVR, MAI) 100% = env. 250 mm



Été (JUIN, JUIL, AOÛT) 100% = env. 300 mm



Automne (SEP, OCT, NOV) 100% = env. 250 mm

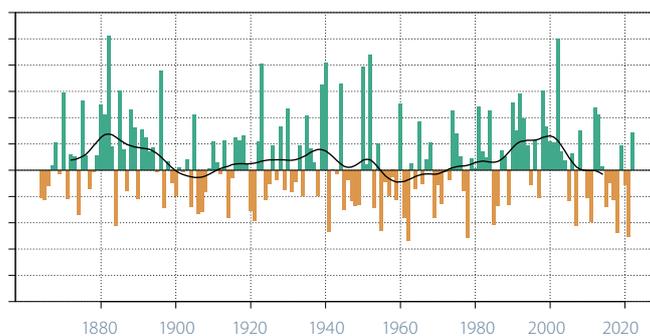
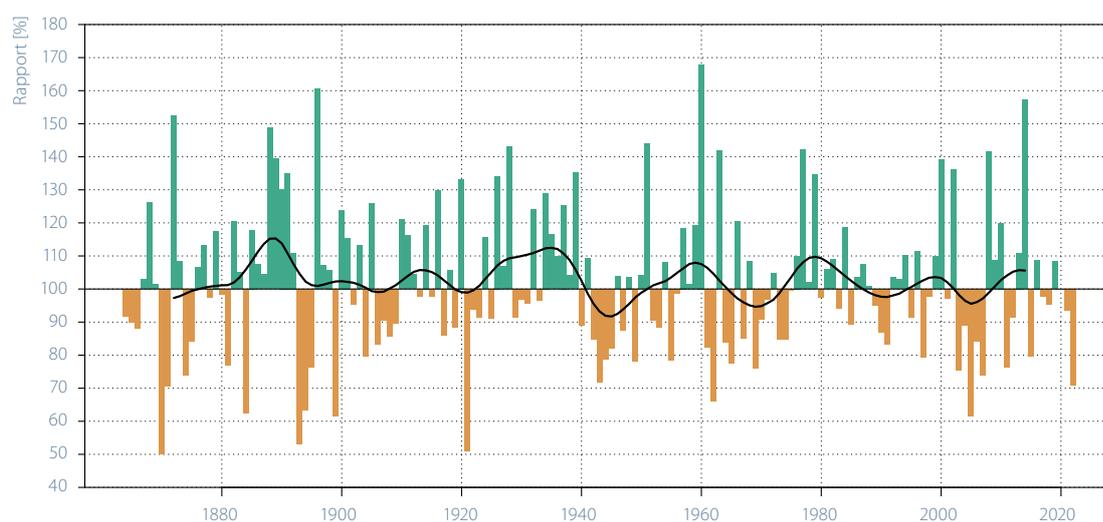


Figure 5.8

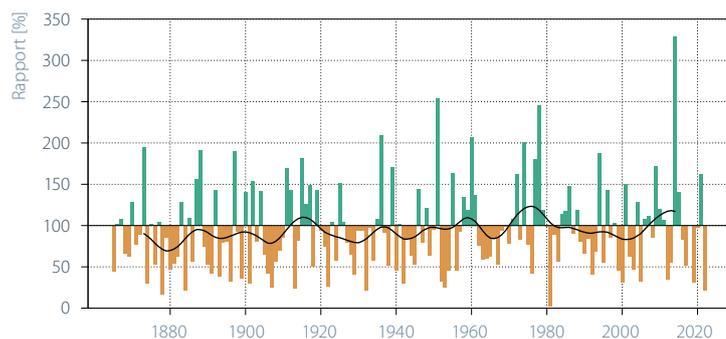
Evolution à long terme des sommes des précipitations saisonnières moyennes sur le Plateau. Le rapport des sommes des précipitations saisonnières à la norme 1961–1990 est représenté (vert = écarts positifs, brun = écarts négatifs). Les séries de mesures homogénéisées de Genève, Bâle, Berne et Zurich servent de base de données. La courbe noire indique la moyenne pondérée sur 20 ans. Il est à noter que les étés 2008 à 2011 ont produit 100% de précipitations, d'où les colonnes «manquantes» dans le graphique.

Figure 5.9
**Evolution à long terme
 des sommes des précipitations
 annuelles moyennes en Suisse
 méridionale. Le rapport des sommes des précipitations annuelles à la norme 1961–1990 est représenté (vert = écarts positifs, brun = écarts négatifs). La série de mesures homogénéisées de Lugano sert de base de données. La courbe noire indique la moyenne pondérée sur 20 ans.**

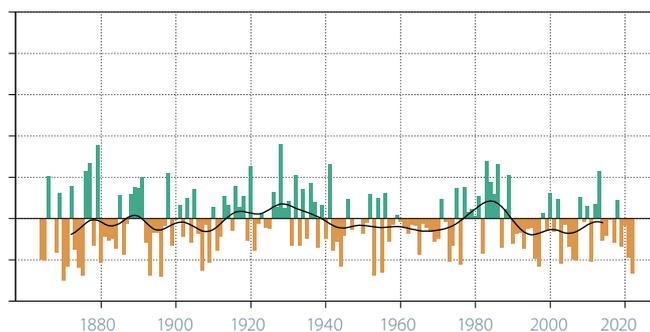


Sur le site internet de MétéoSuisse, vous trouverez des informations complémentaires sur l'évolution des précipitations en Suisse:
www.meteosuisse.admin.ch/climat/changement-climatique/evolution-temperature-precipitations-ensoleillement.html
www.meteosuisse.admin.ch/climat/changement-climatique/scenarios-climatiques.html

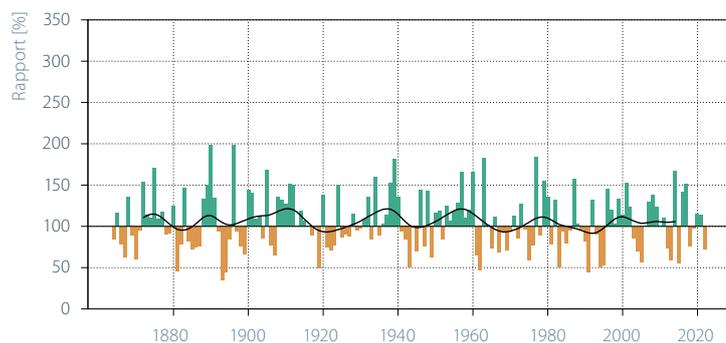
Hiver (DEC, JAN, FEV) 100% = env. 220 mm



Printemps (MARS, AVR, MAI) 100% = env. 480 mm



Été (JUIN, JUIL, AOÛT) 100% = env. 520 mm



Automne (SEP, OCT, NOV) 100% = env. 470 mm

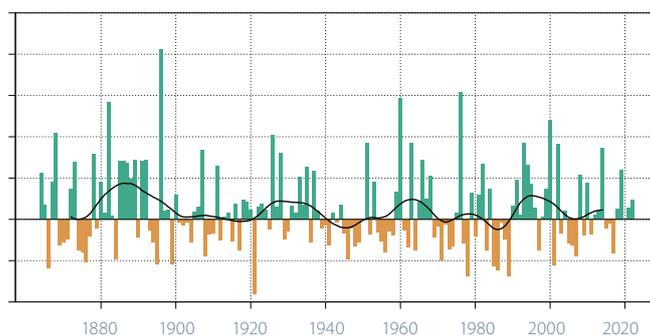


Figure 5.10

Evolution à long terme des sommes des précipitations saisonnières en Suisse méridionale. Le rapport des sommes des précipitations saisonnières à la norme 1961–1990 est représenté (vert = écarts positifs, brun = écarts négatifs). La série de mesures homogénéisées de Lugano sert de base de données. La courbe noire indique la moyenne pondérée sur 20 ans.

Sans mesures efficaces d'intervention à l'échelle mondiale, une diminution des précipitations est attendue en été. Selon les scénarios climatiques CH2018, des changements de précipitations entre +2% et -39% par rapport à la norme 1981–2010 sont possibles d'ici à la fin de ce siècle. Pour l'hiver, en revanche, il est attendu une augmentation des précipitations qui pourrait se situer entre +2% et +24% [19].

Jours de fortes précipitations

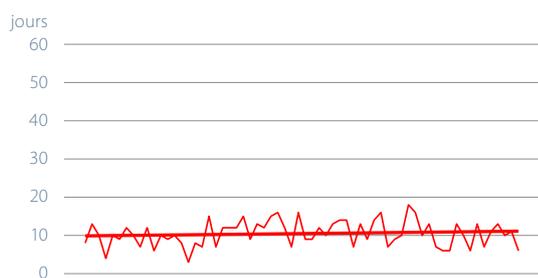
Tout comme les précipitations moyennes en 2022, le nombre de jours de fortes précipitations sur les quatre sites de mesures ont été inférieur à la moyenne de la période 1961–1990. 6 jours avec plus de 20 mm de précipitations ont été enregistrés à Berne (norme 10), 7 à Davos (norme 10) et 2 à Sion (norme 5). A Lugano, l'année 2022 fait partie des rares avec seulement 15 jours (norme 26) avec plus de 20 mm de précipitations. Les quatre sites de mesures présentés ne montrent pas de tendance significative à l'augmentation ou à la diminution du nombre de jours de fortes précipitations. Si on remonte jusqu'en 1901, 92 % des 185 séries de mesures montrent une augmen-

tation et 35 % une augmentation significative des fortes précipitations. Par ailleurs, 91 % montrent une augmentation et 31 % une augmentation significative de l'intensité des fortes précipitations [20]. Pour cette affirmation, les données prises en compte vont jusqu'en 2014.

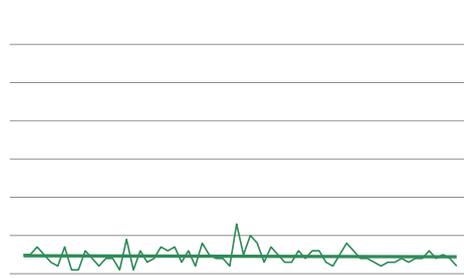
Les scénarios climatiques CH2018 indiquent également une augmentation des précipitations extrêmes et fortes à l'avenir. Les plus fortes précipitations sur une journée devraient augmenter de 10 % d'ici 2060 par rapport à 1981–2010 [19].

Figure 5.11
Nombre de jours de fortes précipitations (≥ 20 mm) au cours de l'année civile pour les stations de Berne, Sion, Davos et Lugano.

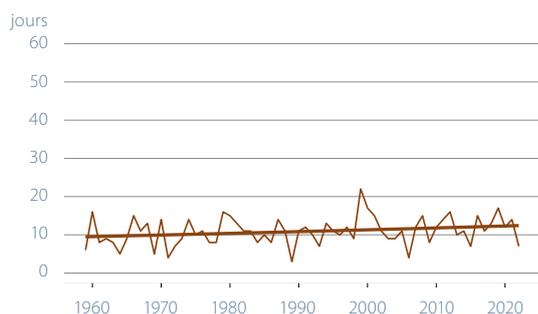
Berne-Zollikofen



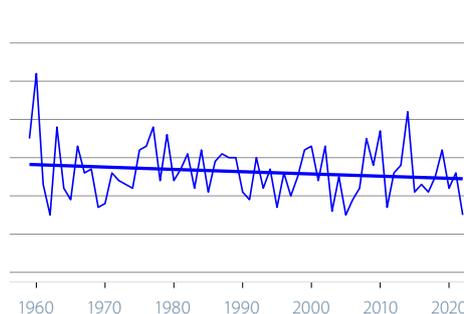
Sion



Davos



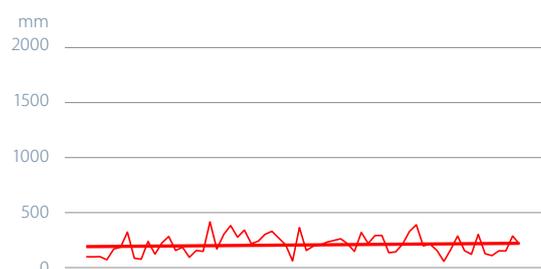
Lugano



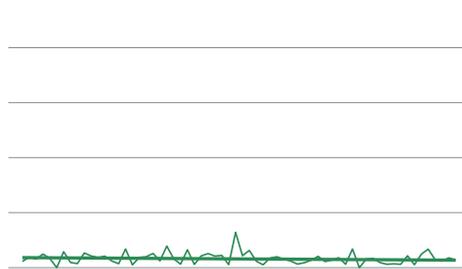
Précipitations des journées très humides

La somme des précipitations des jours très humides a été nettement inférieure à la norme 1961–1990 sur le site de mesure alpin de Davos avec 72 mm (norme 214 mm) et au Sud des Alpes à Lugano avec 486 mm (norme 858 mm). Sur les sites de mesures de Sion et Berne, la somme des précipitations des jours très humides a atteint des valeurs proches de la norme (Sion 71 mm/norme 98 mm, Berne 214 mm/norme 216 mm). Sur le long terme, aucune des stations mentionnées ici ne montre de tendance significative.

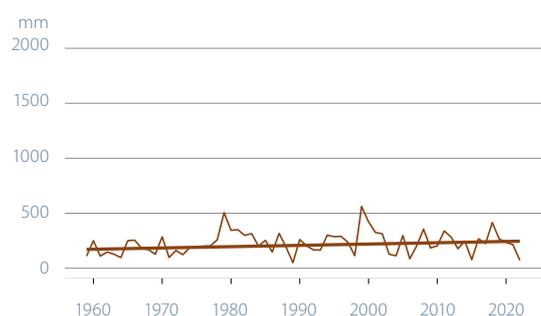
Berne-Zollikofen



Sion



Davos



Lugano

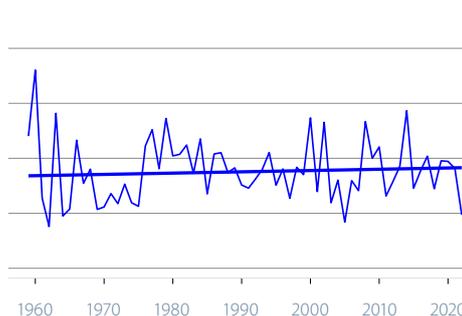


Figure 5.12

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.

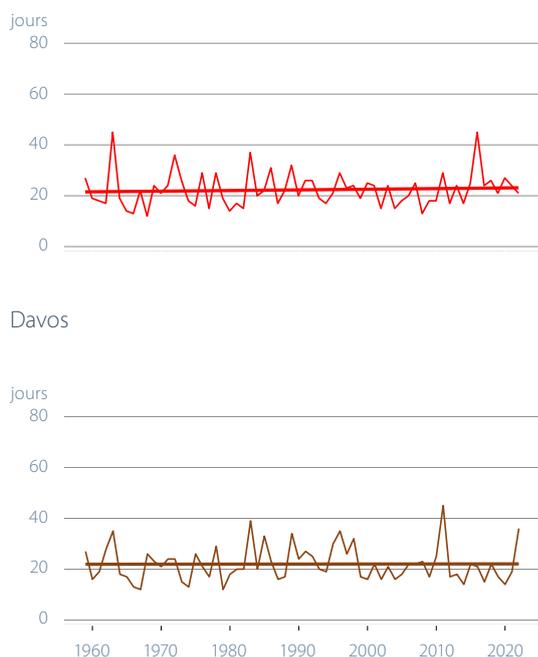
Périodes de sécheresse

Des phases de sécheresse plus longues ont été observées en 2022 à Davos avec 36 jours consécutifs sans précipitations (norme 22) et à Lugano avec 43 jours consécutifs sans pluie (norme 33). Sur les sites de mesures de Berne et de Sion, les phases de sécheresse les plus longues en 2022 ont été légèrement plus courtes que dans la norme 1961–1990 (Berne 21 jours/norme 22, Sion 23 jours/norme 30). Sur le long terme, aucune des séries de mesures mentionnées ne montre de tendance significative à des périodes de sécheresse plus longues ou plus courtes.

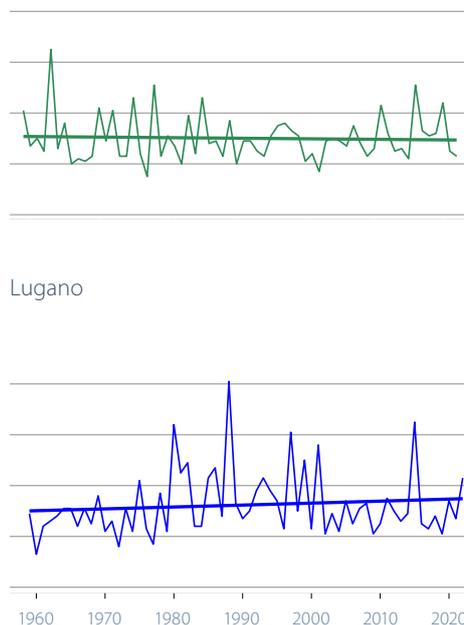
Selon les scénarios climatiques actuels, il faut s'attendre d'ici 2060 à une augmentation de la plus longue période de sécheresse d'une année pouvant aller jusqu'à 9 jours, si les émissions globales de gaz à effet de serre ne sont pas réduites de manière drastique [19].

Figure 5.13
Durée (nombre de jours) de la plus longue période de sécheresse par année civile pour les stations de Berne, Sion, Davos et Lugano.

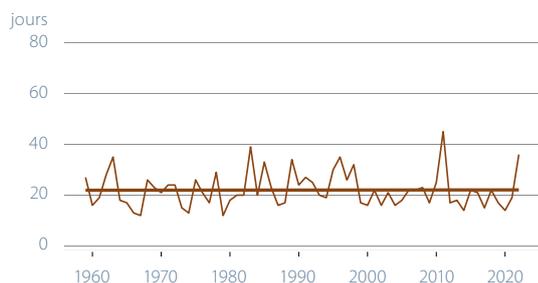
Berne-Zollikofen



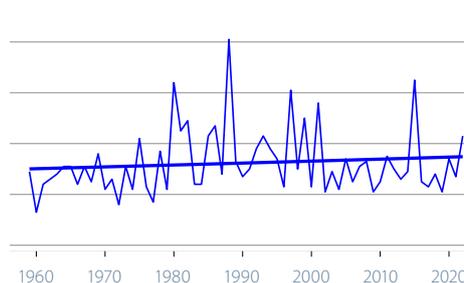
Sion



Davos



Lugano



Indice de sécheresse

La sécheresse peut être définie de différentes manières. D'une manière tout à fait 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 diversement différents secteurs (agriculture et sylviculture, approvisionnement en eau et en énergie, navigation). 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. Le semestre d'été 2022 poursuit cette série, même s'il n'atteint pas tout à fait dans cette évaluation la valeur du dernier été extrême de 2018 [21]. Des étés secs plus fréquents correspondent à ce qui est attendu dans un climat qui se réchauffe avec une évaporation plus élevée [22].

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 avec un SPEI négatif correspondent bien aux épisodes de sécheresse connus au cours des 150 dernières années [23], [24].

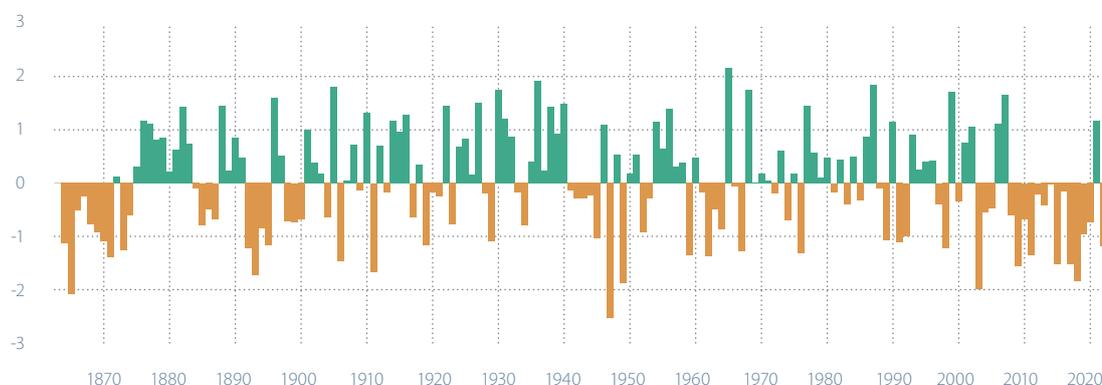


Figure 5.14
SPEI durant toute la période de végétation (6 mois, d'avril à septembre) à la station de mesure de Berne. Les valeurs positives indiquent des conditions plus humides que la médiane (1864–2022), les valeurs négatives, des conditions plus sèches.





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 2022 est de 2830 m, c'est-à-dire 150 m plus haut par rapport à l'année 2021.

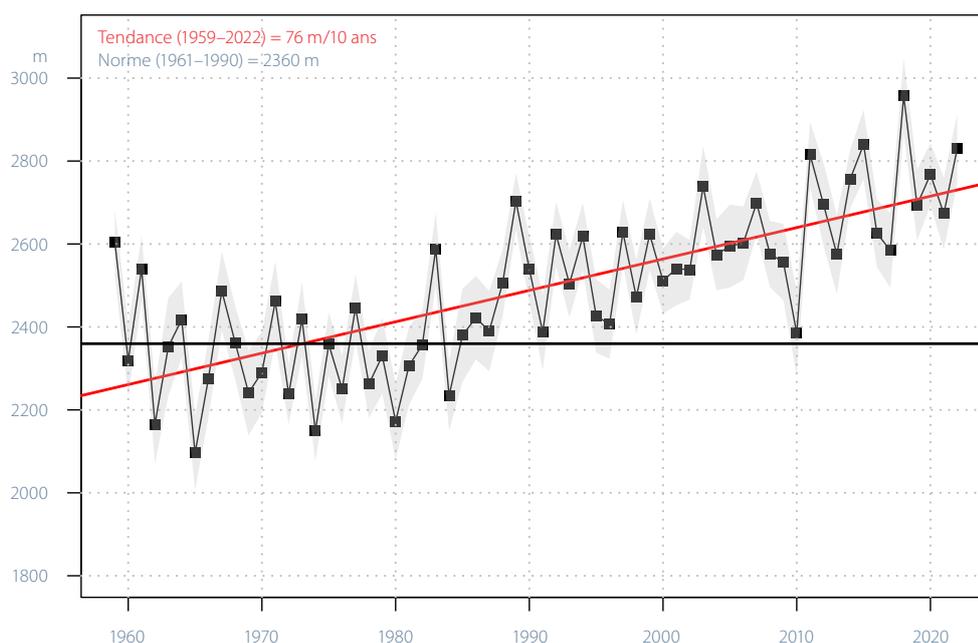
La Figure 5.15 montre la tendance à l'augmentation de la limite du zéro degré (tendance linéaire tracée en rouge) durant la période 1959–2022. La ligne rouge représente donc la tendance générale des valeurs d'altitude du zéro degré sur l'ensemble de la période 1959–2022, mais ne fournit pas l'information 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 valeur 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 valeur de 2096 m, soit 264 m au-dessous de la médiane de référence. Au cours des 30 dernières années, les valeurs annuelles ont systématiquement augmenté et agissent comme un traceur du réchauffement global de la troposphère. Le fait que la norme 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 norme de référence sans montrer une tendance significative. Au contraire, on observe les anomalies positives d'altitude de zéro degré, les plus prononcées, sur la période 1990–2022.

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 5.15 ont augmenté de manière stable au cours de la période 1990–2022, une tendance en bon accord aussi avec les tendances saisonnières (Figure 5.16). Le Tableau 5.3 montre les valeurs extrêmes des séries saisonnières qui incluent le record absolu d'été, avec une altitude médiane du zéro degré à 3962 m.

Figure 5.15
Série temporelle 1959–2022 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 (2357 m). La ligne rouge montre la tendance linéaire de la série temporelle. La zone grise autour des valeurs médianes correspond à l'incertitude des mesures.



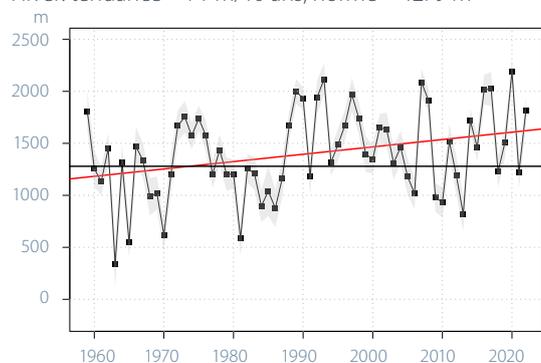
Les tendances linéaires des valeurs saisonnières au printemps (87 m/10 ans) et en été (91 m/10 ans), bien que caractérisées par des taux d'augmentation par décennie plus élevés, reproduisent de près la tendance des valeurs annuelles (76 m/10 ans). Les deux séries saisonnières sont en accord avec la série globale y compris pour la présence d'un point de rupture autour de l'année 1990 (Figure 5.15).

Les tendances à la hausse un peu moins marquées en hiver et en automne sont également significatives. En hiver, la limite du zéro degré augmente de 71 m/10 ans, la tendance la plus plate étant celle de l'automne avec 49 m/10 ans.

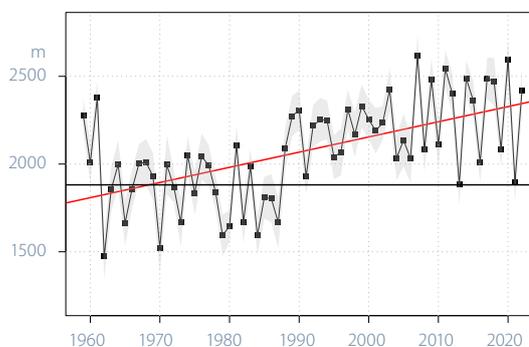
	Hiver (DEC-FEV)	Printemps (MARS-MAI)	Eté (JUIN-AOÛT)	Automne (SEP-NOV)
Minimum (année)	311 m (1963)	1472 m (1962)	3092 m (1977)	1532 m (1974)
Maximum (année)	2192 m (2020)	2612 m (2007)	3955 m (2015)	3378 m (2018)

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

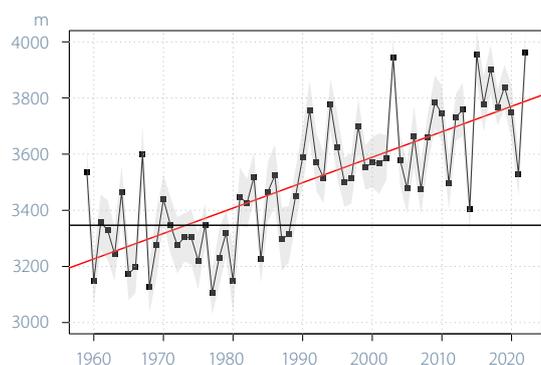
Hiver: tendance = 71 m/10 ans, norme = 1279 m



Printemps: tendance = 87 m/10 ans, norme = 1882 m



Eté: tendance = 91 m/10 ans, norme = 3347 m



Automne: tendance = 49 m/10 ans, norme = 2860 m

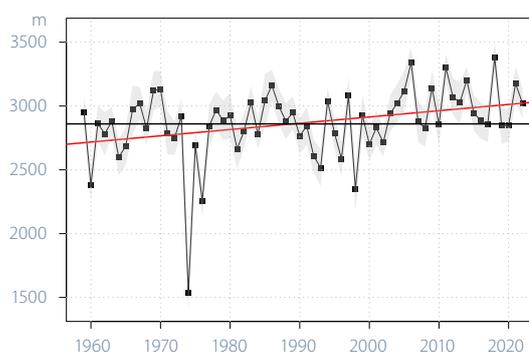


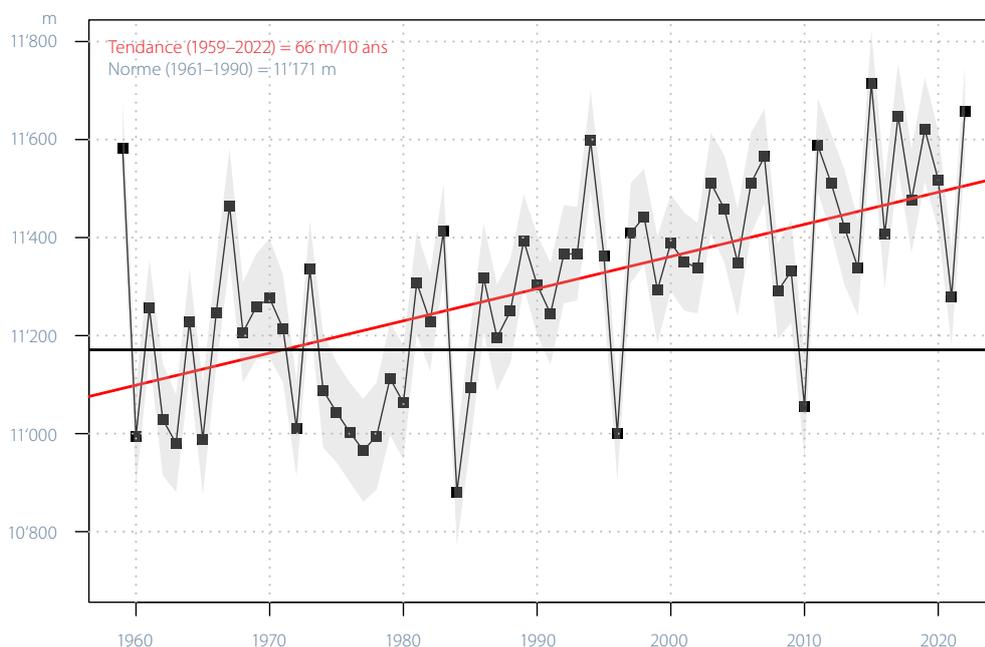
Figure 5.16
Valeurs médianes saisonnières de la limite du zéro degré sur la période de mesure 1959–2022. La ligne noire indique la médiane des altitudes saisonnières sur la période de référence 1961–1990, la ligne rouge représente la tendance linéaire des valeurs sur toute la série des données. La zone grise autour des valeurs médianes correspond à l'incertitude des mesures.

Altitude de la tropopause

L'altitude de la tropopause est calculée conformément à la définition de l'OMM de la tropopause thermique [25] à partir de la température mesurée par radiosondage à Payerne. Les valeurs annuelles représentées en Figure 5.17 sont déterminées en calculant la valeur médiane des altitudes de la tropopause 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 1959–2022 (régression linéaire tracée en rouge). La zone grise montre la variabilité intra-annuelle et correspond à l'incertitude des valeurs médianes annuelles basée sur 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 2022, la tropopause a atteint une altitude médiane de 11'658 m, soit 487 m plus haut que la valeur médiane de référence à 11'171 m et 408 m plus haut qu'en 2021. L'augmentation linéaire de la hauteur de la tropopause depuis 1959 est statistiquement significative, malgré la forte variabilité interannuelle avec plusieurs valeurs extrêmes en dessous de la valeur de référence qui apparaissent le long de la série temporelle, comme en 1984 (10'880 m, minimum absolu), 1996 et 2010. Le maximum absolu de la série est de 11'714 m atteint en 2015. Au cours de la période 1959–2022, la hauteur de la tropopause a augmenté linéairement de 66 m tous les 10 ans. De manière générale, cette tendance est en accord avec l'évolution de l'altitude du zéro degré (Figure 5.15).

Figure 5.17
Altitude annuelle médiane de la tropopause 1959–2022 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 (11'180 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 pendant la période 1990–2022, une tendance qui se recoupe avec les tendances saisonnières montrées en Figure 5.18. Au printemps (mars, avril, mai) et en été (juin, juillet, août), les valeurs annuelles dépassent presque systématiquement la médiane de la norme 1961–1990 (11'171 m) à partir de 1990 environ. Comme pour l'altitude du zéro degré, les tendances de l'altitude de la tropopause sont un peu plus faibles en

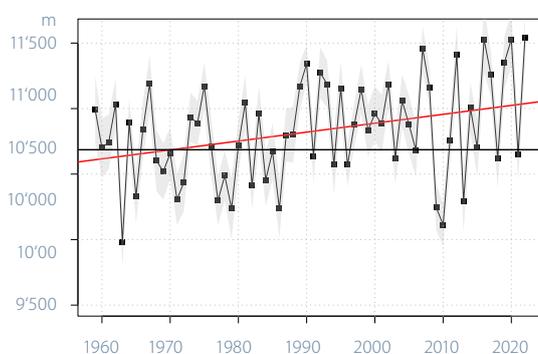
hiver (décembre, janvier, février) et en automne (septembre, octobre, novembre). En hiver, l'augmentation est néanmoins significative. Seul l'automne ne présente pas de tendance claire, les valeurs annuelles fluctuant autour de la médiane de la période de référence.

Le Tableau 5.4 montre les valeurs extrêmes des séries saisonnières depuis 1959 qui incluent le record absolu de l'hiver 2021/2022 avec 11'540 m.

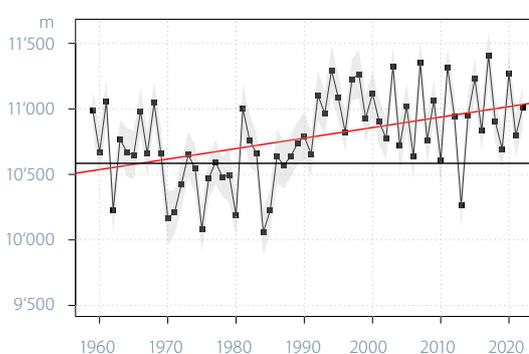
	Hiver (DEC–FEV)	Printemps (MARS–MAI)	Été (JUIN–AOÛT)	Automne (SEP–NOV)
Minimum (année)	9982 m (1963)	10'060 m (1984)	11'178 m (1977)	10'599 m (1974)
Maximum (année)	11'540 m (2022)	11'410 m (2017)	12'413 m (2003)	12'328 m (1970)

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

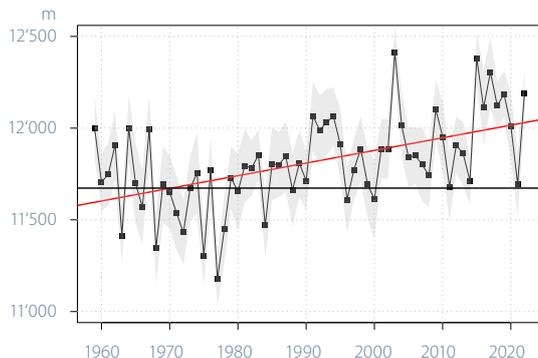
Hiver: Tendance = 68 m/10 ans, Norme = 10'686 m



Printemps: Tendance = 80 m/10 ans, Norme = 10'584 m



Été: Tendance = 69 m/10 ans, Norme = 11'673 m



Automne: Tendance = 28 m/10 ans, Norme = 11'755 m

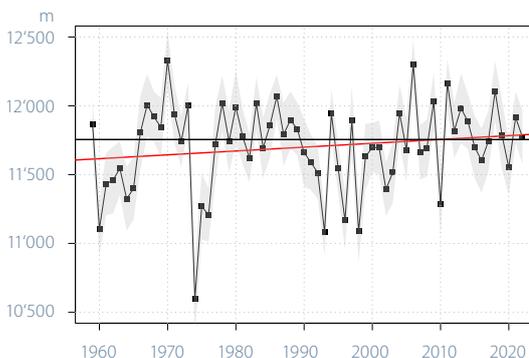


Figure 5.18
Valeur médianes saisonnières de l'altitude de la tropopause sur la période de mesure 1959–2022 La ligne noire indique la médiane des altitudes saisonnières sur la période de référence 1961–1990, la ligne rouge représente la tendance linéaire des valeurs sur toute la série de données. La zone grise autour des valeurs médianes correspond à l'incertitude des mesures.

Tendance de la température à plusieurs niveaux standards

L'augmentation de la concentration du 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 [26]. 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 5.19 montre les tendances 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 [27] à partir des années 1990, domine la tendance générale provoquant une augmentation de la température d'environ $0,4^\circ\text{C}$ 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 $-0,4^\circ\text{C}$ par décennie à 20 hPa.

Les séries de températures dans la troposphère et la stratosphère peuvent être divisées en deux parties dans le temps, avec des tendances d'intensité différente. Dans la troposphère, la température ne montre aucune tendance entre 1959 et 1990. En revanche, entre 1980 et 2022, 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 [28]: 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 5.19 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 période 1959–2022. Les anomalies de température à tous les niveaux pendant l'année 2022 s'alignent le long des tendances linéaires calculées sur l'ensemble de la série temporelle.

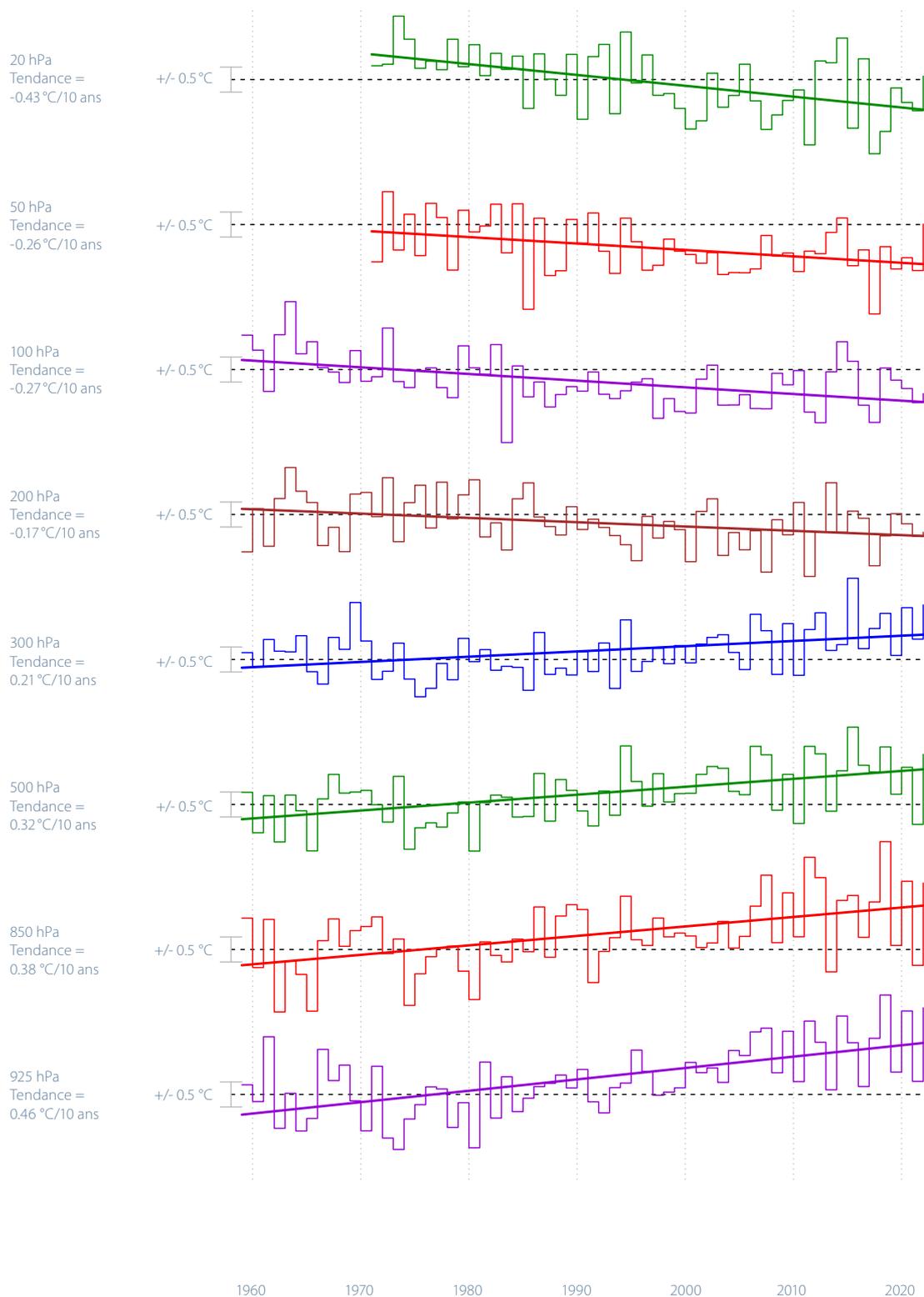


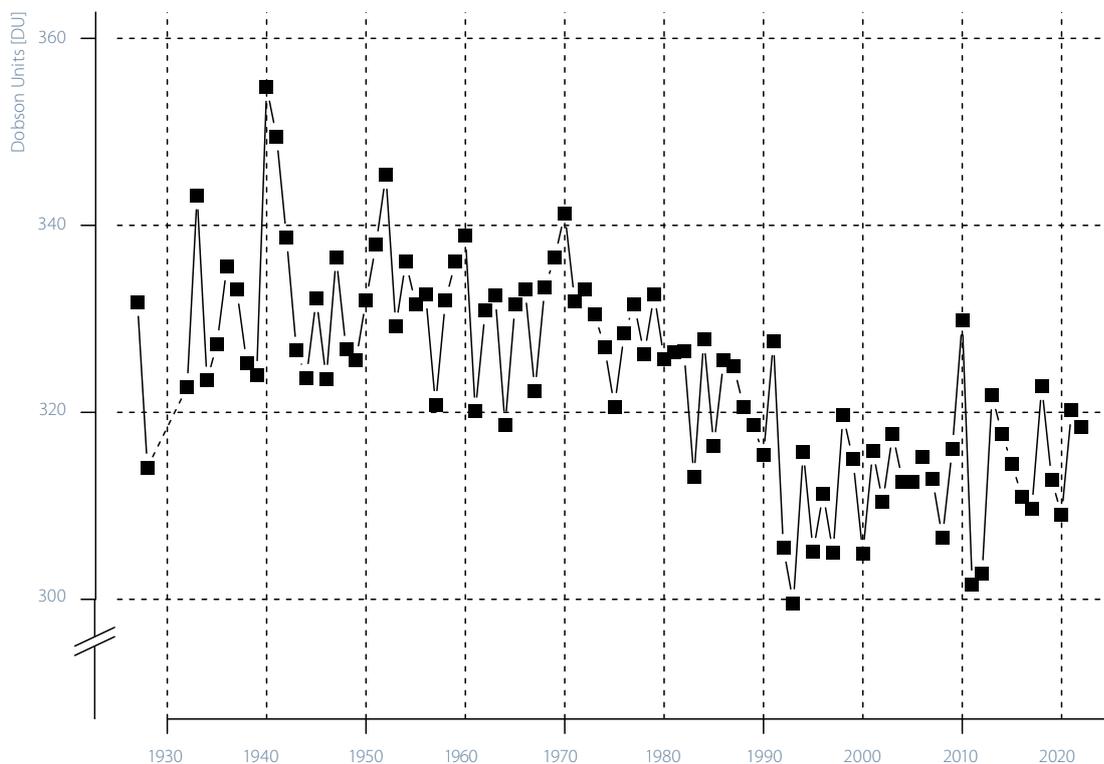
Figure 5.19
Tendances des anomalies de température mesurée par radiosondage à différents niveaux atmosphériques dans l'atmosphère au-dessus de Payerne pendant la période 1959-2022. Les anomalies sont calculées par rapport à la médiane de la période climatologique de référence 1961-1990 sur quatre niveaux troposphériques et quatre niveaux stratosphériques.

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

Avec la série de mesures d'Arosa, 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 environ 1975, cette série de mesures fournit une moyenne à long terme d'environ 330 DU. Entre 1975 et 1995, les mesures indiquent une baisse significative de l'ozone total qui a diminué d'environ 15 DU. Le recul continu de l'ozone total au-dessus d'Arosa 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 320.2 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 2022 présente une valeur très légèrement inférieure à 320 DU. Bien que cette tendance soit actuellement non significative, elle va dans le sens d'une reconstitution de la colonne d'ozone en dessus d'Arosa/Davos.

Figure 5.20
Moyennes annuelle
de la colonne d'ozone
à Arosa au cours de la
période 1926–2022.
100 unités Dobson
(Dobson Unit) = 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'altitude (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).

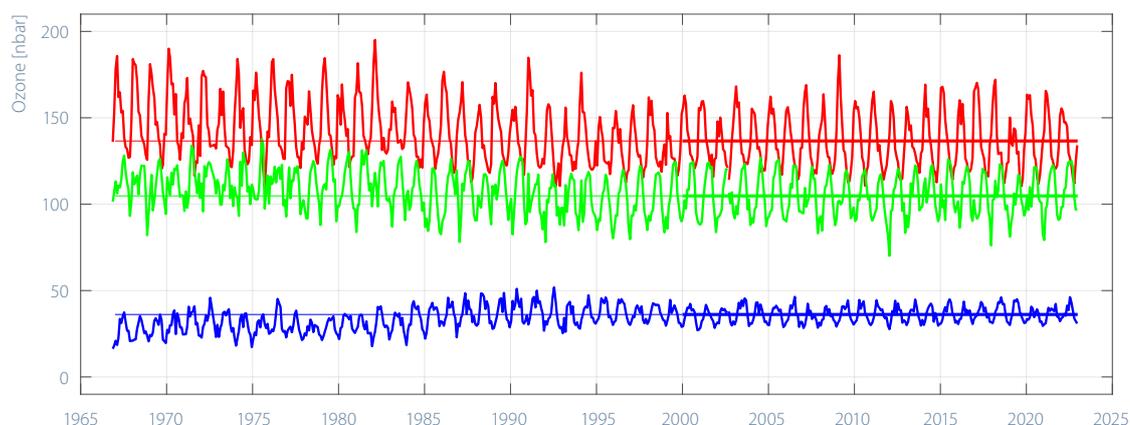


Figure 5.21
Concentration mensuelle d'ozone à trois altitudes durant la période 1967–2022. Bleu: 3 km; rouge: 22 km; vert: 27 km. La concentration d'ozone est donnée en pression partielle exprimée en nanobars (nbar).





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.

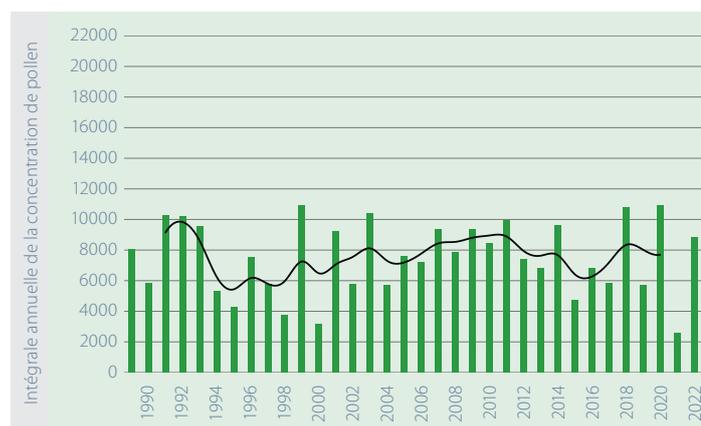
Pour le bouleau, l'intensité de la saison pollinique dépend, d'une part, de la météo de l'année précédente, étant donné que les chatons en fleurs se forment déjà dès l'été de l'année précédente. Un temps chaud favorise la formation d'un plus grand nombre de chatons. D'autre part, l'intensité dépend également 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.

La saison pollinique du bouleau en 2022 a été nettement plus intense qu'en 2021. Ces dernières années, l'intensité de la saison du pollen de bouleau suit également un rythme bisannuel au Nord des Alpes, comme c'est le cas depuis longtemps au Tessin. L'intensité de la saison pollinique des graminées a été plus forte que la moyenne au Tessin et au Nord des Alpes. Elle a été légèrement plus faible en Suisse romande. Les valeurs absolues sont nettement plus basses au Tessin qu'au Nord des Alpes.

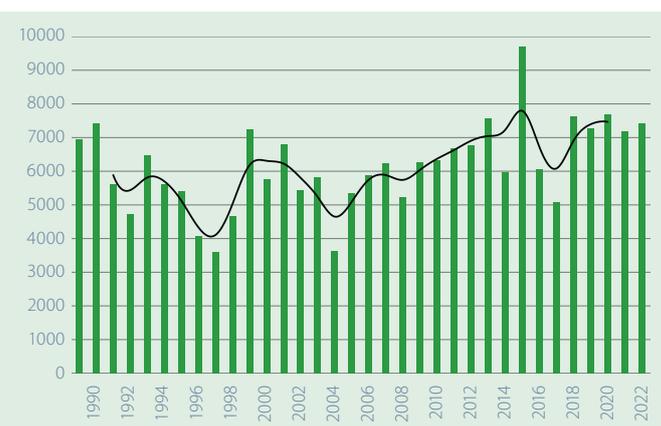
Figure 5.22

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.

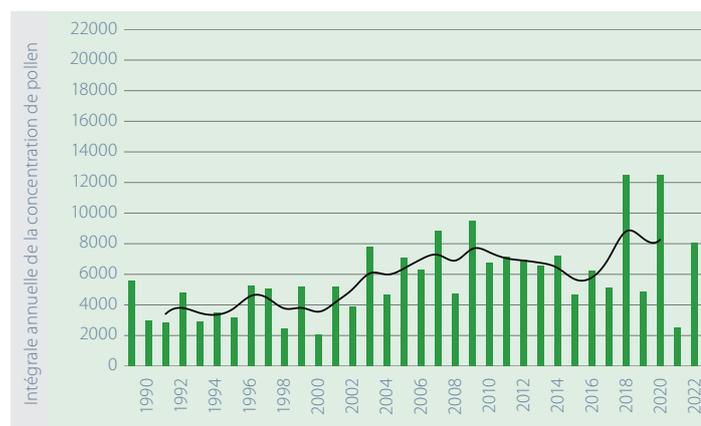
Bouleau Suisse centrale et Suisse orientale



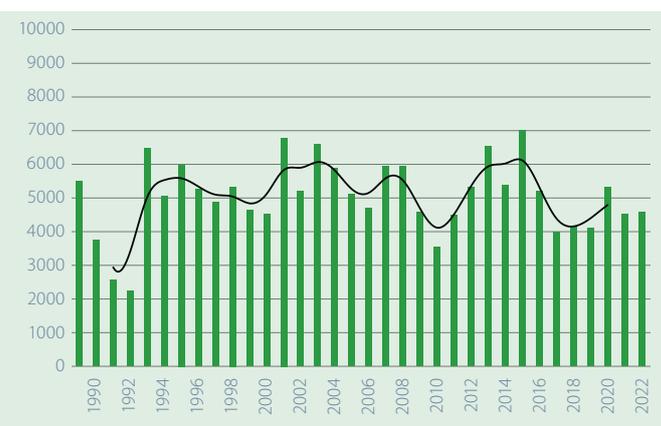
Graminées Suisse centrale et Suisse orientale



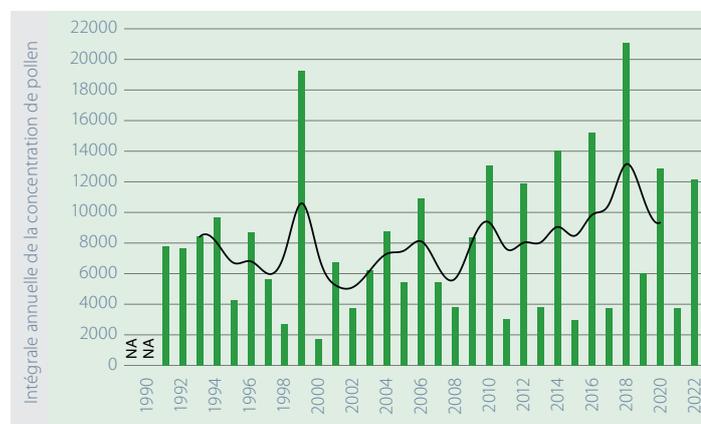
Bouleau Suisse romande



Graminées Suisse romande



Bouleau Tessin



Graminées Tessin



Terres émergées

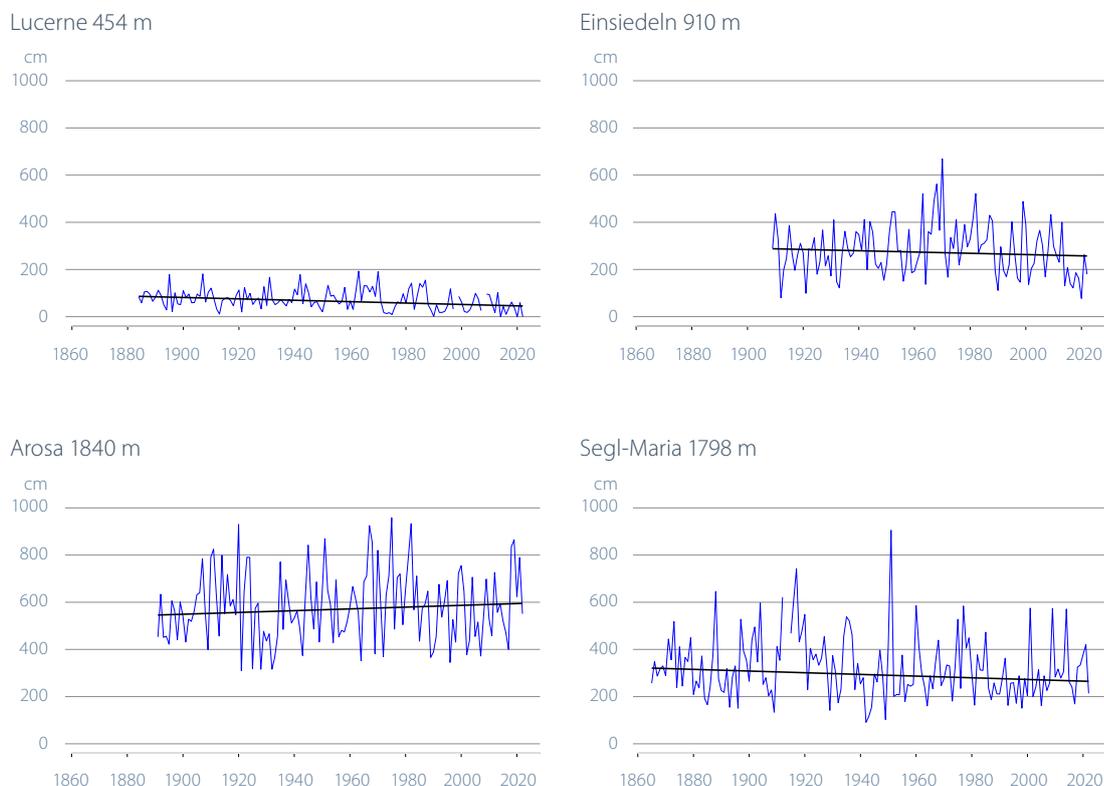
Sommes de neige fraîche

L'hiver 2021/22 a été relativement peu pluvieux dans toutes les régions du pays, seul le mois de décembre 2021 a enregistré des quantités de précipitations souvent excédentaires. En conséquence, les quantités de neige fraîche sont restées inférieures à la norme 1961–1990 sur tous les sites de mesures présentés ici. Sur le site de mesures d'Arosa, il est tombé au total 5,51 m (norme 6,31 m) au cours du semestre hivernal, alors que les quatre années précédentes avaient toutes été nettement plus enneigées. La dernière fois que des sommes de neige fraîche supérieures à 9 m (norme 6,31 m) ont été enregistrées à Arosa, c'était au cours de l'hiver 1981/82. Sur le site de mesures de Segl-Maria, la somme de neige fraîche au cours du semestre d'hiver octobre-mars a atteint 2,14 m (norme 3,12 m), également nettement moins que lors

des années précédentes 2018–2021. A Einsiedeln, on n'a mesuré que 1,80 m (norme 3,41 m). A Lucerne, il n'y a pas eu de neige fraîche mesurable du tout au cours du semestre d'hiver 2021/22 (norme: 0,83 m).

En ce qui concerne les sommes de neige fraîche pendant le 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 présentent de grandes variations d'une année à l'autre. A Lucerne, on observe une diminution significative de 2,9 cm par décennie. Il convient toutefois de souligner que les relevés d'enneigement journaliers et mensuels ne sont pas disponibles sous la forme de données homogénéisées.

Figure 5.23
Sommes de neige fraîche en cm durant le semestre d'hiver depuis le début des mesures jusqu'en 2022 dans les stations de mesures de Lucerne, d'Einsiedeln, d'Arosa et de Segl-Maria.



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

Journées de neige fraîche

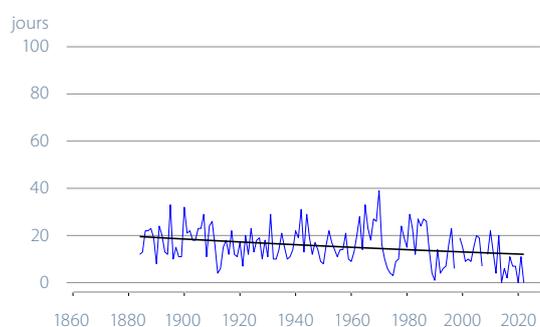
Tout comme les sommes de neige fraîche, le nombre de jours avec de la neige fraîche est resté inférieur à la norme 1961–1990. Au cours du semestre hivernal octobre-mars, le site de mesures d'Arosa a enregistré 56 jours de neige fraîche (norme 71 jours). La dernière fois qu'il y a eu moins de jours avec de la neige fraîche à cet endroit, c'était en 2017 (45). A Segl-Maria, en Haute-Engadine, 23 jours de neige fraîche ont été enregistrés (norme: 42 jours). Comme écrit plus haut, il n'y a pas eu de neige fraîche mesurable à Lucerne (norme 18 jours). Einsiedeln, comme les autres sites mentionnés ici, a également enregistré nettement moins de jours de neige fraîche (32) que la norme (46).

La série de mesures d'Arosa indique une tendance significative à l'augmentation du nombre de jours avec de la neige fraîche. Ce nombre est de +1,5 jour par décennie.

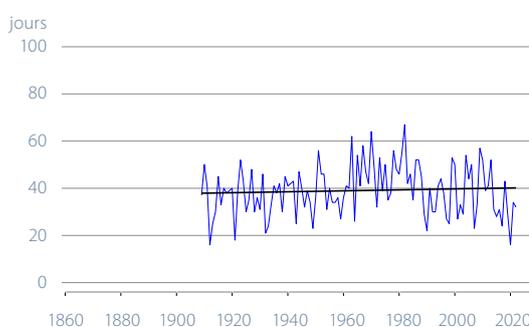
En revanche, Lucerne montre une tendance plus faible mais significative à la diminution du nombre de jours de neige fraîche avec -0,6 jour par décennie. Aucune tendance significative ne se dégage pour les deux stations de mesures d'Einsiedeln et de Segl-Maria. Ici aussi, il faut mentionner que les enregistrements journaliers et mensuels des quantités de neige fraîche ne sont pas disponibles sous la forme de données homogénéisées.

Les scénarios climatiques CH2018 prévoient une diminution significative de la couverture neigeuse d'ici 2060 [19]. Entre 500 et 1000 m d'altitude, il faut s'attendre à une réduction de la quantité totale de neige d'environ 50%. En dessous, la diminution relative attendue est encore plus importante.

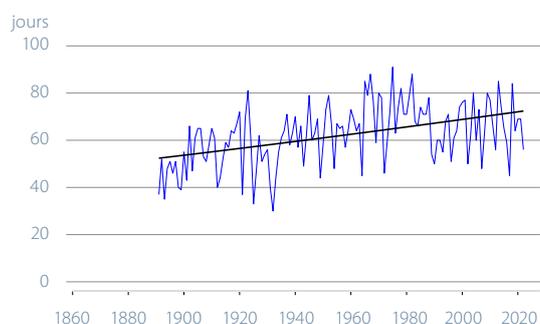
Lucerne 454 m



Einsiedeln 910 m



Arosa 1840 m



Segl-Maria 1798 m

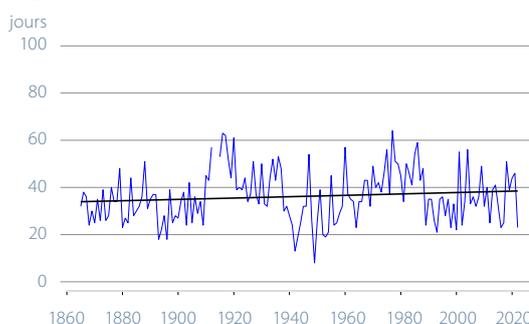


Figure 5.24

Nombre de jours de neige fraîche au semestre d'hiver depuis le début des mesures jusqu'en 2022 dans les stations de mesures de Lucerne, d'Einsiedeln, d'Arosa et de Segl-Maria.

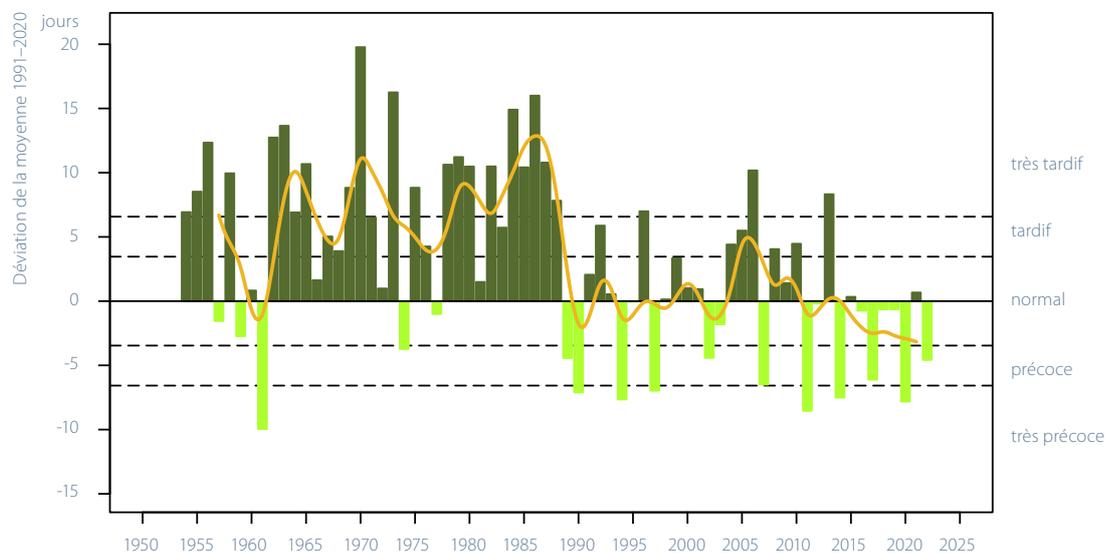
Indice du printemps

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 [29]. En 2022, le printemps s'est développé 4 jours plus tôt que la moyenne à long terme de 1991–2020. La floraison des noisetiers a commencé particulièrement tôt, dès janvier, au Tessin et de manière isolée au Nord des Alpes. Au total, la floraison du noisetier a eu 12 jours d'avance sur la moyenne. Le tissilage et l'anémone des bois ont fleuri principalement en mars, avec une avance de 5 à 10 jours. Les arbres fruitiers ont fleuri à partir de fin mars avec une

avance de 5 à 8 jours. Le pissenlit et la cardamine des prés ont fleuri avec la même avance dans les prairies. Les feuilles des arbres à feuilles caduques ont commencé à se déployer à partir de fin mars. Le déploiement des feuilles du hêtre à partir de la mi-avril s'est exactement situé au moment moyen de la période 1991–2020.

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

Figure 5.25
Etat annuel du développement de la végétation en Suisse (indice du printemps) 1954–2022 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 26 mars 2022 a eu lieu 8 jours plus tôt que la moyenne de la période 1991–2020, en raison des températures élevées en février et début mars ainsi que fin mars. Par rapport à l'ensemble de la période de mesures, la date de cette année s'est située 17 jours avant la date moyenne. Il s'agit de la 10^e date la plus précoce de toutes les années.

La série historique 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 2022, l'apparition de la première feuille du marronnier a eu lieu le 10 mars. L'apparition de la feuille du marronnier dépend très fortement des températures. Cependant, d'autres facteurs tels que l'âge de l'arbre, les changements dans l'environnement et le climat urbain peuvent également jouer un rôle. La raison de la manifestation plus tardive depuis quelques 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.

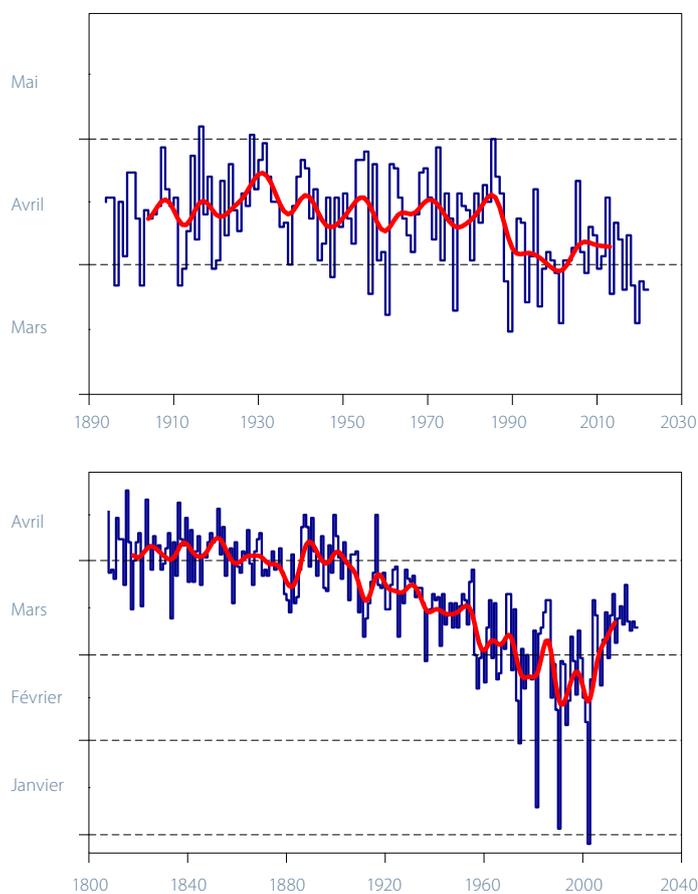


Figure 5.26
Floraison des cerisiers près de Liestal durant la période 1894–2022 (en haut) et apparition de la première feuille du marronnier à Genève 1802–2022 (en bas).

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.





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 [10]. 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 à la norme 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.



www.meteosuisse.admin.ch/climat/changement-climatique/evolution-temperature-precipitations-ensoleillement/temperature-moyenne-suisse.html

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 [31]. Des informations détaillées sur les rares fortes précipitations se trouvent sous:



www.meteosuisse.admin.ch/climat/climat-de-la-suisse/records-et-extremes/analyses-des-valeurs-extremes.html

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 [30] du réseau suisse de mesures climatiques (Swiss National Basic Climatological Network; Swiss NBCN [1]).

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 norme. 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 [32]) et SPEI (standardized precipitation evapotranspiration index [33]) 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 [34]. 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 normale 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 est fait référence.

Saison pollinique et intensité des pollens

La saison pollinique actuelle est comparée à la moyenne sur 30 ans 1991–2020. L'intégrale pollinique annuelle (pollen/m³ jour) se calcule à partir de la concentration pollinique journalière moyenne par m³ d'air. Ce chiffre est additionné 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 und 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.

Les différentes phases phénologiques dépendent bien entendu des aléas de la météo. Ainsi, la floraison du noisetier peut intervenir précocement s'il a fait doux à la fin de l'hiver; inversement, si elle est suivie d'une longue période de froid, cela retardera de nouveau le développement de la végétation. Le développement de la végétation est en outre tributaire de l'altitude. Dans les stations de mesures de basse altitude, où les conditions sont douces, les phases phénologiques interviennent plus tôt qu'à plus haute altitude, où il fait plus froid. Ces nombreuses données d'observation sont structurées et simplifiées par une analyse des principaux composants et fédérées, dans un souci de clarté, en un indice du printemps pour l'ensemble de la Suisse [25].

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 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



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 C. 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 M. 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 C. 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 2022: WMO Statement on the status of the global climate in 2022 <https://public.wmo.int/en/our-mandate/climate/wmo-statement-state-of-global-climate>
- [6] NOAA National Centers for Environmental Information, State of the Climate: Global Climate Report for Annual 2022, published online January 2023, retrieved on January 29, 2023 from <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/202213>
- [7] 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)
- [8] MEI-Daten unter: <https://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei>
- [9] WMO, 2003: GCOS-82. Second Report on the Adequacy of the Global Observing Systems for Climate in Support of the UNFCCC. WMO TD 1143
- [10] 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
- [11] World Meteorological Organization (WMO), WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals. WMO-No. 1203 <https://public.wmo.int/en/resources/library/wmo-guidelines-calculation-of-climate-normals>
- [12] Seiz G., Foppa N., 2007: Nationales Klima-Beobachtungssystem (GCOS Schweiz). Publikation von MeteoSchweiz und ProClim, 92 S. <https://www.meteoschweiz.admin.ch/ueber-uns/forschung-und-zusammenarbeit/internationale-zusammenarbeit/gcos/nationales-klimabeobachtungssystem.html>
- [13] WMO, Essential Climate Variables <https://public.wmo.int/en/programmes/global-climate-observing-system/essential-climate-variables>

- [14] Beniston M., 1997: Variations of snow depth and duration in the Swiss Alps over the last 50 years: Links to changes in large-scale climatic forcings, *Climatic Change* 36 (1997), 281–300
- [15] 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: 10.1029/2004GL020255
- [16] Laternser M., Schneebeli M., 2003: Long-term snow climate trends of the Swiss Alps (1931–99). *International Journal of Climatology* 23: 733–750
- [17] Marty C., 2008: Regime shift of snowdays in Switzerland, *Geophys. Res. Lett.* 35, L12501, doi: 10.1029/2008GL033998
- [18] Wüthrich C., 2008: Lange Schneemessreihen der Schweiz, Aufarbeitung der längsten Schneemessreihen und Trendanalyse ausgewählter Schneeparameter, Geographisches Institut der Universität Bern, Diplomarbeit
- [19] 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>
- [20] Scherrer S. C., Fischer E. M., Posselt R., Liniger M. A., Croci-Maspoli M., and Knutti R., 2016: Emerging trends in heavy precipitation and hot temperature extremes in Switzerland, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 121, doi: 10.1002/2015JD024634
- [21] MeteoSchweiz: 2018, Hitze und Trockenheit im Sommerhalbjahr 2018 - eine klimatologische Übersicht. Fachbericht MeteoSchweiz, 272, 38 pp
- [22] 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>
- [23] 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
- [24] 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
- [25] WMO, 1957: Definition of the tropopause. *WMO Bull.*, 6, 136
- [26] 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
- [27] 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
- [28] Philipona R., Mears C., Fujiwara M., Jeannot 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
- [29] 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

- [30] 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
- [31] 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
- [32] 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
- [33] 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
- [34] 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)
- [35] ESSL, The derecho and hailstorms of 18 August 2022
<https://www.essl.org/cms/the-derecho-and-hailstorms-of-18-august-2022>



printed in
switzerland

 PRINTED MATTER
CO₂ NEUTRAL
by Swiss Climate
SC2021070701

Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie
MeteoSchweiz
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'Aérologie
CH-1530 Payerne

serviceclient@meteosuisse.ch
www.meteosuisse.ch