



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 2021



Rapport climatologique 2021

Editeur

Office fédéral de météorologie et de climatologie
MétéoSuisse
Département climat
Operation Center 1
CH-8058 Zürich-Flughafen
serviceclient@meteosuisse.ch
meteosuisse.ch

Rédaction

Elias Zubler

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, Thomas Schlegel,
Christoph Spirig, René Stübi, Laurent Vuilleumier, Elias Zubler

Distribution

OFCL, Vente des publications fédérales
CH-3003 Berne
publicationsfederales.admin.ch
Numéro d'article 313.001.f
ISSN: 2296-1496

Merci de bien vouloir citer le présent rapport comme

suit: MétéoSuisse, 2022: Rapport climatologique 2021.
Office fédéral de météorologie et de climatologie.
MétéoSuisse, Zurich. 100 pages.

© MétéoSuisse 2022

Photos

Suisse pluvieuse



Adaptation de la période standard

Pour décrire le climat d'une région, les mesures météorologiques sont analysées sur une période définie de 30 ans. Conformément aux directives de l'Organisation météorologique mondiale (OMM), cette période dite standard est actualisée tous les dix ans afin de prendre en compte les changements les plus récents liés à la progression du changement climatique. Cela permet de garantir que les événements météorologiques de l'année de référence actuelle sont placés dans le bon contexte lors de la comparaison avec la norme.

Dans ce but, l'Office fédéral de météorologie et de climatologie MétéoSuisse utilise désormais la période standard 1991–2020 dans les chapitres 1–4 du rapport climatologique pour classer les conditions météorologiques annuelles et les particularités. Dans les rapports climatologiques précédents, la norme 1981–2010 a été utilisée. Comme la température moyenne annuelle en Suisse a augmenté de 0,4 à 0,5 °C selon les régions entre les deux périodes normées, certaines données de ce rapport climatologique ne sont pas directement comparables aux rapports précédents. En ce qui concerne les précipitations, les différences entre les périodes normées sont très faibles. La norme de la durée d'ensoleillement présente une augmentation, en particulier sur le Plateau.

Conformément aux recommandations de l'OMM, la période de référence 1961–1990 continue d'être utilisée pour les analyses de l'évolution climatique à long terme. Il est donc possible de comparer les déclarations des chapitres 4 et 5 concernés avec des rapports climatologiques antérieurs.

Table des matières

3	Résumé	4
	Summary	7
1	Evolution du climat	8
2	Diagrammes évolution annuelle	18
	Température, durée d'ensoleillement et précipitations	18
	Température, durée d'ensoleillement et précipitations	19
	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
	Printemps	32
	Eté	33
	Automne	33
	Saison pollinique	35
3	Particularités de l'année 2021	40
3.1	Importantes chutes de neige en janvier	40
3.2	Un mois de juin avec plusieurs épisodes de grêle	42
3.3	Inondations en juillet	44
4	Climat global et événements météorologiques	48
4.1	Grande chaleur sur l'Amérique du Nord et l'Asie	48
4.2	El Niño et La Niña	49
4.3	Evénements particuliers	51
5	Surveillance du climat	54
5.1	Atmosphère	56
5.1.1	Mesures au sol	56
	Température	56
	Jours de gel	60
	Journées d'été	61
	Précipitations	62
	Jours de fortes précipitations	65
	Précipitations des journées très humides	68
	Périodes de sécheresse	69
	Indice de sécheresse	70
5.1.2	Atmosphère libre	72
	Limite du zéro degré	72
	Altitude de la tropopause	74
	Tendance de la température à plusieurs niveaux standards	76
5.1.3	Composition de l'atmosphère	78
	Série de mesures de l'ozone d'Arosa et Davos	78
	Mesures de l'ozone à Payerne	79
	Intensités des pollens	82
5.2	Terres émergées	84
	Sommes de neige fraîche	84
	Journées de neige fraîche	85
	Indice du printemps	86
	Floraison des cerisiers près de Liestal et apparition de la première feuille du marronnier à Genève	87
5.3	Origine des données et méthodes	88
	Références	92

Résumé

4

En moyenne nationale, la température annuelle de 2021 a été inférieure de 0,2 °C à la norme 1991–2020 (+1,1 °C par rapport à la période de référence 1961–1990). L'année se place ainsi au 21^e rang depuis le début des mesures en 1864. Cinq mois ont été supérieurs à la norme 1991–2020, sept mois sont restés en dessous. L'année dernière, les grandes quantités de précipitations ont été particulièrement remarquables.

L'année a commencé par l'un des hivers les plus pluvieux depuis le début des mesures. Au Nord des Alpes, il a souvent neigé jusqu'à basse altitude. En Suisse orientale, des records de neige fraîche ont parfois été battus. L'hiver 2020/21 a en outre été doux. C'est surtout le mois de février qui y a contribué. Avec une moyenne nationale de 2,7 °C au-dessus de la norme 1991–2020, la Suisse a enregistré l'un des dix mois de février les plus doux depuis le début des mesures en 1864.

Cet hiver doux a été suivi d'un printemps froid et humide en fin de saison. Il s'agit du printemps le plus froid depuis plus de 30 ans, avec une moyenne nationale de 1,6 °C en dessous de la norme 1991–2020. Après deux mois de mars et avril pauvres en précipitations, la plupart des régions de Suisse ont reçu des quantités de pluie supérieures à la moyenne en mai. Localement, les précipitations ont atteint 150 à 200 % de la norme 1991–2020, ce qui a marqué le début d'une période inhabituellement pluvieuse.

Au Nord des Alpes, l'été a été l'un des plus humides depuis le début des mesures en 1864, avec localement 170 % de la norme 1991–2020. En raison des grandes quantités de pluie, plusieurs rivières et lacs sont sortis de leur lit vers la mi-juillet. Au Nord des Alpes, plusieurs chutes de grêle dévastatrices ont traversé la Suisse, surtout en juin. La taille des grêlons a atteint 6–7 cm ou plus dans certaines régions. Au Sud des Alpes, les sommes de précipitations ont atteint des valeurs élevées en été, surtout dans le nord-ouest du Tessin. Au Sud également, la grêle a causé d'importants dégâts. La température moyenne en été s'est située dans la fourchette de la norme 1991–2020. C'est surtout le quatrième mois de juin le plus chaud en Suisse qui a contribué à la chaleur estivale.

L'automne a été pauvre en précipitations sur l'ensemble du pays. Au Nord des Alpes, il a été l'un des moins pluvieux depuis le début des mesures en 1864. En conséquence, l'ensoleillement a été supérieur à la moyenne, surtout au Nord des Alpes.

Au niveau mondial, l'année 2021 a présenté un écart de +0,8 °C par rapport à la norme 1961–1990. Les années 2015–2021 sont les sept années les plus chaudes depuis le début des mesures en 1850, l'année 2021 occupant le septième rang, et ce malgré les conditions La Niña qui règnent dans le Pacifique équatorial depuis 2020. Dans l'hémisphère Nord en

particulier, l'année 2021 a été très chaude (6^e rang, +1,1 °C par rapport à la norme 1961–1990). Dans la moitié sud du globe, la température moyenne annuelle en 2021 a atteint le 9^e rang et +0,5 °C par rapport à la norme 1961–1990. En Europe, les vagues de chaleur ont été intenses pendant les mois d'été, avec des températures dépassant largement les 40 °C dans le bassin méditerranéen.

L'évolution à long terme des températures en Suisse entre 1864 et 2021 montre une nette tendance à des températures de plus en plus chaudes pour toutes les saisons. En moyenne annuelle, la tendance linéaire est de 1,4 °C par siècle ou de 2,2 °C sur l'ensemble de la période de mesures. En raison de l'augmentation générale des températures en Suisse, le nombre de journées estivales a considérablement augmenté depuis 1959, tandis que le nombre de jours de gel a nettement diminué. De même, une augmentation de la limite du zéro degré a été observée au cours de la même période. Le réchauffement s'exprime également par un développement plus précoce de la végétation.

L'évolution à long terme des précipitations entre 1864 et 2021 montre, pour le Plateau, une tendance significative à la hausse des sommes de précipitations pour l'année et en hiver. Les autres saisons ne montrent aucun changement à long terme dans les sommes pluviométriques. Au Sud des Alpes, aucun changement à long terme dans le régime des précipitations n'apparaît pour toutes les saisons et aussi pour l'année. 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

7 The annual average temperature in 2021 was 0.2 °C below the average over the normal period 1991–2020 (+1.1 °C compared to the reference period 1961–1990). This puts the last year in 21st place since measurements began in 1864. Five months were above the 1991–2020 norm. Seven months remained below the norm. For once, it was the large amounts of precipitation that were the main cause for concern rather than high temperatures.

The year began with one of the wettest winters since the beginning of systematic measurements. On the northern side of the Alps, snow often fell even at low altitudes. In eastern Switzerland, new snow records were set in some places. The winter of 2020/21 was also mild, with February being the main contributor. With a national average of 2.7 °C above the 1991–2020 norm, Switzerland recorded one of the ten mildest February months since measurements began in 1864.

The mild winter was followed by a cold spring with a wet end. It was the coldest spring in over 30 years, with a national average of 1.6 °C below the 1991–2020 norm. After two months of low precipitation in March and April, most areas of Switzerland received above-average precipitation in May. Locally, the precipitation totals in May rose to 150–200 % of the 1991–2020 norm, marking the beginning of an unusually rainy period.

On the northern side of the Alps, the summer was one of the wettest since measurements began in 1864, with locally around 170 % of the 1991–2020 norm. The large amounts of rain caused several rivers and lakes to burst their banks towards the middle of July. On the north side of the Alps, several devastating hailstorms hit Switzerland, especially in June. The grain sizes reached 6–7 cm or more in some areas. On the south side of the Alps, precipitation totals reached high levels in summer, especially in the northwest of Ticino. Hail also caused great damage in the south. The average temperature in summer was within the range of the norm 1991–2020. June was the fourth warmest ever in Switzerland, and therefore contributed mostly to the summer warmth in 2021.

There was only little precipitation in all autumn months throughout Switzerland. North of the Alps, it was regionally one of the months with the lowest precipitation sum since measurements began in 1864. Accordingly, there was an above-average amount of sunshine, especially on the northern side of the Alps.

Globally, the year 2021 showed a deviation of +0.8 °C from the 1961–1990 norm. The years 2015 to 2021 are the seven warmest years since measurements began in 1850, with 2021 ranking 7th, despite the La Niña conditions that have

prevailed in the equatorial Pacific since 2020. Especially in the northern hemisphere, 2021 was very warm (rank 6, +1.1 °C compared to the norm 1961–1990). In the southern half of the globe, the annual average temperature of 2021 reached rank 9 and +0.5 °C to the norm 1961–1990. In Europe, there were intense heat waves during the summer months with temperatures well above 40 °C in the Mediterranean region.

The long-term Swiss temperature development 1864–2021 shows a clear trend towards increasingly warmer temperatures in all seasons. The annual average linear trend is 1.4 °C per century or 2.2 °C over the entire measurement period. In line with the general temperature increase in Switzerland, the number of summer days has increased markedly in the period since 1959, while the number of frost days has decreased significantly. An increase in the freezing level can also be observed in the same period. The warming is also expressed in an earlier development of vegetation.

The long-term precipitation development 1864–2021 shows a significant trend towards higher precipitation totals for the year and winter on the Central Plateau. The other seasons show no long-term change in precipitation totals. On the southern side of the Alps, no long-term change can be observed in either the annual or seasonal 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. Swiss summers have become significantly drier over the last 40 years. In addition to slight decreases in precipitation, increasing evaporation has contributed to the drier conditions.

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

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

1 | Evolution du climat 2021

8

En 2021, pour une fois, ce ne sont pas les températures élevées qui ont été l'élément météorologique déterminant en Suisse, mais les nombreuses précipitations. Un hiver doux et riche en précipitations, avec localement d'importantes chutes de neige, a été suivi d'un printemps froid et d'une fin de saison humide. Au Nord des Alpes, l'été a été l'un des plus pluvieux depuis le début des mesures. Les grandes quantités de pluie persistantes ont fait déborder plusieurs rivières et lacs vers la mi-juillet. Contrairement à l'été arrosé, l'automne s'est souvent montré peu arrosé et ensoleillé.

Proche de la norme

En moyenne nationale, la température annuelle 2021 a été inférieure de 0,2 °C à la norme 1991–2020. Cinq mois ont été plus doux que la norme 1991–2020. Les écarts les plus importants ont été enregistrés en février, avec 2,7 °C, ainsi qu'en juin et en septembre, avec 1,7 °C au-dessus de la norme 1991–2020. Sept mois sont restés en dessous de la norme. Les écarts négatifs les plus importants ont été enregistrés en mai avec 2,6 °C, en avril avec 1,8 °C et en août avec 1,2 °C en dessous de la norme 1991–2020. En raison des conditions de température variables, 2021 ne fait tout juste pas partie des 20 années les plus chaudes depuis le début des mesures en 1864. Elle se classe au 21^e rang.

La 21^e place peut paraître peu spectaculaire. Mais en y regardant de plus près, on constate qu'avant 1989, seules deux années ont atteint un niveau de température aussi élevé. Il s'agit des années 1961 et 1947. Avant 1989, l'année 2021 aurait été considérée comme exceptionnellement chaude. En raison du changement climatique, la température annuelle de 2021 se situe aujourd'hui autour de la moyenne (norme 1991–2020).

Hiver avec une fin très douce

La température hivernale de décembre 2020 à février 2021 a été en moyenne nationale de 0,5 °C supérieure à la norme 1991–2020. Localement, il s'agit de l'un des dix hivers les plus doux depuis le début des mesures en 1864. C'est surtout le mois de février très doux qui y a contribué.

Le mois de décembre 2020 s'est situé en moyenne nationale dans la fourchette de la norme 1991–2020. En revanche, en montagne, les valeurs de décembre sont restées régionalement plus de 1 °C en dessous de la norme. Le mois de janvier

s'est également montré froid dans les régions de montagne situées au-dessus de 1000 m, avec plus de 2 °C en dessous de la norme 1991–2020. Au Nord des Alpes, la température en janvier s'est située dans la norme en de nombreux endroits.

Avec une moyenne nationale de 2,7 °C au-dessus de la norme 1991–2020, la Suisse a enregistré l'un des dix mois de février les plus doux depuis le début des mesures en 1864. De nombreux jours avec des températures bien au-dessus de la normale ont été compensées par une courte vague de froid. En montagne, il s'agit localement du deuxième à quatrième mois de février le plus doux depuis le début des mesures. Le Sud des Alpes et le Valais ont également enregistré localement le quatrième mois de février le plus doux depuis le début des mesures.

Records de température en février

Au cours de la dernière décade du mois de février, le Nord des Alpes a connu des températures maximales journalières record sous l'effet d'un ensoleillement généreux. Le 21 février 2021, le Liechtenstein a mesuré sa température la plus élevée pour un mois de février avec 21,9 °C à Vaduz.

Un hiver riche en précipitations

Les mois de décembre et janvier, avec de fortes précipitations et de la neige dans certaines régions, ont donné lieu à des précipitations hivernales largement excédentaires. Localement, il s'agit d'un des hivers les plus arrosés depuis le début des mesures. En décembre, les sommes pluviométriques mensuelles ont atteint de nouveaux records dans le Val Müstair et le Val Poschiavo. Dans les Alpes, les précipitations ont pris la forme de fortes chutes de neige, au Sud des

Alpes également jusqu'à basse altitude. Le mois de janvier s'est révélé être le plus humide depuis au moins 60 ans sur de nombreux sites de mesures. Le mois de février a souvent connu des précipitations déficitaires. Seuls le Sud des Alpes et l'Engadine ont relevé des précipitations excédentaires. Dans l'air doux, les précipitations se sont souvent produites sous forme de pluie jusqu'à des altitudes élevées.

Chutes de neige localement record

Pendant le mois de janvier riche en précipitations, la neige est souvent tombée jusqu'à basse altitude au Nord des Alpes. La Suisse orientale a connu à la mi-janvier l'un des apports de neige fraîche les plus importants depuis le début des mesures. A Coire, la somme de neige fraîche tombée en 3 jours a atteint 82 cm, soit la valeur la plus élevée de toute la série de mesures effectuées depuis bien plus de 100 ans.

Hiver peu ensoleillé au Sud

En raison des fréquentes précipitations, l'hiver au Sud des Alpes a été particulièrement sombre. A Locarno-Monti, avec 75 % de la norme 1991–2020, il s'agit du troisième hiver le moins ensoleillé, à Lugano, avec 76 % de la normale, du quatrième le moins ensoleillé depuis le début des mesures homogénéisées il y a près de 60 ans. L'hiver a également été peu ensoleillé sur les sommets alpins, en Valais central et dans le Jura. Ailleurs, les valeurs ont généralement atteint 80 à 100 % de la norme.

Poussières du Sahara

En février, de la poussière du Sahara a été transportée vers la Suisse en deux vagues, ce qui a provoqué une opacité massive de l'atmosphère, en particulier lors du premier épisode du 6 février. Lors du deuxième épisode, du 22 au 25 février, l'opacité de l'atmosphère a également été bien visible, mais nettement moins que lors du premier épisode.

Printemps froid avec une fin arrosée

La Suisse a connu le printemps le plus froid depuis plus de 30 ans, avec une moyenne nationale de 1,6 °C en dessous de la norme 1991–2020. Après un mois de mars légèrement moins doux que la normale, le froid est arrivé en avril et en mai. Le mois d'avril a été le plus froid de ces 20 dernières années au niveau national, et même le plus froid depuis plus de 30 ans en Haute-Engadine. La température en mai est restée en moyenne nationale 2,6 °C en dessous de la norme 1991–2020. Au cours des 30 dernières années, seuls les mois de mai 2019 et 2013 se sont montrés aussi frais.

Après deux mois de mars et avril pauvres en précipitations, la plupart des régions de Suisse, à l'exception du Sud des Alpes, ont reçu des précipitations abondantes en mai. Localement, les sommes en mai ont atteint 150–200 % de la norme 1991–2020. Mai a été le début d'une période de trois mois exceptionnellement pluvieuse.

Un été arrosé

Au Nord des Alpes, l'été 2021 a été l'un des plus pluvieux jamais enregistrés, avec des valeurs dépassant localement 170 % de la norme 1991–2020. Berne a enregistré le troisième été le plus pluvieux depuis le début des mesures en 1864, avec 168 % de la norme. Dans les Alpes, Göschenen a enregistré le quatrième été le plus arrosé depuis le début des mesures en 1883, avec 175 % de la norme. Le dernier été aussi pluvieux avait été celui de 1987, marqué par de graves intempéries, avec 184 % de la norme.

Au Sud des Alpes, les précipitations estivales ont atteint des valeurs élevées, notamment dans le nord-ouest du Tessin. Airolo a enregistré 148 %, Robiei 160 % de la norme 1991–2020. Dans les autres régions du Sud des Alpes, les précipitations ont été moins importantes, atteignant 100–140 % de la norme 1991–2020.

Inondations

Au Nord des Alpes, après un mois de mai pluvieux, l'été a apporté le mois de juin et le mois de juillet les plus pluvieux depuis le début des mesures dans certaines régions. Le mois de juillet a également été le plus humide jamais enregistré sur plusieurs sites de mesures ayant des données à long terme. La persistance de grandes quantités de pluie a entraîné des crues et des inondations de plusieurs lacs et rivières au Nord des Alpes vers la mi-juillet.

Des chutes de grêle massives

Au Nord des Alpes, le mois de juin en particulier a été marqué par plusieurs chutes de grêle dévastatrices. Le 28 juin, le deuxième plus grand événement de grêle depuis le début des enregistrements s'est produit. En de nombreux endroits, des grêlons de taille nettement supérieure à 2 cm, voire même plus de 7 cm, ont été signalés pendant l'événement. Des grêlons d'une telle taille constituent localement un événement extrême extrêmes qui, même dans les régions plus habituées à la grêle, sont statistiquement dépassés à un endroit plus rarement que tous les 50 ans.

La grêle a laissé derrière elle de nombreux dégâts sur les bâtiments (vitres, tuiles et façades), les cultures et jardins, ainsi que sur les véhicules. De plus, les bouches d'égout bloquées par les grêlons et les feuilles mortes ont contribué aux inondations.

Au Sud des Alpes, la grêle a causé d'importants dégâts à l'agriculture, surtout en juillet. Régionalement, il y a eu des pertes totales dans les vignes et la production de légumes. Les grêlons ont mesuré de 4 à 5 cm de diamètre. De tels grêlons ne se produisent en moyenne que tous les 10 à 20 ans

Violent orage au-dessus de Zurich

Dans la nuit du 12 au 13 juillet, un orage particulièrement violent s'est abattu sur la ville de Zurich. Les rafales, localement supérieures à 100 km/h, ont déraciné ou cassé de nombreux arbres. Les arbres abattus par la tempête ont causé des dommages importants aux voitures, aux bâtiments et aux lignes aériennes des transports publics. En plus des rafales, l'orage a également apporté de la grêle et d'énormes quantités d'eau en quelques minutes. En l'espace de 10 minutes, 31,1 mm de pluie sont tombés à Waldegg, à la périphérie de la ville, et 27,2 mm à Zurich-Affoltern. Pour le site de mesures de Zurich-Affoltern, il s'agit du deuxième cumul le plus élevé sur 10 minutes de la série de mesures disponibles depuis 40 ans. Les 31,1 mm enregistrés à Waldegg figurent parmi les dix cumuls sur 10 minutes les plus importants au Nord des Alpes.

Peu de journées tropicales localement

En été 2021, une température moyenne nationale 13,8 °C a été relevée. Cette valeur a été conforme à la norme 1991–2020. Le quatrième mois de juin le plus chaud en Suisse a été le principal contributeur à la chaleur estivale. La température en juillet a été inférieure de 0,7 °C et celle d'août de 1,2 °C à la norme 1991–2020.

Le nombre de journées tropicales avec des températures maximales égales ou supérieures à 30 °C est souvent resté inférieur à 10 en Suisse durant l'été 2021. A Genève, 8 journées tropicales ont été comptabilisées entre juin et août, contre une normale de 17. Neuchâtel n'a enregistré qu'une seule journée tropicale, la norme 1991–2020 étant de 10. Au Sud des Alpes, il y a généralement eu entre 10 et 15 journées tropicales, près de 20 à Biasca. La norme 1991–2020 se situe ici entre 11 et 20 journées tropicales.

Les étés très chauds de 2015, 2017, 2018 et 2019 ont fourni entre 20 et plus de 30 journées tropicales dans certaines régions de Suisse. Dans certains endroits, il y a même eu environ 40 journées tropicales. L'été 2003 a été extrême, avec 50 à près de 70 journées tropicales au Sud des Alpes et 40 à 50 journées tropicales dans certaines régions du Nord des Alpes et du Valais.

Peu de précipitations en automne

En Suisse, l'automne s'est montré peu arrosé sur une grande partie du territoire de septembre à novembre. Au Nord des Alpes, il s'agit dans certaines régions de l'un des automnes les moins pluvieux depuis le début des mesures en 1864. A Zurich, avec 33 % de la norme 1991–2020, il s'agit de l'automne le moins pluvieux depuis le début des mesures en 1864. Berne a enregistré le deuxième automne le moins pluvieux depuis le début des mesures en 1864, avec 39 % de la norme.

Beaucoup de soleil

Grâce aux mois de septembre et d'octobre ensoleillés, la Suisse a connu un automne globalement ensoleillé. Localement, il s'agit de l'un des automnes les plus ensoleillés de ces 60 dernières années. Berne a enregistré le 4^e automne le plus ensoleillé, Bâle, Neuchâtel, Zurich et Lucerne le 6^e le plus ensoleillé depuis 1961.

En septembre, c'est surtout le Nord des Alpes qui a bénéficié d'un ensoleillement bien supérieur à la moyenne. Dans certaines régions, il a été enregistré l'un des mois de septembre les plus ensoleillés de ces 60 dernières années. Genève a enregistré le 6^e mois d'octobre le plus ensoleillé depuis le début des mesures en 1897. En revanche, en novembre, l'ensoleillement est resté inférieur à la norme 1991–2020 en raison de la présence fréquente de stratus au Nord des Alpes et dans les basses vallées du Nord des Alpes.

Bilan annuel

La température annuelle 2021 a été légèrement inférieure à la norme 1991–2020 dans de nombreuses régions de Suisse. Au Tessin, certaines régions ont enregistré des valeurs légèrement supérieures à la norme. Les sites de mesures de l'Engadine ont enregistré une température annuelle entre 0,4 °C et 0,6 °C en dessous de la norme. La moyenne nationale a été inférieure de 0,2 °C à la norme 1991–2020. L'année 2021 s'est classée au 21^e rang depuis le début des mesures en 1864.

Les précipitations annuelles en 2021 ont souvent atteint 100–120 % de la norme 1991–2020. Au Sud des Alpes ainsi que dans les Alpes, les valeurs se sont localement situées entre 80 et 100 % de la norme.

L'ensoleillement annuel en 2021 s'est souvent situé entre 95 et 105 % de la norme 1991–2020. Sur le Tessin méridional, il a presque atteint l'équivalent de 110 % de la norme.

Station	Altitude m	Température °C			Durée d'ensoleillement h			Précipitations mm		
		moyenne	norme	écart	somme	norme	%	somme	norme	%
Berne	553	9,2	9,3	-0,1	1862	1797	104	1137	1022	111
Zurich	556	9,6	9,8	-0,2	1734	1694	102	1127	1108	102
Genève	420	10,9	11,0	-0,1	1950	1887	103	867	946	92
Bâle	316	10,6	10,9	-0,3	1671	1687	99	922	842	110
Engelberg	1036	6,6	6,8	-0,2	1362	1380	99	1679	1568	107
Sion	482	10,3	10,7	-0,4	2181	2158	101	696	583	119
Lugano	273	13,1	13,0	0,1	2297	2120	108	1444	1567	92
Samedan	1709	1,7	2,3	-0,6	1835	1767	104	647	710	91

Norme Moyenne climatologique 1991–2020

Écart Écart de température par rapport à la norme 1991–2020

% Pourcentage par rapport à la norme 1991–2020 (norme = 100 %)

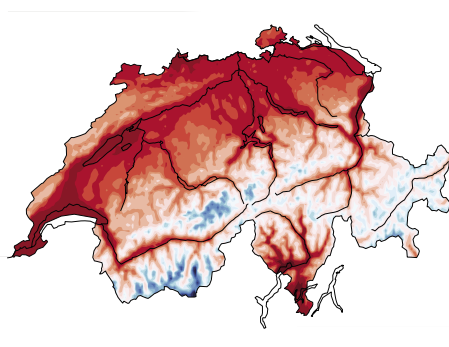
Tableau 1.1

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

Température, précipitations et durée d'ensoleillement de l'année 2021

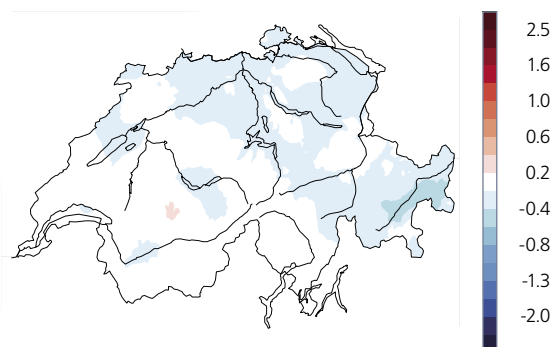
Valeurs mesurées en 2021

Températures moyennes annuelles en °C

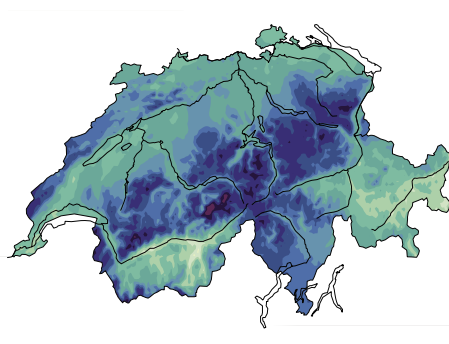


Ecart à la norme 1991–2020

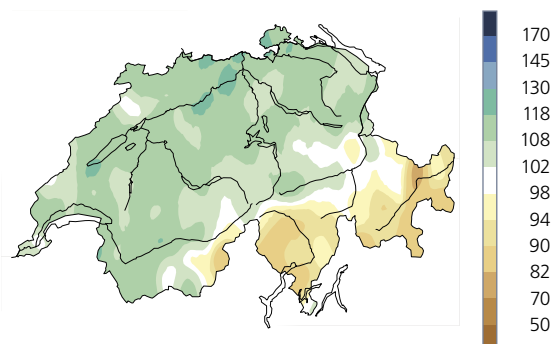
Ecart à la norme de la température moyenne en °C



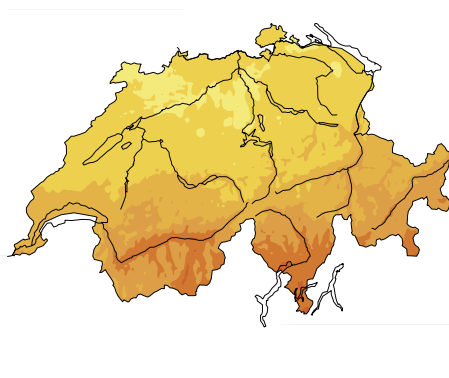
Somme annuelle des précipitations en mm



Somme des précipitations en % de la norme



Rapport à l'ensoleillement annuel maximal en %



Durée d'ensoleillement en % de la norme

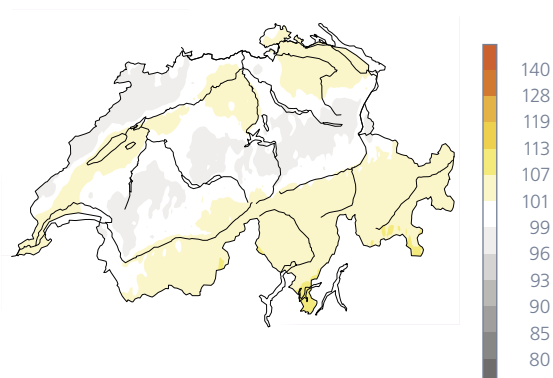


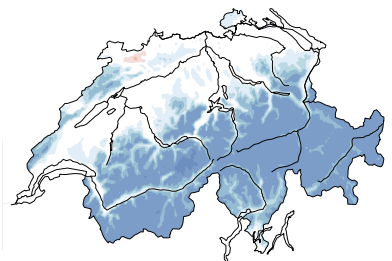
Figure 1.1

Répartition spatiale des températures, des précipitations et de la durée d'ensoleillement en 2021.

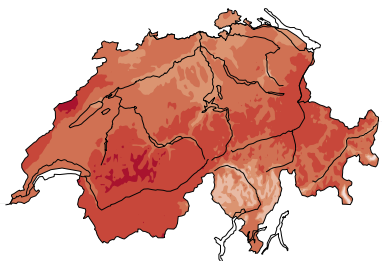
Les valeurs mesurées sont représentées à gauche et les rapports à la norme climatologique 1991–2020 à droite.

13 Température mensuelle 2021 écart à la norme 1991–2020

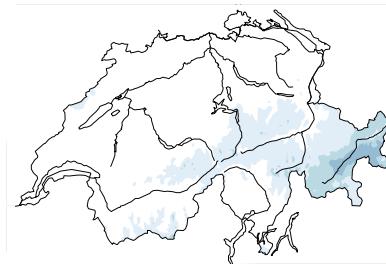
Janvier 2021



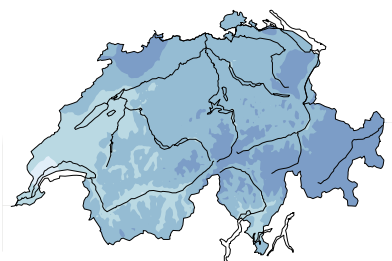
Février 2021



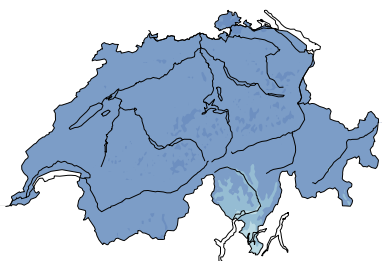
Mars 2021



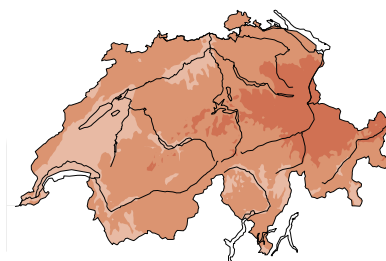
Avril 2021



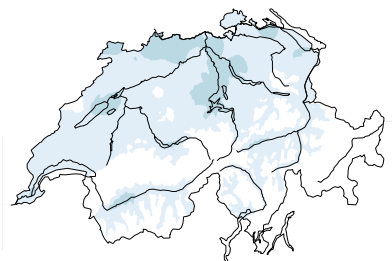
Mai 2021



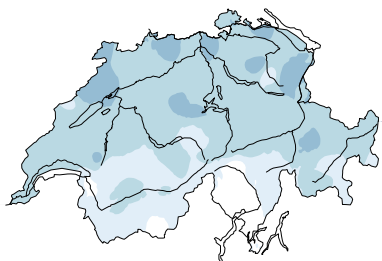
Juin 2021



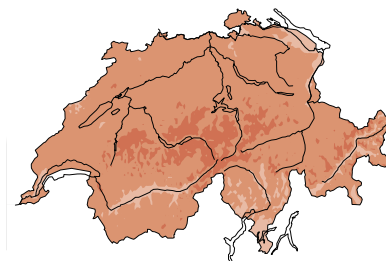
Juillet 2021



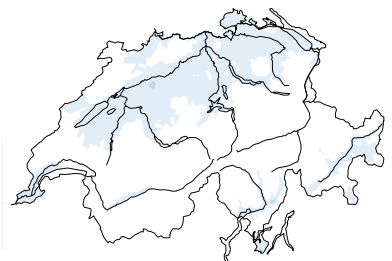
Août 2021



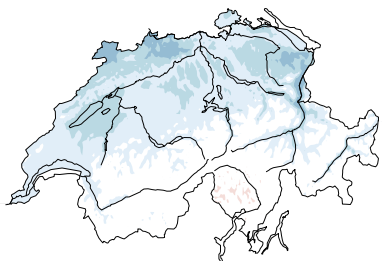
Septembre 2021



Octobre 2021



Novembre 2021



Décembre 2021

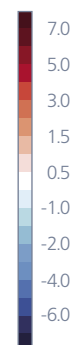
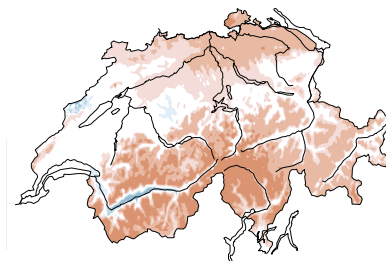


Figure 1.2

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

Précipitations mensuelles 2021 en % de la norme 1991–2020

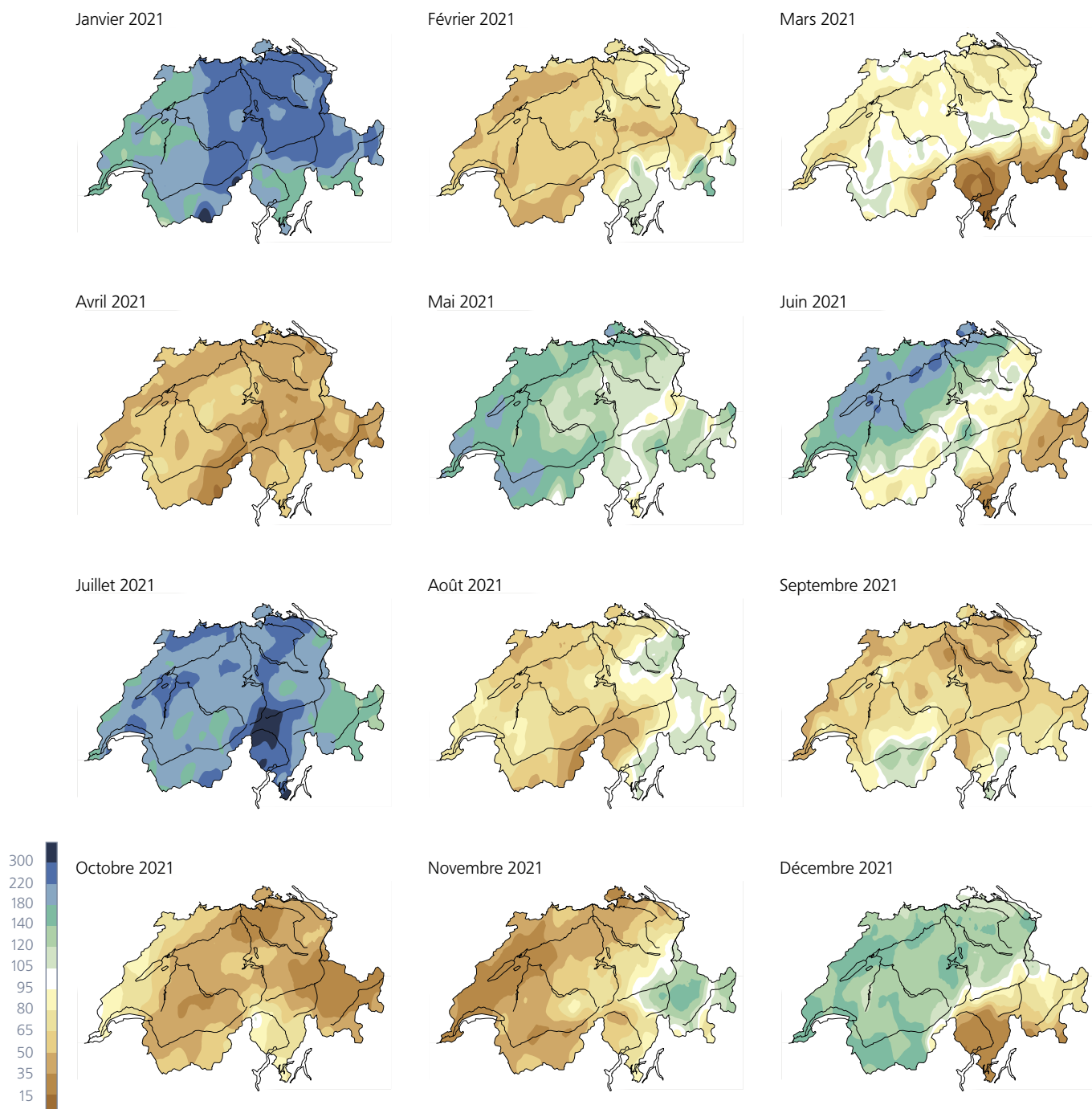
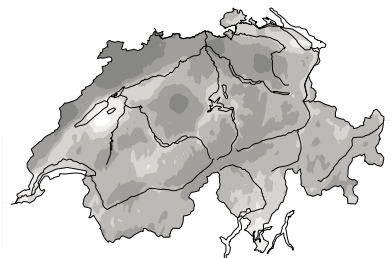


Figure 1.3

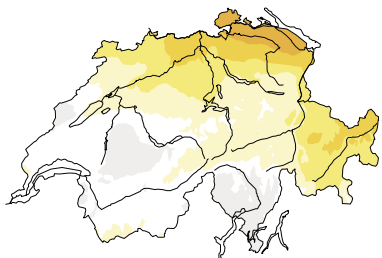
Répartition spatiale des précipitations mensuelles en % de la norme 1991–2020.

15 **Durée mensuelle d'ensoleillement 2021
en % de la norme 1991–2020**

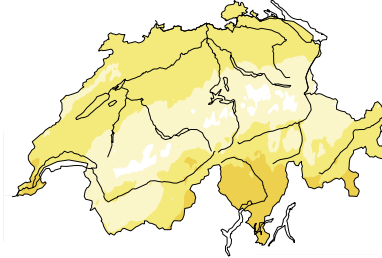
Janvier 2021



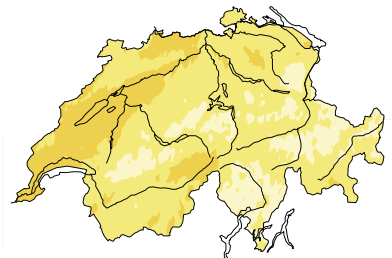
Février 2021



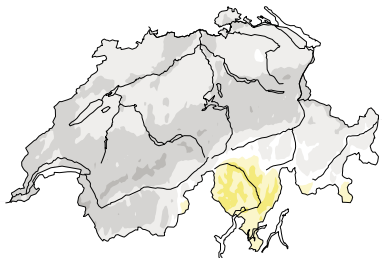
Mars 2021



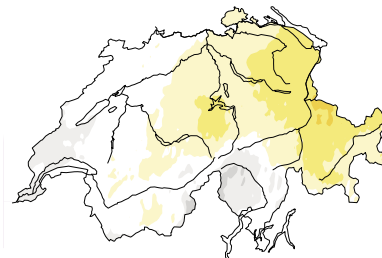
Avril 2021



Mai 2021



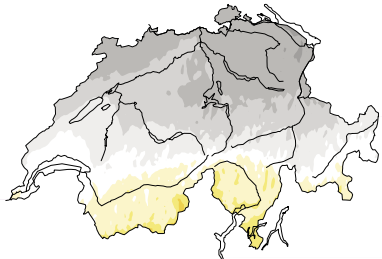
Juin 2021



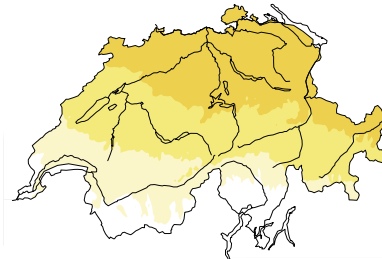
Juillet 2021



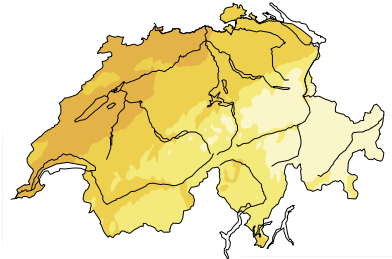
Août 2021



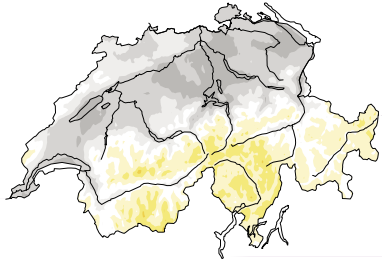
Septembre 2021



Octobre 2021



Novembre 2021



Décembre 2021

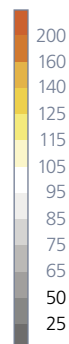
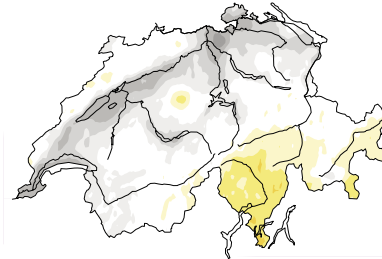


Figure 1.4
Répartition spatiale de la durée mensuelle d'ensoleillement en % de la norme 1991–2020.





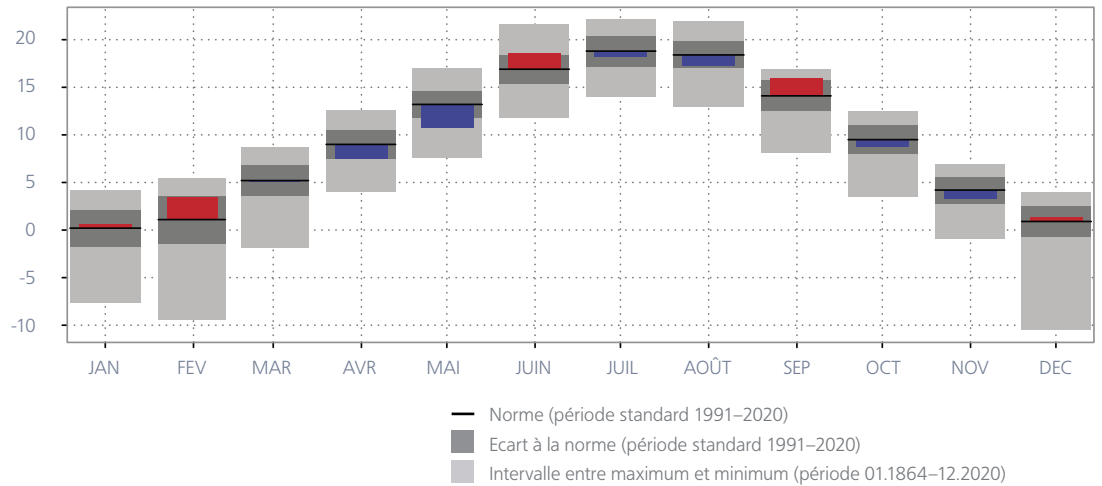
2| Diagrammes d'évolution annuelle

18

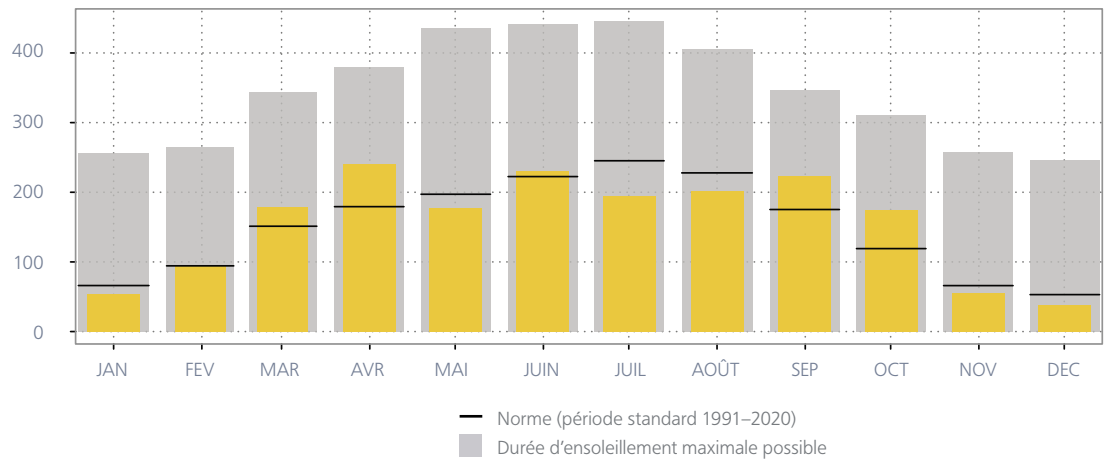
Température, durée d'ensoleillement et précipitations Berne-Zollikofen (553 m) 1.1.–31.12.2021

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.

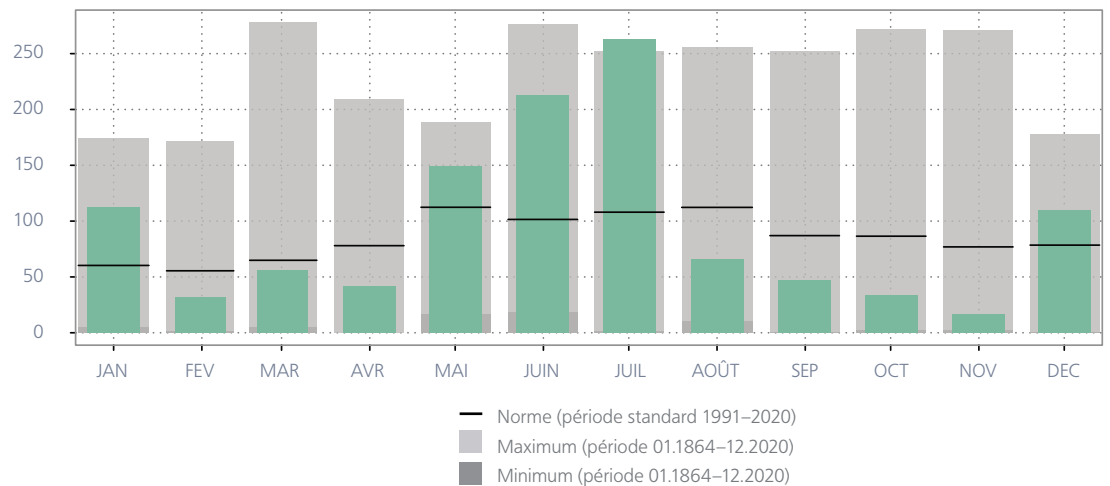
Moyenne mensuelle de la température de l'air en °C: Moyenne: 9,2; norme: 9,3



Durée mensuelle d'ensoleillement en h: Somme: 1861,9; norme: 1797,1



Somme mensuelle des précipitations en mm: Somme: 1136,6; norme: 1021,8



19 Température, durée d'ensoleillement et précipitations Lugano (273) 1.1.–31.12.2021

Moyenne mensuelle de la température de l'air en °C: Moyenne: 13,1; norme: 13,0

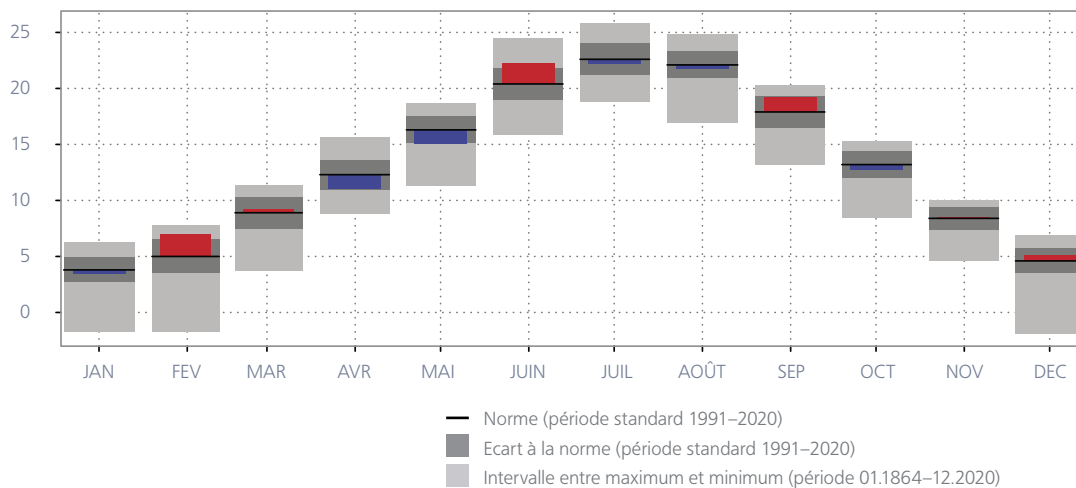
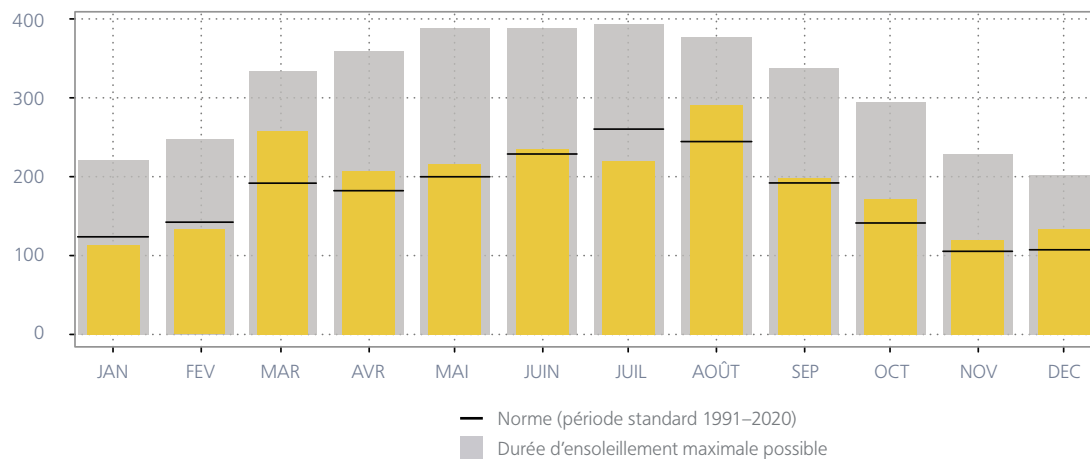
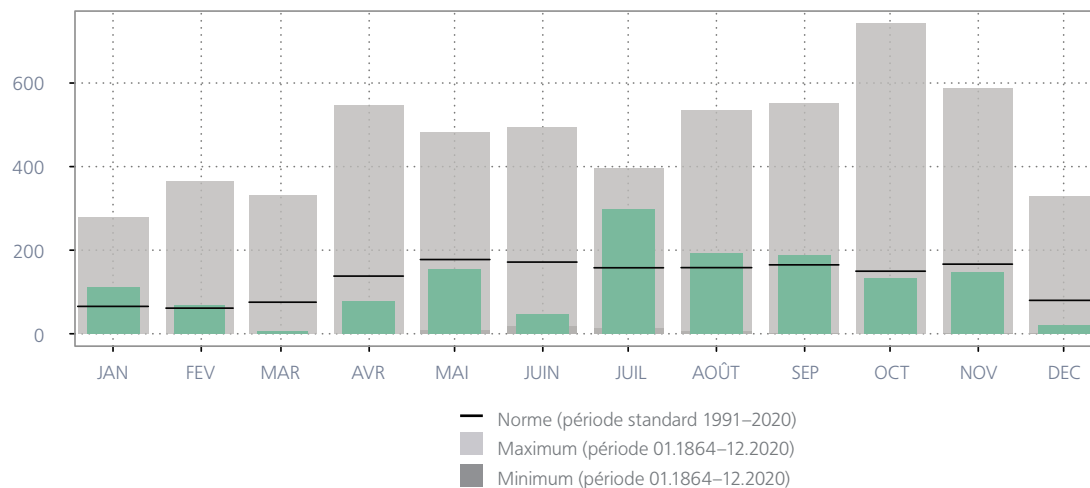


Figure 2.2
Evolution annuelle de la température mensuelle, de la durée mensuelle d'ensoleillement et des sommes mensuelles de précipitations à la station de mesure de Lugano.

Durée mensuelle d'ensoleillement en h: Somme: 2296,0; norme: 2119,8



Somme mensuelle des précipitations en mm: Somme: 1443,6; norme: 1566,6



En comparaison avec la moyenne des 18 dernières années, les valeurs de rayonnement global pour 2021 ont été en moyenne inférieures d'environ 3 % sur l'ensemble de la Suisse. L'année dernière, de très grandes différences spatiales ont été remarquées. Alors que sur le Plateau, les valeurs ont été dans la norme, en Valais, elles ont été jusqu'à 9 W/m^2 en dessous de la norme. Le nord du Tessin a également reçu jusqu'à 5 W/m^2 de rayonnement solaire en moins. Sur la crête principale des Alpes occidentales, il a été enregistré jusqu'à 9 W/m^2 de rayonnement en moins. Dans les principales vallées du canton des Grisons, il a été mesuré par endroits jusqu'à 7 W/m^2 de rayonnement solaire en plus.

Sous nos latitudes, le rayonnement global est déterminé par un cycle saisonnier marqué qui suit l'écliptique (Figure 2.4). Les moyennes journalières du rayonnement solaire varient toutefois fortement selon la couverture nuageuse journalière.

L'année 2021 a été extrêmement changeante. Jusqu'à la mi-février, le temps a été très maussade. Une deuxième moitié de février très ensoleillée a été suivie à nouveau de nombreux jours maussades. Le soleil a dominé la deuxième moitié de mars et la première moitié d'avril. Après une période nuageuse jusqu'à la mi-mai, de très nombreuses journées ensoleillées ont suivi fin mai et en juin. En juin, des valeurs record ont été mesurées, surtout en Suisse orientale. Le mois de juillet a été extrêmement maussade dans tout le pays, avec des valeurs de rayonnement jusqu'à 50 W/m^2 en dessous de la norme. En août, le soleil a de nouveau dominé et le mois de septembre a de nouveau été nettement supérieur à la norme en Suisse orientale. En octobre également, de nombreuses journées ensoleillées ont été comptabilisées. En novembre et décembre, de nombreuses journées maussades ont à nouveau suivi. En novembre, les valeurs de rayonnement global ont été inférieures à la norme dans toute la Suisse.

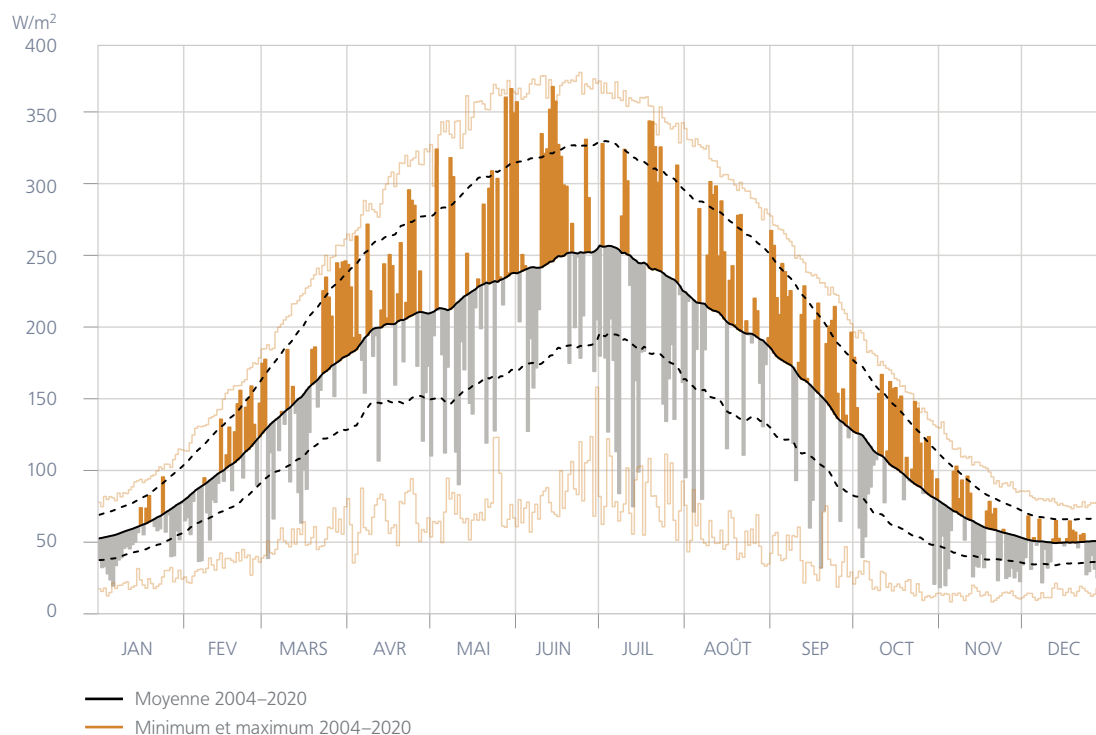


Figure 2.4
Moyenne journalière du rayonnement global pour toute la Suisse pour 2021. Les barres orange indiquent un rayonnement supérieur à la moyenne et les barres grises des valeurs inférieures à la moyenne par rapport à la période 2004–2020.

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 deux fois par jour à Payerne (à 11 et 23 UTC). L'altitude de la limite du zéro degré ne peut pas toujours être déterminée avec certitude à l'aide du ballon-sonde. En cas d'inversion, plusieurs limites du zéro degré peuvent apparaître dans le même profil. Dans ce cas, on utilise à chaque fois la position la plus élevée. Si la température du sol au moment du radiosondage est inférieure à 0 °C, une limite du zéro degré négative fictive est calculée en partant de la température du sol et en augmentant la température fictive de 0,5 °C par 100 m vers le bas jusqu'à ce que la limite du zéro degré soit atteinte. Cela conduit à une limite négative du zéro degré (en dessous du niveau de la mer) dans des conditions très froides en hiver.

La Figure 2.5 montre l'évolution annuelle des altitudes journalières du zéro degré pendant l'année 2021. 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 norme pour la période 1991–2020 est de 2600 m. Les rapports climatologiques précédents utilisaient la norme 1981–2010,

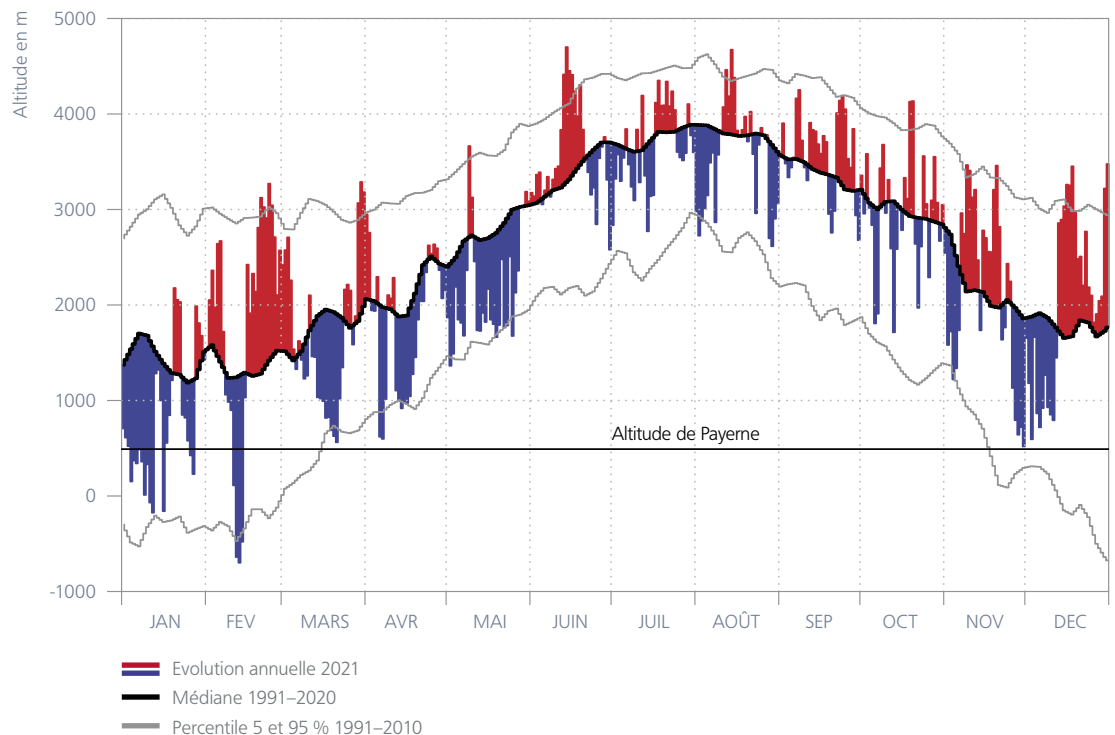
où la limite du zéro degré se situait en moyenne à 2520 m. L'augmentation de 80 m est due au réchauffement de 0,5 °C entre les deux périodes de référence.

La médiane annuelle de la limite du zéro degré en 2021 est de 2680 m, soit 80 m de plus que la médiane de la période normale et 90 m de moins que la médiane de l'année 2020. Un aperçu des valeurs extrêmes mesurées en 2021: le maximum en 2021 a été enregistré le 14 juin avec une valeur de 4700 m, soit 163 m de moins qu'en 2020. Le 13 février, le minimum de -699 m a été enregistré, soit 1250 m de moins qu'en 2020. Contrairement à l'année 2020, où aucune valeur journalière n'avait été mesurée en dessous du niveau du sol, en 2021, un nombre nettement plus important d'écartés négatifs a été enregistré en janvier et février. De même, le pourcentage de jours où les écarts de la limite du zéro degré par rapport à la référence ont dépassé le seuil du 95^e centile en 2021 (barres rouges dépassant la courbe grise supérieure) a été de 7,1 %, contre 18,5 % en 2020. Le pourcentage d'anomalies négatives sous le 5^e centile a été de 3,8 %.

En général, la médiane annuelle de 2021 confirme la tendance positive des valeurs annuelles depuis le milieu des années 1980 (voir chapitre 5.1.2).

Médiane 2021: 2680 m; norme 1991–2020: 2600 m

Figure 2.5
Altitude de la limite du zéro degré en atmosphère libre au-dessus de Payerne en 2021 mesurée par les radiosondages aérologiques de 23 UTC et 11 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 %.



23 Altitude de la tropopause

La tropopause sépare la troposphère, marquée par les conditions météorologiques, de la stratosphère, située au-dessus, dont les couches sont plutôt stables et très sèches. La tropopause se caractérise toujours par une nette modification du profil de température et correspond souvent à la température la plus basse entre ces deux couches. L'altitude de la tropopause indique si le temps est plutôt déterminé par une basse pression (tropopause basse) ou une haute pression (tropopause haute). Comme la limite du zéro degré, l'altitude de la tropopause est déterminée deux fois par jour à Payerne à partir des ballons-sondes. 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 Figure 2.6 montre l'évolution des moyennes journalières de l'altitude de la tropopause en 2021. Les valeurs sont représentées à la fois en valeur absolue (altitude en mètres au-dessus du niveau de la mer) et par rapport aux valeurs de référence journalières calculées sur la période de la norme 1991–2020 (courbe noire). Les barres bleues et rouges indiquent les écarts par rapport à la référence. L'afflux de masses d'air polaire (ou arctique) dans l'atmosphère au-dessus de la Suisse entraîne un abaissement de la tropopause et donc

souvent des valeurs inférieures à la ligne de référence. Les valeurs journalières ont été inférieures à la valeur de référence pendant 52,6 % du temps. Par exemple, les 15 premiers jours de 2021 ont été marqués par la série d'anomalies négatives la plus intense de l'année.

Au contraire, lors de l'arrivée d'une masse d'air chaud d'origine tropicale (maritime ou continentale), l'altitude de la tropopause augmente par rapport aux valeurs caractéristiques de l'atmosphère au-dessus de la Suisse. Les hauteurs de tropopause peuvent alors être anormalement élevées (valeurs rouges), comme cela a été le cas dans 47,4 % du temps en 2021.

L'adaptation de la période de référence 1981–2010 dans les rapports précédents à la norme 1991–2020 a entraîné une augmentation de la médiane annuelle de l'altitude de la tropopause de 11'320 m à 11'400 m. La médiane annuelle de l'altitude de la tropopause en 2021, soit 11'280 m, a été inférieure à la norme. En 2021, 4,4 % des anomalies positives ont été supérieures au 95^e centile. Au total, 5,7 % des anomalies négatives sont restées en dessous du 5^e centile. La valeur la plus élevée de l'année a été enregistrée le 15 août avec une tropopause à 14'490 m. Le 7 avril, la tropopause a atteint son minimum annuel à 6870 m d'altitude.

Médiane 2021: 11'280 m; norme 1991–2020: 11'400 m

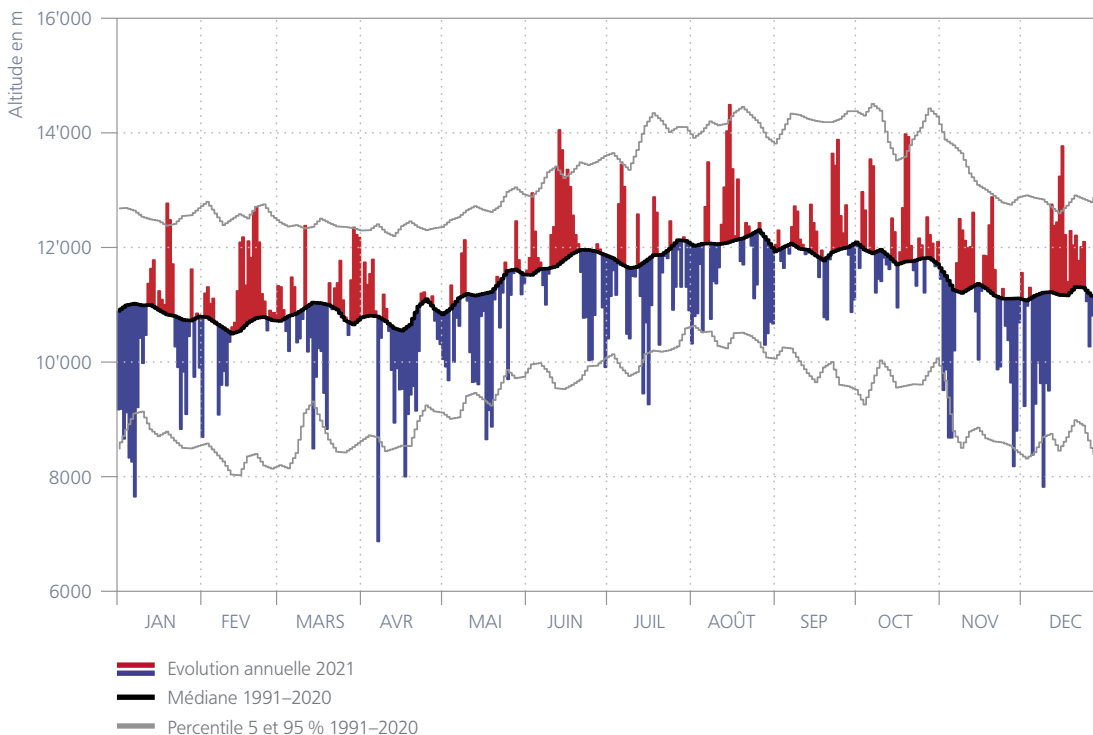


Figure 2.6
Altitude de la tropopause au-dessus de Payerne en 2021 mesurée par le radiosondage aérologique de 23 UTC et 11 UTC. La valeur médiane (période de référence 1991–2020) a été calculée avec des données homogénéisées et lissées à l'aide d'un filtre numérique. 90 % des moyennes journalières se situent à l'intérieur des lignes des percentiles 5 et 95 %.

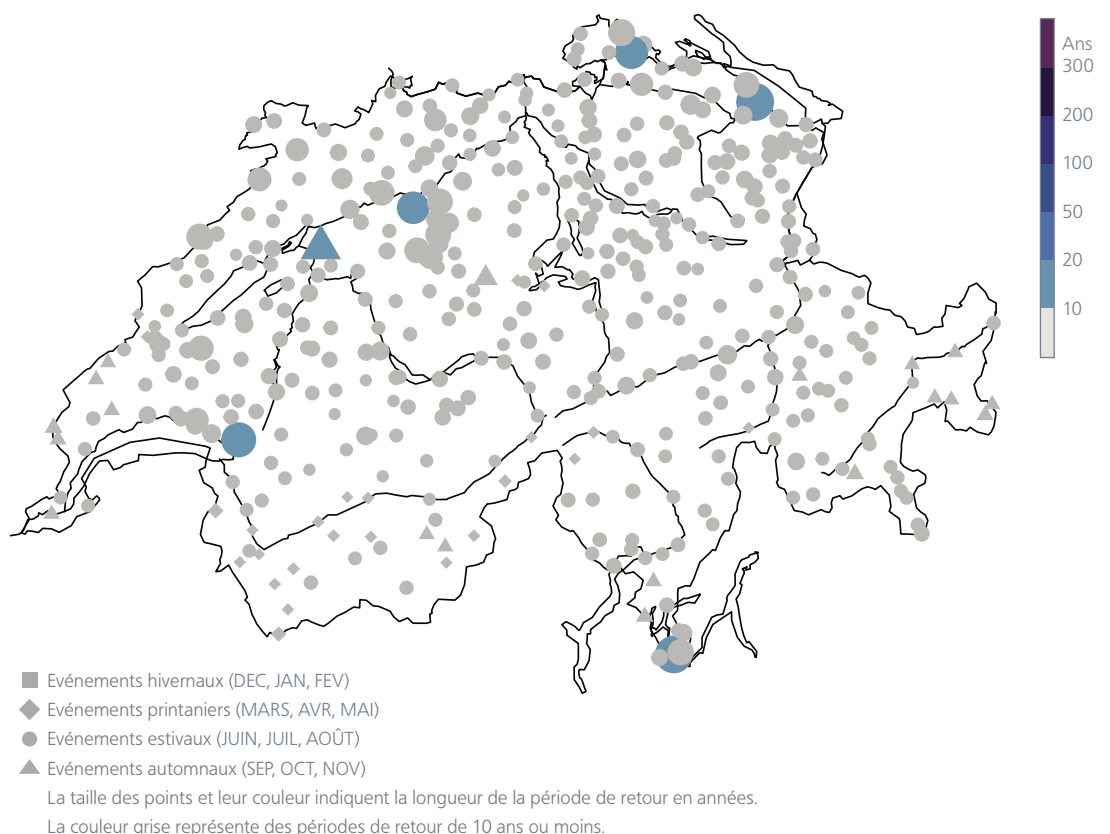
Fortes précipitations exceptionnelles

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.

Avec cette méthode (Generalized Extreme Value Analysis GEV, avec une période de base 1961–2020), la plus grande quantité de précipitations enregistrée sur une journée a été évaluée pour chaque site de mesures des précipitations. A Amriswil TG, une somme journalière de 83,7 mm a été atteinte le 8 juillet dans le cadre d'une série de cellules orageuses de grande ampleur dans la région du lac de Constance. Une telle quantité est dépassée à cet endroit

environ tous les 17 ans. La quantité de pluie qui s'est abattue le 25 juillet sur le site de mesures de Coldrerio, dans le sud du Tessin, suite à de violents orages, est tout aussi fréquente (156,8 mm). Les deux événements ont eu lieu dans un puissant courant de sud-ouest. Par ailleurs, trois autres événements sur un jour avec des périodes de retour de plus de 10 ans se sont produits durant l'été arrosé aux stations de mesures des Avants, de Diessenhofen et de Herzogenbuchsee. Le seul événement extrême de ce type survenu en automne provient du site de mesures d'Aarberg. Le 16 septembre 2021, 71,2 mm de précipitations journalières ont été enregistrées. Cela correspond localement à une période de retour d'environ 13 ans. Ce jour-là, la Suisse s'est trouvée à l'avant d'un front froid. Par conséquent, des averses ou des orages se sont produits en de nombreux endroits, notamment au pied sud du Jura.

Figure 2.7
Périodes de retour des plus importantes sommes de précipitations en 1 jour en 2021 (06 h : 06 h).



25 Cycle annuel du rayonnement UV erythémal

La partie UV-B du spectre solaire est d'une grande importance car ce rayonnement a une influence significative sur les êtres vivants et se révèle dans certains cas un problème de santé publique (cancer de la peau, dommages à la cornée, etc.) alors que dans d'autre cas il peut être bénéfique (production de vitamine D). Les mesures UV sont faites avec des biomètres UV érythémal. Ces instruments mesurent l'intensité du rayonnement UV avec un filtre érythémal dont la réponse reproduit la sensibilité de la peau, principalement aux UV-B avec une petite contribution des UV-A. Ces mesures sont faites par 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 2021 le rayonnement UV est relativement proche du cycle annuel moyen à toutes les stations avec toutefois quelques différences qui semblent surtout liées à la couverture nuageuse et varient d'une station à l'autre. 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). En 2021, sauf pour les mois de février et juin, la quantité d'ozone dans l'atmosphère a été plutôt supérieure à ce qu'elle a été durant les années précédentes, typiquement la période 2000–2020 correspondant à peu près à celle utilisée pour calculer le cycle annuel moyen du rayonnement UV. L'influence de l'ozone devrait donc généralement favoriser une intensité du rayonnement UV plus faible que les années précédentes sauf en février et juin. A Payerne, le rayonnement UV a été inférieur à la norme en mai et en été, de mi-juin à mi-août. A Locarno-Monti, le rayonnement UV en juin a été un peu supérieur à la norme, alors que pour le reste de l'été, de juillet à mi-août, il a été inférieur à la norme. Ces valeurs estivales inférieure à la norme sont surtout liées à l'été pluvieux et couvert que la Suisse a vécu, les quantités plus importantes d'ozone dans l'atmosphère renforçant cette tendance. Aux stations de montagne de Davos et du Jungfraujoch, l'intensité du rayonnement UV a été importante en juin avec beaucoup de valeurs journalières élevées indiquant des journées très ensoleillées et en accord avec le fait que pour le mois de juin les quantités d'ozone dans l'atmosphère n'ont pas été plus élevées que les années précédentes.

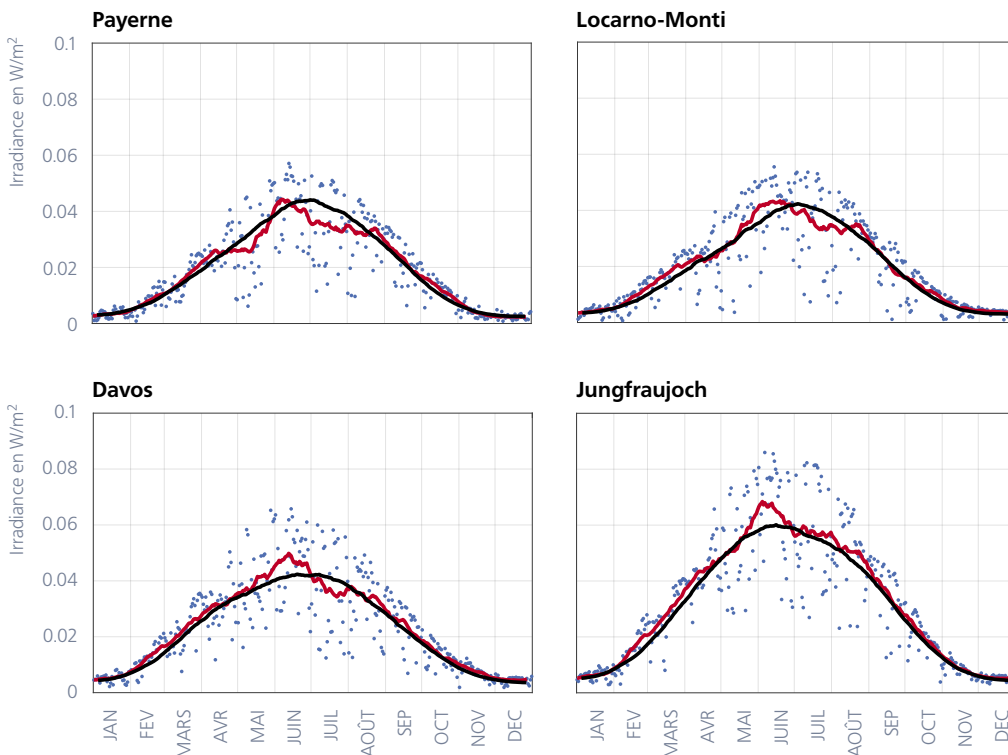


Figure 2.8
Moyennes journalières 2021 de l'irradiance UV érythémale à Payerne, Locarno-Monti, Davos et au Jungfraujoch, moyennes glissantes mensuelles (31 jours) correspondantes et cycles annuels moyens établis sur les années 1995–2020 (Davos), 1997–2020 (Jungfraujoch), 1998–2020 (Payerne) et 2001–2020 (Locarno-Monti).

● Journalier
— Mensuel 2021
— Mensuel climatologie

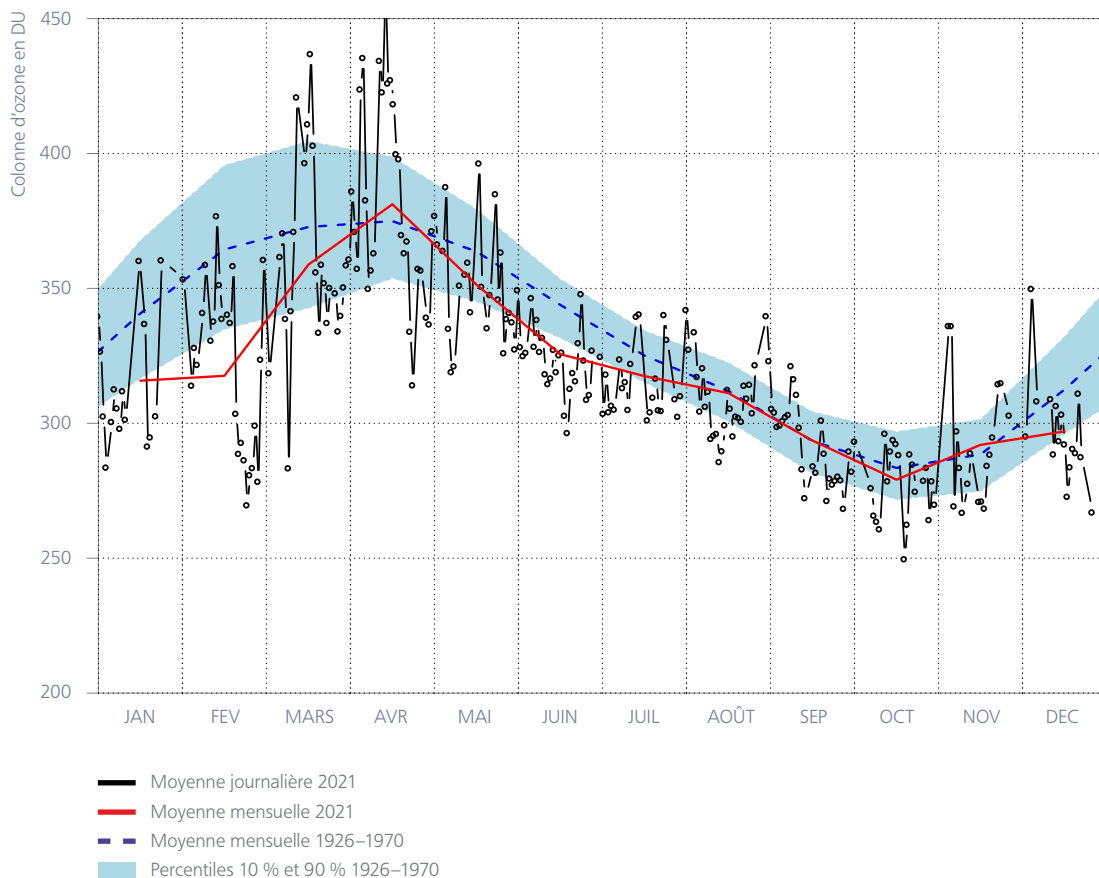
Série de mesures de l'ozone d'Arosa et Davos

En février 2021, les derniers instruments de mesure de la colonne d'ozone ont été déplacés d'Arosa à Davos. L'étude détaillée de mesures coïncidentes faites sur les deux sites a montré qu'il n'y a pas de différence significative. L'évolution annuelle de la colonne totale d'ozone à Davos (Figure 2.9) montre la fluctuation annuelle typique, avec les valeurs élevées en hiver et au printemps et les valeurs plus basses en automne. L'évolution annuelle de la colonne totale d'ozone est dominée par le transport d'ozone à partir de la région du Pôle Nord, où l'on atteint le niveau maximum d'ozone à la fin de la nuit polaire, donc au début du printemps.

La période de référence 1926–1970 correspond à l'état de la couche d'ozone avant la perturbation d'origine anthropique. La baisse continue de l'ozone total mesurée depuis Arosa a débuté vers 1970, époque à laquelle les émissions de substances responsables de la destruction de la couche d'ozone ont fortement augmenté. A partir des années 2000, on observe une stabilisation de la colonne d'ozone en dessus de la Suisse.

En 2021, les moyennes mensuelles d'ozone ont été plus proches de la période de référence que les années précédentes. Seuls février et juin sont nettement en dehors de la bande des percentiles 10–90 % de la période de référence. De larges variations des moyennes journalières de la colonne d'ozone ont été observées avec les valeurs extrêmes de 463 DU le 15 avril 2021 et 250 DU le 20 octobre 2021.

Figure 2.9
Evolution annuelle de la colonne totale d'ozone mesurée à Davos en 2021. 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 2021 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.

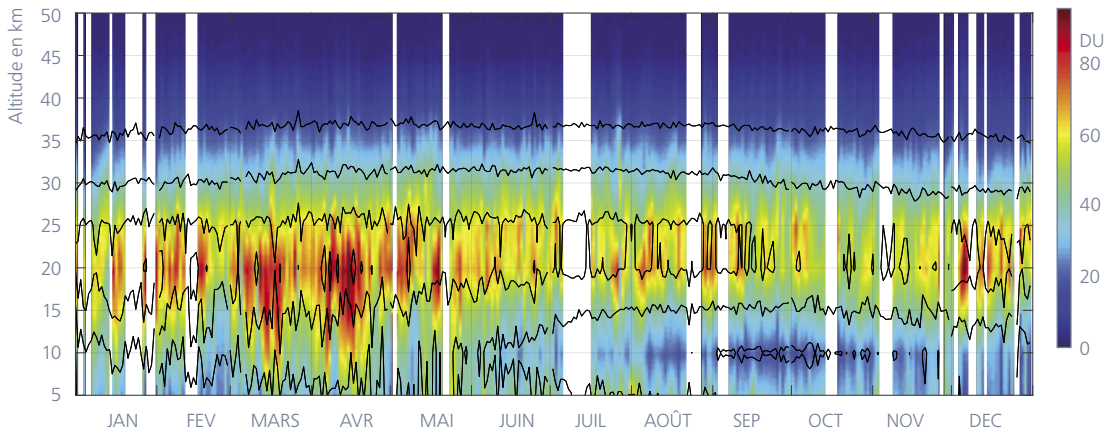
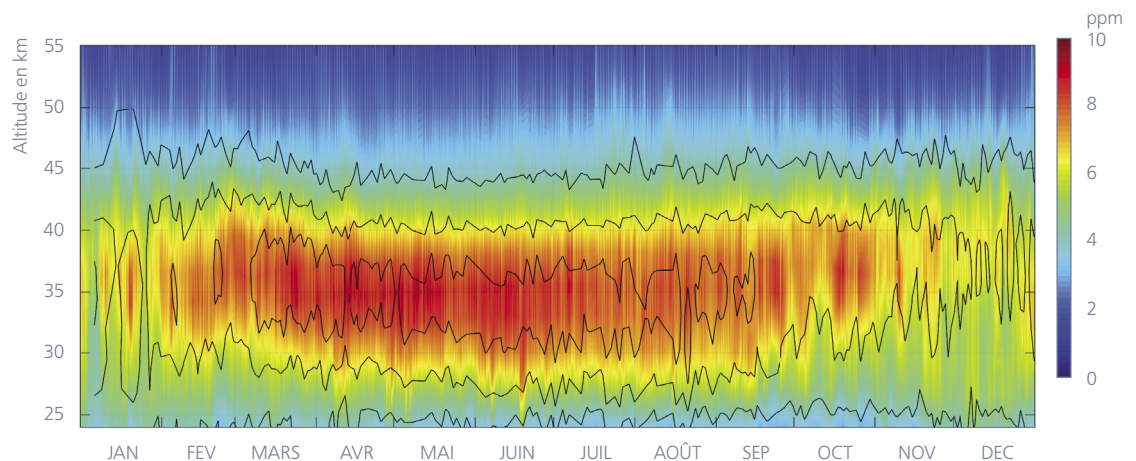


Figure 2.10
Les profils d'ozone mesurés par un spectrophotomètre Dobson à Davos en 2021. Le graphique montre la concentration d'ozone en Dobson Units (DU) (échelle de droite entre 0 et 90 DU). 100 DU = 1 mm d'ozone pur à 1013 hPa et 0 °C.

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 1 h. La variation annuelle d’ozone en ppm pour 2021 est représentée en couleur dans le graphique suivant (Figure 2.11) et la variation annuelle pour 2020 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 2021. 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 2021 pour quatre niveaux d’altitude distincts:

- A basse altitude (niveau 925 hPa, proche du sol), le niveau maximum d’ozone est atteint en été en raison du fort ensoleillement et de la pollution de l’air (qui augmente la quantité d’ozone).
- Dans la partie supérieure de l’atmosphère libre où se déroulent la plupart des phénomènes météorologiques (niveau 300 hPa = ~9000 m), le maximum estival est fortement réduit, étant donné que les conditions n’y sont pas optimales pour la formation d’ozone. Les pics importants correspondent à des entrées d’ozone venues des couches supérieures de l’atmosphère (stratosphère) ou à une baisse temporaire de la tropopause proche du niveau 300 hPa.
- Dans la stratosphère moyenne (niveau 40 hPa = ~22 km), l’évolution annuelle de l’ozone est dominée par le transport d’ozone par les courants dominants. Ici, la plus forte concentration d’ozone est atteinte dans la période fin de l’hiver – début du printemps.
- Aux altitudes plus élevées (15 hPa = ~28 km), l’ensoleillement important entraîne un niveau maximum d’ozone l’été lorsque le soleil est haut dans le ciel.

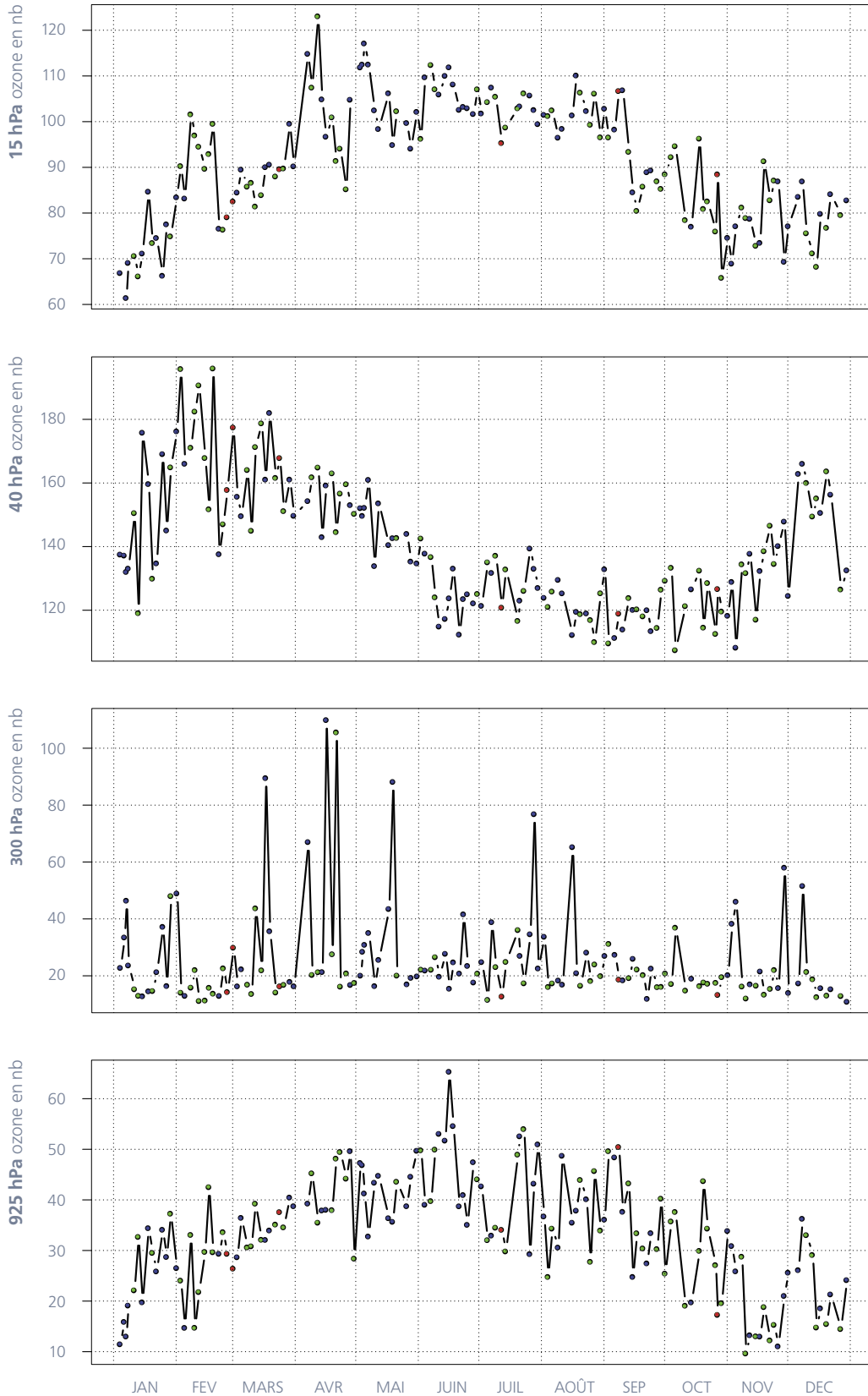


Figure 2.12

Évolution de la concentration d'ozone (pression partielle en nanobars) en 2021 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

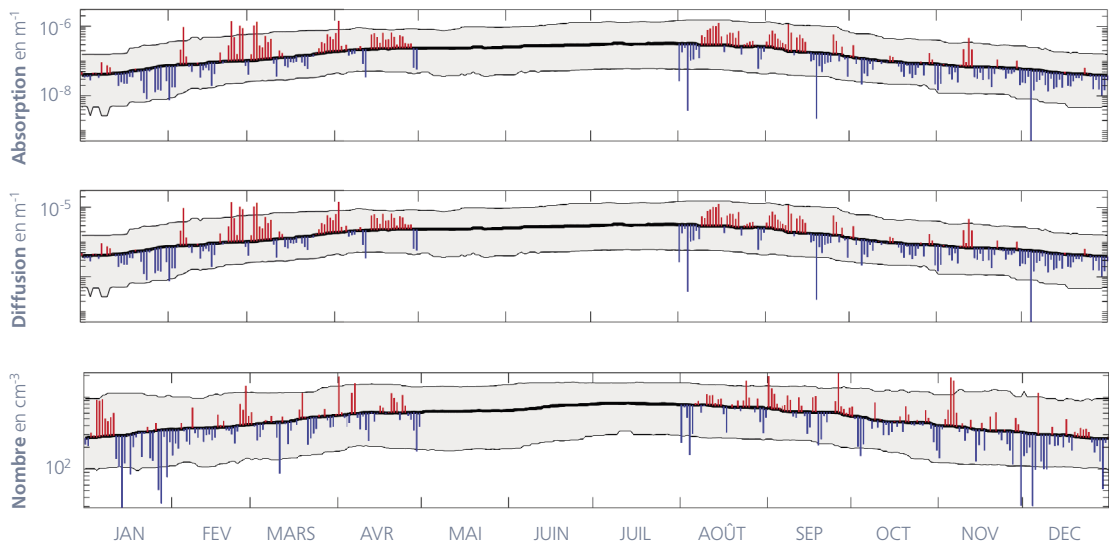
Les aérosols influencent l'atmosphère par leurs effets directs (absorption et diffusion du rayonnement solaire) et indirects (formation des nuages). L'ampleur de ces effets en termes de réchauffement ou de refroidissement reste l'une des grandes incertitudes des modèles climatiques [3]. Les mesures des aérosols effectuées au Jungfraujoch depuis 1995 font partie des plus longues séries de mesures au monde [4].

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 [5] et est donc propice à la mesure des propriétés optiques et de la concentration des aérosols loin des sources de pollution.

En 2021, le laboratoire du Sphinx a été rénové de mai à juillet, empêchant la prise de mesures. L'activité touristique au Jungfraujoch est restée bien inférieure à 2019 à cause de la pandémie, ce qui peut expliquer les valeurs de la diffusion et de l'absorption en dessous de la norme 1995–2020 pour les mois durant l'hiver et l'automne.

Figure 2.13
Evolution en 2021 des coefficients d'absorption à 880 nm et de diffusion à 550 nm ainsi que de la concentration en nombre des aérosols au Jungfraujoch. Les mesures n'ont pas été effectuées de mai à juillet 2021, car le laboratoire du Sphinx du Jungfraujoch a été rénové. La courbe noire correspond à la climatologie de la période 1995–2020, et les courbes grises aux 5^e et 95^e percentiles.



31 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 des coefficients de diffusion et d'absorption à différentes longueurs d'onde 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 dix-sept ans (2001–2017) des incursions de poussière du Sahara a été établie avec les mêmes instruments. Cette climatologie a montré que 10 à 50 incursions sont mesurées chaque année, correspondant à 200 à 700 heures. De manière générale, les 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. En raison de la rénovation du laboratoire, la détection de SDE n'a pas été possible de mai à la mi-août 2021. Les incursions de poussières du Sahara ont été particulièrement nombreuses et intenses pendant les mois de février et de mars 2021. L'incursion des 5–7 février a été la plus intense observée depuis le début des mesures en 2001 avec une concentration journalière de PM_{2.5} de 250 $\mu\text{gr}/\text{m}^3$ le 6 février 2021 et un maximum horaire de 124 $\mu\text{gr}/\text{m}^3$ à 17h. Une coloration jaune du ciel provoquée par la forte concentration de particules minérales dans toute la colonne atmosphérique a facilement été observable dans toute la Suisse. Les concentrations en plaine ont cependant été nettement moins élevées.

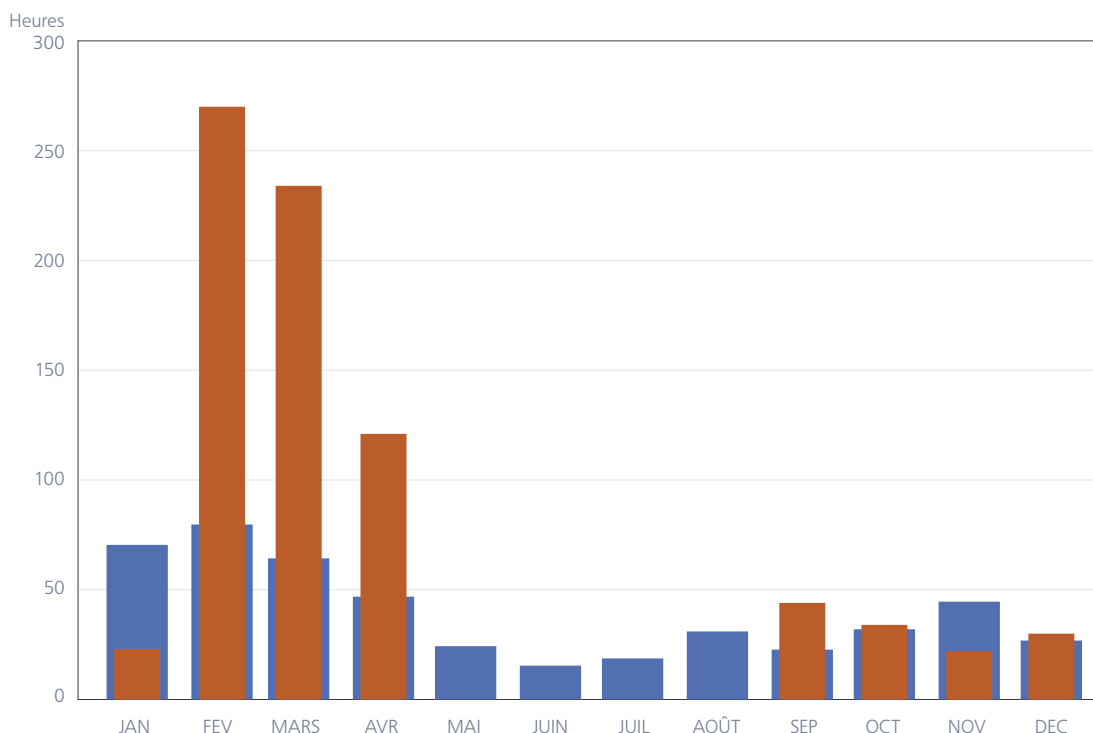


Figure 2.14
Nombre d'heures par mois d'incursions de poussières minérales d'une durée d'au moins 6 heures à la station de mesures du Jungfraujoch pour la période 2019–2020 et pour 2021. Le laboratoire Sphinx du Jungfraujoch a été rénové et la détection des SDE n'a pas été possible du 1^{er} mai au 19 août 2021.

■ 2015–2020
■ 2021

Développement de la végétation

Le développement de la végétation en 2021 s'est déroulé dans un cadre temporel normal jusqu'à la mi-mars, avec environ quatre à six jours d'avance sur la moyenne de la période 1991–2020. A la mi-mars, une première vague de froid a freiné le développement, si bien que les pissenlits et les cerisiers ont encore fleuri deux à trois jours plus tôt que la moyenne. Les basses températures en avril et en mai ont retardé le déploiement des feuilles, qui a été de plus en plus tardif à mesure que l'altitude augmentait. Le déploiement des feuilles du hêtre a été le plus tardif depuis 1991, avec un retard de cinq jours en dessous de 600 m et même de huit jours au-dessus de 1000 m. Grâce à des températures élevées en juin, les phases estivales ont été un peu moins retardées. Les arbres ont profité du mois de septembre chaud et ont coloré leurs feuilles en octobre quelques jours plus tard que la normale.

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 moyenne de 50 % de toutes les observations en 2021 (c'est-à-dire pour les quantiles 25 % et 75 %) ou pour la médiane de toutes les stations. Certaines phases phénologiques ne sont observées que depuis 1996. Pour ces phases, l'écart par rapport à l'ensemble de la période 1996–2020 est indiqué. Les observations phénologiques ont commencé en 1951–1952.

Printemps

Après la floraison des premiers noisetiers fin janvier, d'abord au Tessin et au bord du Léman, ils ont commencé à fleurir à partir du 1^{er} février dans les régions de basse altitude de tout le Nord des Alpes. Le 16 février, la deuxième vague de floraison des noisetiers a commencé, avec des noisetiers fleurissant également à des altitudes allant de 700 à plus de 1000 m. Dans la plupart des stations, la floraison des noisetiers s'est produite à une date normale, avec une avance de six jours sur la moyenne de la période de comparaison 1991–2020.

Dans la deuxième moitié de février, des plantes printanières, qui ont réagi rapidement aux températures très douces de cette période, ont fleuri. On a pu observer les premiers tussilages (ou pas-d'âne), et les perce-neige et crocus ont fleuri dans les jardins. Cependant, c'est entre le 8 et le 29 mars que les tussilages ont le plus fleuri. En moyenne, sa floraison a eu une avance de quatre jours, les stations de basse altitude ayant une plus grande avance que celles de montagne, où le tussilage n'a fleuri qu'entre fin mars et début avril.

L'anémone des bois a fleuri à partir de début mars. En moyenne, elle a fleuri le 27 mars, soit cinq jours plus tôt que la normale. A partir de la mi-mars, l'arrivée du froid a freiné une première fois le développement de la végétation.

Les premiers cerisiers ont fleuri entre fin mars et début avril, avant la prochaine vague de froid. Pendant les journées un peu plus douces du 9 au 11 avril et à partir du 20 avril, d'autres cerisiers en fleurs ont été observés. L'avance par rapport à la période de comparaison s'est alors réduite à quelques jours. Les basses températures nocturnes ont provoqué des dégâts dus au gel sur de nombreux cerisiers, car les fleurs ouvertes du cerisier supportent au maximum des températures d'environ -2 °C. Plus les températures sont basses et plus l'effet du gel se prolonge, plus les fleurs et les ovaires meurent. En moyenne, les cerisiers ont fleuri le 16 avril, les poiriers le 22 avril et les pommiers le 30 avril, généralement à une date normale avec un à deux jours d'avance sur la moyenne.

Parallèlement, le pissenlit et la cardamine des prés ont fleuri avec les premières observations reportées dès la fin mars. Pour ces deux espèces, on voit très bien comment le développement des fleurs a été de plus en plus retardé avec l'altitude en raison des basses températures en avril. En dessous de 600 m, le pissenlit a fleuri en moyenne le 9 avril avec six jours d'avance, entre 600 et 1000 m, il a fleuri le 27 avril avec un jour de retard et au-dessus de 1000 m, il a fleuri le 16 mai avec trois jours de retard.

Cette année, le déploiement des feuilles et le verdissement des forêts ont été plus lents que l'année dernière. Les mélèzes ont commencé déployer leurs aiguilles dès la fin mars. Pour les bouleaux et les sorbiers des oiseleurs, les observations à basse altitude se sont étendues sur tout le mois d'avril. Durant la même période, le marronnier a déployé ses feuilles. A partir de la mi-avril, les premiers tilleuls à petites feuilles et à larges feuilles ont commencé à verdir et, dans la dernière décade d'avril, les hêtres de plaine ont déployé leurs feuilles. Le nombre d'observations classées dans la classe «précoce» n'a cessé de diminuer et de plus en plus de dates tardives et très tardives ont été notées. Le déploiement des aiguilles du mélèze a eu deux jours de retard, le déploiement des feuilles des arbres à feuilles caduques de trois à neuf jours de retard. Avec un retard de sept jours en moyenne sur l'ensemble des stations, il s'agit du déploiement des feuilles le plus tardif du hêtre depuis 1991. Comme pour le pissenlit, le retard s'est accru avec l'altitude.

Le déploiement des aiguilles de l'épicéa a commencé fin avril. En dessous de 1000 m, cette phase a eu lieu en mai, avec un retard d'environ quatre jours. Les basses températures du mois de mai ont eu un impact particulier sur les arbres situés au-dessus de 1000 m, où les épicéas ont déployé

leurs aiguilles avec un retard moyen de dix jours durant la deuxième moitié du mois de mai et en juin.

Les marguerites ont fleuri à une date moyenne, entre début mai et mi-juin environ. Il est intéressant de noter que les marguerites n'ont pas été fortement influencées par les basses températures en avril et en mai.

Été

Fin mai, le temps est enfin devenu sec et plus chaud. La plupart des agriculteurs n'ont pu récolter le foin qu'à partir de ce moment-là. La fenaison s'est déroulée de la plaine à plus de 1000 m d'altitude. Dans les régions situées à moins de 600 m, le retard par rapport à la date moyenne de la période de comparaison 1991–2020 a été de onze jours. Au-dessus de 1000 m, le temps ensoleillé et chaud de la mi-juin et de quelques journées isolées vers la fin juin et en juillet a également été mis à profit pour la fenaison. A cette altitude, la fenaison n'a eu plus que trois jours de retard.

Le sureau noir a commencé à fleurir à partir du 10 mai au Tessin et du 20 mai au Nord des Alpes. Mais cette année, la floraison s'est principalement déroulée en juin. Grâce aux températures élevées du mois de juin, la floraison n'a été retardée que de cinq jours et n'a pas eu lieu aussi tard qu'en 2013 par exemple ou que dans la plupart des années antérieures à 1990.

Des tilleuls à petites feuilles en fleurs ont été observés en plus grand nombre à partir de la mi-juin. Leur floraison a eu lieu quatre jours plus tard que la moyenne. Les vignes ont fleuri avec trois jours de retard, au Tessin à partir de la dernière décade de mai et au Nord des Alpes principalement en juin. Les baies du sureau rouge ont mûri principalement en juillet, généralement à une date normale, trois jours plus tard que la moyenne. La maturation des fruits du sureau noir a principalement eu lieu entre la mi-août et la mi-septembre, soit assez conformément à la date moyenne.

Automne

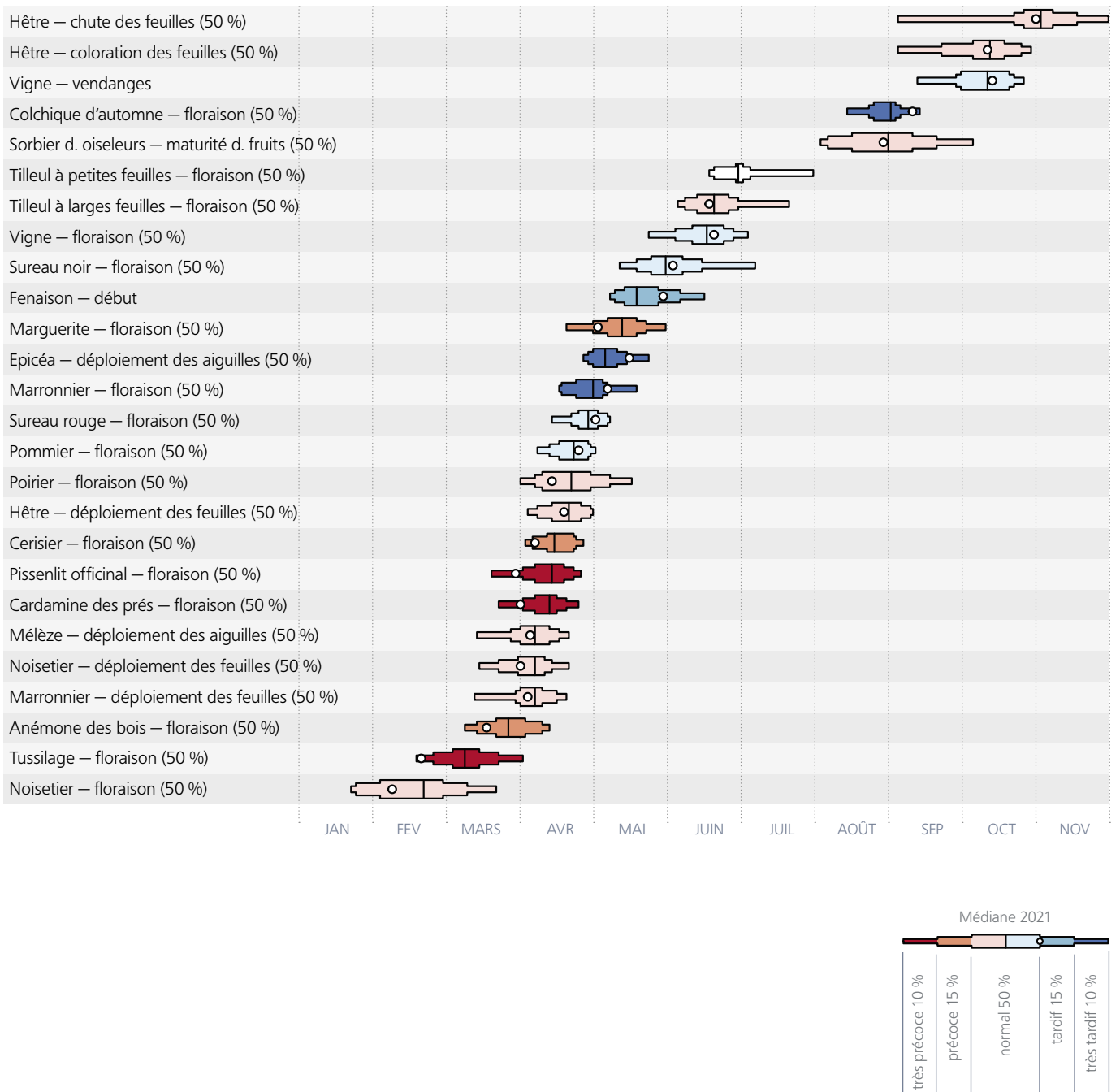
La plupart des colchiques en fleurs ont pu être observés de fin août au 24 septembre environ, soit cinq jours plus tard que la normale. Au Tessin, les châtaignes mûres ont surtout été récoltées durant la première quinzaine d'octobre, quelques jours plus tard que la moyenne. Les observations de vendanges ont eu lieu de mi-septembre à mi-octobre, la plupart des données pouvant être classées comme «normales».

A partir de la mi-septembre environ, les feuilles des premiers sorbiers des oiseleurs, bouleaux et marronniers ont commencé à se colorer, tandis que les hêtres, érables et tilleuls ont commencé à se colorer lentement à partir de début octobre. Le jaunissement des feuilles s'est intensifié à partir du 10 octobre environ à toutes les altitudes, de la plaine à la montagne, et les forêts ont très vite pris des couleurs. La coloration des feuilles des hêtres a été retardée de cinq jours par rapport à la moyenne, toutes altitudes confondues. Le retard a été plus important au-dessus de 800 m, avec une moyenne de huit jours, tandis qu'en dessous de 800 m, le retard n'a été que de quatre jours. En moyenne, le jaunissement des feuilles des arbres à feuilles caduques a été retardé de quatre à six jours, à l'exception des bouleaux qui n'ont accusé que deux jours de retard. Les arbres ont profité des températures élevées du mois de septembre. Ils ont donc coloré leurs feuilles plus tard que la normale et il n'y a eu que très peu d'observations dans la classe «précoce» ou «très précoce». Au-dessus de 1000 m, les mélèzes se sont colorés de la deuxième semaine d'octobre à début novembre, avec un pic vers la mi-octobre. Dans les stations de basse altitude, ils se sont colorés de la mi-octobre à la mi-novembre environ, avec un pic à partir des derniers jours d'octobre et des premiers jours de novembre. D'une manière générale, la coloration des aiguilles des mélèzes a eu lieu à une date assez proche de la normale, avec toutefois un retard de quelques jours en montagne.

La chute des feuilles des hêtres a commencé à partir de la mi-octobre et s'est intensifiée à partir de la fin du mois d'octobre avec le changement de temps qui a entraîné des précipitations et des températures plus basses. Les feuilles des hêtres sont tombées à un moment normal, voire légèrement en retard. La chute des feuilles des bouleaux et des marronniers a déjà commencé sur une grande partie du territoire au cours de la dernière décade d'octobre. Ainsi, quelques feuilles sont déjà tombées lors du passage du front avec un vent fort le 21 octobre. La chute des feuilles des deux espèces d'arbres a généralement pu être classée comme «normale» et a eu lieu deux jours plus tôt que la moyenne pour le bouleau et exactement dans la moyenne pour le marronnier. Les aiguilles du mélèze sont tombées en moyenne le 15 novembre au-dessus de 1000 m et le 24 novembre en dessous de 600 m. Pour 36 % des stations, cette date a pu être classée comme «tardive» ou «très tardive», et pour 44 % comme «normale».

Figure 2.15

Calendrier phénologique 2021 de Rafz. La répartition montre la période de référence 1981–2010. 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 2021 ou si elle se situe précisément dans la médiane, la période de comparaison reste blanche.



35 Saison pollinique

L'année pollinique 2021 a été fortement influencée par le temps frais et parfois humide du printemps. La pollinisation des arbres a été très faible. La saison pollinique du bouleau, du chêne et du hêtre a été l'une des plus faibles de la période de comparaison. Le pollen de frêne a également été nettement plus faible que la normale, tandis que les quantités de pollen de noisetier et d'aune ont été à peu près dans la moyenne. Les concentrations de pollen de graminées n'ont augmenté que tardivement, vers la fin mai. Cependant, des concentrations élevées à très élevées ont été atteintes en juin, lorsque le temps a été plus chaud, et des concentrations élevées ont encore été mesurées en juillet pendant des phases plus douces et sèches. La saison pollinique 2021 est comparée ci-dessous à la moyenne sur 30 ans 1991–2020.

Sur le site internet de MétéoSuisse, des graphiques illustrent la charge pollinique moyenne journalière des 14 principales sortes de pollens allergènes du réseau de mesures polliniques de Suisse. Pendant la saison pollinique, ces graphiques sont actualisés hebdomadairement.

meteosuisse.admin.ch/home/climat/climat-de-la-suisse/informations-pollens.html

Début de la saison pollinique

La température en décembre et janvier détermine le début de la floraison des noisetiers. Au Tessin, ces deux mois ont été plus frais que la normale. C'est pourquoi la saison du pollen de noisetier n'a commencé au Tessin qu'entre le 24 et le 29 janvier, soit 8 à 12 jours plus tard que la moyenne de la période de comparaison sur 30 ans 1991–2020. La saison du pollen d'aune a également commencé au Tessin avec 10 à 13 jours de retard, seulement le 8 février. Au Nord des Alpes, après un mois de janvier hivernal, la saison du pollen de noisetier a débuté dans de nombreuses stations le 3 février, presque exactement à une date moyenne. Au Nord des Alpes, la saison du pollen d'aune a commencé presque en même temps que celle du noisetier, entre le 2 et le 7 février, soit quelques jours plus tôt que la moyenne. Pendant ces journées douces de début février, de fortes concentrations de pollen de noisetier et d'aune ont été atteintes dans de nombreuses stations. Des concentrations élevées à très élevées ont été mesurées surtout pendant la deuxième moitié très douce de février.

La saison du pollen de frêne a commencé au Tessin le 4 mars, soit 10 à 11 jours plus tôt que la moyenne. Il s'agit de la cinquième date la plus précoce depuis le début des mesures polliniques au Tessin. Des concentrations moyennes de pollen

de frêne ont aussi été mesurées à Genève et Lausanne dès le 10 mars, également 12-14 jours plus tôt que la moyenne. Il est très probable que ces pollens aient été apportés sur les bords du Léman par des vents forts du sud-ouest venus de France entre le 10 et le 13 mars et qu'ils ne provenaient pas de frênes en fleur localement. Des pollens de frêne ont également été détectés sur tout le Plateau et à La Chaux-de-Fonds durant cette phase, avant la floraison locale. Après l'arrivée du froid et de la neige à partir de la mi-mars, la saison pollinique du frêne a débuté au Nord des Alpes du 24 au 26 mars par un temps ensoleillé et plus chaud. Cette date se situe à peu près dans la moyenne de la période de comparaison.

La saison du pollen de bouleau a commencé le 25 mars à Viège, le 28 mars au Tessin et entre le 30 mars et le 2 avril au Nord des Alpes. Toutes ces dates se situent autour de la date moyenne de début de la saison du pollen de bouleau, soit 1 à 2 jours plus tard au Tessin et 2 à 4 jours plus tôt au Nord des Alpes.

Les premiers pollens de graminées ont été mesurés au Tessin dès le mois de mars, environ 3 semaines plus tôt que la moyenne. La fraîcheur du mois d'avril a freiné le développement des graminées, si bien que des concentrations modérées ont été atteintes au Tessin à partir du 20 avril, à peu près à la date moyenne. Au Nord des Alpes, les premiers pollens de graminées ont également été présents dans l'air en avril. L'augmentation à des concentrations moyennes s'est produite dans la plupart des stations entre le 4 et le 24 mai. Les données de début mai correspondent à peu près à la moyenne, alors qu'à Bâle, Berne et Viège, cette augmentation n'a eu lieu qu'après le 20 mai, avec un retard de 9 à 17 jours. Pendant le mois de mai froid et humide, le Nord des Alpes n'a connu que quelques jours de fortes concentrations de pollen de graminées. Dans la plupart des stations, les concentrations de pollen de graminées n'ont atteint des valeurs fortes que vers la fin du mois de mai. Cette augmentation a eu en moyenne une semaine de retard. A Bâle, Lausanne, Münsterlingen et Neuchâtel, il s'agit de la hausse la plus tardive ou la deuxième plus tardive de la période de comparaison.

La saison du pollen d'armoise a commencé à Viège le 18 juillet, un jour plus tard que la moyenne. Des concentrations modérées de pollen d'ambrosie ne sont apparues que fin août et début septembre, 2 à 3 semaines plus tard que la moyenne. Ce retard a été dû à un mois de juillet frais et pluvieux et à un mois d'août frais.

Durée de la saison pollinique

Les concentrations de pollen de noisetier et d'aune ont diminué dans la plupart des stations dès la fin février. Tout au plus des concentrations moyennes ont été atteintes jusqu'à la mi-mars. C'est une à deux semaines plus tôt que la moyenne. Dans de nombreuses stations, la saison pollinique du noisetier et de l'aune a donc été plus courte que la moyenne. La période de fortes concentrations de pollen de frêne a été particulièrement courte au Nord des Alpes. Les concentrations ont déjà diminué dans toute la Suisse entre le 1^{er} et le 5 avril avec l'arrivée d'une vague de froid, et la saison pollinique du frêne a donc été presque terminée.

Après la première phase de floraison fin mars, les bouleaux ont de nouveau atteint de fortes concentrations de pollen début avril, pendant la dernière décennie d'avril, plus douce. La durée totale de la saison pollinique du bouleau s'est donc située à peu près dans la moyenne.

Cette année, la période de fortes concentrations de pollen de graminées a duré jusqu'au 18–23 juillet dans la plupart des stations du Nord des Alpes. Selon les stations, c'est jusqu'à 10 jours plus tard que la moyenne. Après les nombreuses précipitations en juillet, c'est une période sèche avec des températures estivales qui ont permis aux graminées de fleurir encore une fois. Au Tessin et à Viège, la période de fortes concentrations de pollen de graminées s'est terminée à la mi-juin, à peu près à une date moyenne au Tessin, mais environ 2 semaines plus tôt que la moyenne à Viège.

La durée de l'exposition au pollen d'armoise a été proche de la moyenne, alors que l'ambrosie n'a eu une pollinisation plus forte que pendant une courte période en raison de son début tardif. Le 14 septembre, des concentrations modérées ont été mesurées pour la dernière fois.

Intensité des pollens

La concentration de pollen pendant la floraison des arbres a été nettement plus faible que les autres années. La saison pollinique a été particulièrement faible pour les bouleaux, les hêtres et les chênes, et la saison pollinique des frênes a également été plus faible que la normale. Le rythme de floraison des arbres en est une raison importante. Ces espèces n'ont produit que peu de bourgeons floraux, après une floraison très importante l'année précédente. Le deuxième facteur important a été le temps froid en avril et en mai. Pendant ces journées froides, les concentrations de pollen ont été faibles.

Au Nord des Alpes, seuls 6 à 14 jours de fortes concentrations de pollen de bouleau ont été mesurés, alors que la moyenne est de 13 à 19 jours. A Neuchâtel et Buchs SG, il s'agit de la plus faible saison de pollen de bouleau depuis le début des mesures (1982, respectivement 1984), à Zurich et Bâle, il s'agit de la plus faible de la période de comparaison. A Münsterlingen, Viège et Locarno, le pollen de bouleau n'a pas été aussi faible et l'intégrale annuelle du pollen atteint entre 57 % et 75 % de la moyenne.

Pour le frêne, 12 jours de fortes concentrations de pollen ont été mesurés à Locarno et 9 à Genève. Dans toutes les autres stations, il y a eu entre 3 et 7 jours de forte concentration de pollen. Cela représente 3 à 8 jours de moins que la moyenne. Cette année, les hêtres n'ont presque pas fleuri et seuls quelques grains de pollen ont pu être mesurés. La saison pollinique du chêne a été la plus faible ou la deuxième plus faible de la période de comparaison et il n'y a pratiquement pas eu de jours avec une forte concentration de pollen. Cependant, les charmes, qui fleurissent en même temps que les bouleaux, ont atteint une intensité à peu près moyenne de la saison pollinique. Le pollen de noisetier a profité des températures élevées de février. En Suisse alémanique, il a été plus fort que la moyenne et 8 à 16 jours de fortes concentrations de pollen ont pu être mesurés. En Suisse romande, il a été proche de la moyenne et on a compté 4 à 7 jours de fortes concentrations de pollen. Le pollen de noisetier a été particulièrement fort à Locarno, où 23 jours de fortes concentrations ont été mesurés.

Les aunes, qui ont fleuri surtout pendant la deuxième moitié de février, ont atteint des concentrations à peu près moyennes, avec 4 à 15 jours de fortes concentrations de pollen au Nord des Alpes et 15 à 20 jours au Tessin. Les concentrations de pollen de graminées ont été très fortes pendant de nombreux jours en juin. Si les concentrations ont autant augmenté, c'est parce que les prairies n'ont été fauchées que progressivement à cette période, la fenaison n'ayant pas été possible auparavant. En ce qui concerne la force de la saison du pollen de graminées, la Suisse a été divisée en deux: en Suisse romande, à Bâle et à Viège, elle a été plus faible que la normale (18–26 jours avec de fortes concentrations de pollen de graminées), alors qu'en Suisse alémanique et à Locarno, elle a été plus forte que la moyenne (25–55 jours avec de fortes concentrations de pollen de graminées). A Davos et Locarno, la saison pollinique des graminées de cette année a été la deuxième et la quatrième plus forte depuis le début des mesures dans ces stations. A Davos, 19 jours de fortes concentrations de pollen ont été mesurés (13 jours de plus que la moyenne, début des mesures en 1983) et à Locarno 26 jours (15 jours de plus que la moyenne, début des mesures en 1989).

Les concentrations de pollen d'armoise ont été fortes à Viège pendant 36 jours entre mi-juillet et début septembre, soit plus intenses que la moyenne, alors qu'au Nord des Alpes et au Tessin, le pollen d'armoise n'a atteint, comme la plupart du temps, que des concentrations faibles à modérées. La saison du pollen d'ambrosie a été plus faible que la moyenne dans toutes les stations. En Suisse alémanique, aucun jour ou tout au plus un jour avec des concentrations moyennes de pollen a été mesuré. Des concentrations fortes de pollen n'ont été enregistrées qu'en Suisse romande et au Tessin. A Genève, il y a eu 3 jours avec de fortes concentrations de pollen, à Lausanne et Neuchâtel un jour. A Locarno et Lugano, 6–7

jours de fortes concentrations de pollen ont été enregistrés et à Mezzana, une station supplémentaire pour le pollen d'ambrosie dans le sud du Tessin, 15 jours. Pour Mezzana et Locarno, la charge a été plus élevée que la moyenne depuis 2013, date à laquelle l'Ophrealla communa a commencé à causer de gros dégâts aux plantes dans le nord de l'Italie et au Tessin, ce qui a entraîné une forte diminution de la quantité de pollen. La charge est toutefois encore nettement inférieure aux valeurs d'avant 2013, c'est-à-dire avant la réduction de la quantité de pollen due au coléoptère, lorsque 24 jours de forte charge pollinique avaient été mesurés en moyenne à Mezzana.

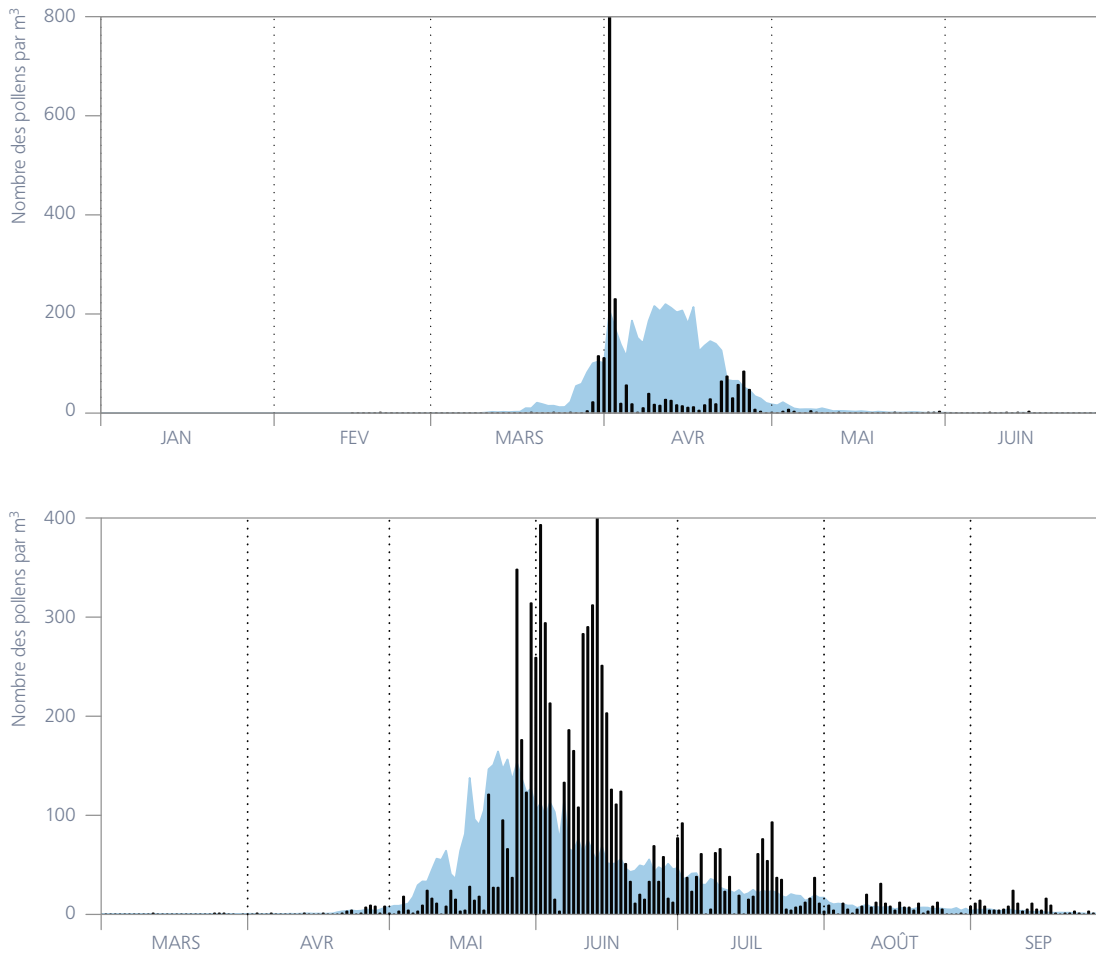


Figure 2.16
Evolution de la saison pollinique en 2021 des bouleaux à Genève (en haut) et la saison pollinique des graminées à Münsterlingen (en bas) en comparaison à la moyenne sur 30 ans 1991–2020 (en bleu). A Genève, la saison du pollen de bouleau a été l'une des plus faibles de la période de comparaison. A Münsterlingen, les concentrations de pollen de graminées n'ont augmenté que vers la fin mai, neuf jours plus tard que la moyenne. Les pollens de graminées ont atteint des valeurs élevées jusqu'au 21 juillet. Les axes des concentrations polliniques ont été limités à 800, respectivement 400 pollens/m³, de sorte que les faibles valeurs qui sont importantes pour les allergies sont également visibles.





3 | Particularités de l'année 2021

40

3.1 Importantes chutes de neige en janvier

Un puissant courant de nord-ouest persistant a entraîné une période de 7 jours de chutes de neige au Nord des Alpes à partir du 12 janvier 2021. Du 12 au 13 janvier, il y a eu entre 2 et 10 cm de neige fraîche en de nombreux endroits de plaine. Dans les régions de basse altitude du Valais, l'apport de neige a été de 20 à 30 cm et dans la vallée du Rhin du côté de Coire, il a été d'environ 20 cm. Le 13 janvier, il n'a neigé qu'à haute altitude et dans les vallées de la Suisse orientale, avec des chutes de neige particulièrement abondantes dans la vallée du Rhin du côté de Coire. Dans les régions de basse altitude du Nord des Alpes, il a généralement plu.

Une limite de masse d'air apporte beaucoup de neige dans l'Est

Avec de l'air froid supplémentaire en provenance du nord-est, une limite marquée des masses d'air s'est formée le 14 janvier le long d'une ligne Bâle-Lucerne. Du 14 au 15 janvier, 30 à 45 cm de neige fraîche sont tombés à basse altitude dans le nord-est de la Suisse, 50 à 60 cm à haute altitude. La dernière fois qu'une neige aussi abondante est tombée ici, c'était dans la nuit du 4 au 5 mars 2006. A l'époque, ce sont surtout les régions de basse altitude du nord-est de la Suisse qui avaient été touchées, avec des quantités de neige fraîche un peu plus importantes que dans le cas actuel. En montagne, il n'y avait alors pas eu de quantités particulières de neige fraîche.

Pluie en Suisse romande

Dans l'air plus doux au-dessus de la Suisse romande, la limite des chutes de neige a été plus élevée les 14 et 15 janvier et il a plu à basse altitude. Le matin du 16 janvier, la région de Berne a également enregistré un peu de neige fraîche, et le 17, il a presque partout neigé quelques centimètres. Le 18 janvier, il n'a neigé que localement jusqu'à basse altitude. Sur la partie orientale des versants nord des Alpes, il y a encore eu de 20 à 40 cm de neige fraîche.

Où y avait-il de la neige et en quelle quantité?

Du matin du 12 au matin du 18 janvier 2021, la somme de neige fraîche a souvent atteint 40 à 60 cm sur les régions à basse altitude de la Suisse orientale. Sur le Plateau central, elle a été de 10 à 40 cm et a diminué à mesure que l'on se dirigeait vers l'ouest. En direction du Bassin lémanique, les quantités de neige fraîche à basse altitude sont généralement restées inférieures à 10 cm, localement il n'y a même pas eu de neige fraîche mesurable. Aux altitudes basses des vallées alpines de la Suisse orientale, la somme de neige fraîche a atteint 70 à 100 cm, et aux altitudes basses du Valais, 30 à 40 cm. En montagne, il est localement tombé de 140 à 170 cm de neige fraîche dans l'Est, souvent de 60 à 100 cm dans l'Ouest.

Beaucoup de neige fraîche en l'espace de 2 à 3 jours

Les chutes de neige les plus abondantes se sont étalées sur 2 jours sur le Plateau oriental. Sur le site de mesures légèrement surélevé de Zurich-Fluntern, la somme de neige fraîche sur 2 jours a été de 40 cm, soit la cinquième plus élevée dans la série de mesures depuis 1931. A l'aéroport de Zurich, on a mesuré 37 cm, soit la deuxième place dans la série de mesures depuis 1958. Hallau, tout au nord de la Suisse, a reçu une somme de neige fraîche de 28 cm en 2 jours, soit la sixième place dans la série de mesures depuis 1964. Sur les trois sites, la première place est occupée par l'événement du 4/5 mars 2006.

Dans les Alpes orientales, les chutes de neige les plus abondantes se sont étalées sur 3 jours. Le site de mesures de Coire s'est particulièrement distingué avec 82 cm, la somme de neige fraîche la plus élevée sur 3 jours dans cette série de mesures qui dure depuis bien plus de 100 ans. Depuis le début des mesures en 1888, c'est seulement la deuxième fois qu'il tombe 80 cm de neige en 3 jours.

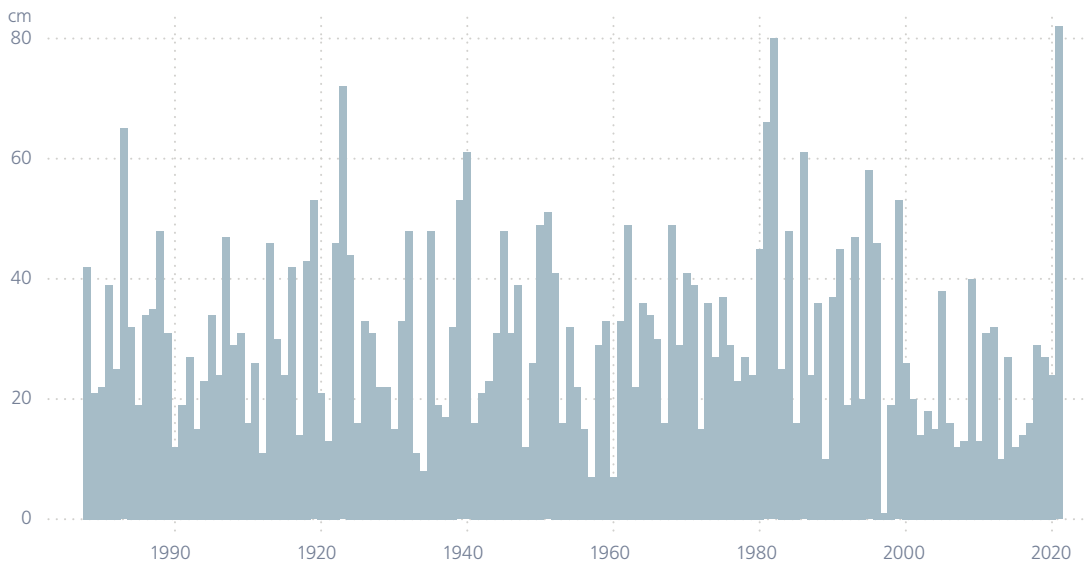


Figure 3.1
**Somme de neige fraîche
annuelle la plus élevée sur
3 jours sur le site de mesures
de Coire 1888–2021.**

3.2 Un mois de juin avec plusieurs épisodes de grêle

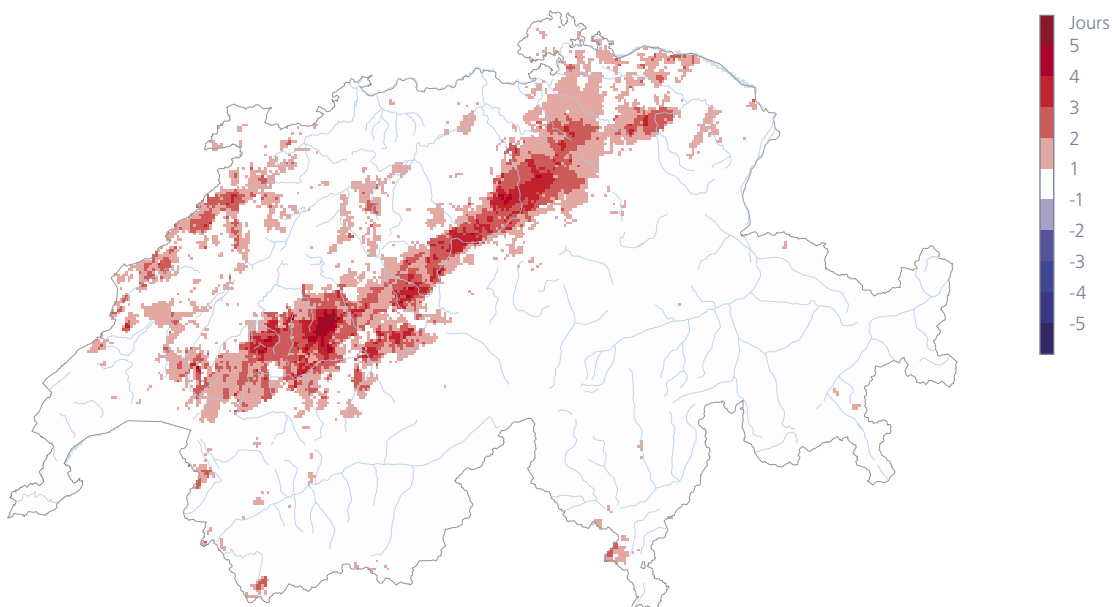
Le mois de juin 2021, plus chaud et orageux que la moyenne, a été marqué par d'importantes chutes de grêle, dont certaines de la taille d'une balle de tennis. Des alertes à grande échelle ont été activées pendant plusieurs jours. Des maisons en verre et des tuiles ont été brisées, des récoltes et des jardins détruits, et des personnes blessées par des grêlons ont même été signalées. Une quantité de grêle aussi importante qu'en juin 2021 a rarement été enregistrée au cours des 20 années de mesures. L'étendue de la surface touchée ainsi que la taille des grêlons ont été exceptionnelles.

De nombreux jours de grêle

En juin, il y a en moyenne au moins un jour de grêle tous les 1 à 2 ans dans les régions où la grêle est habituelle, et plus rarement dans les autres régions. Le maximum moyen de jours de grêle au même endroit est d'environ 3,5 jours. En juin 2021, certains endroits ont même enregistré 6 jours de grêle. La région située entre Berne et Thoune a été la plus concernée. Dans la série de données disponibles depuis 2002, seul le mois de juin 2006 a enregistré localement autant de jours de grêle.

La comparaison avec la climatologie à long terme montre que les chutes de grêle de juin 2021 ont été plus fréquentes que la moyenne, surtout dans certaines régions du Plateau, alors que leur fréquence correspondait à la moyenne au Tessin et dans les Préalpes orientales.

Figure 3.2
Ecart du nombre de jours de grêle en juin 2021 par rapport à la moyenne à long terme (2002–2021).



Si l'on considère la Suisse dans son ensemble, 13 jours de grêle ont été comptabilisés en juin 2021. Seuls 4 mois sur une série de mesures de près de 20 ans ont connu davantage de jours de grêle. La dernière fois qu'il y a eu davantage de jours de grêle était en juin 2017 avec 14 jours. Le nombre mensuel le plus élevé de jours de grêle enregistrés en Suisse a été de 16. Il remonte à juillet 2006. Sont considérés comme jours de grêle les jours où une probabilité de grêle de 80 % a été atteinte sur une surface d'au moins 100 km².

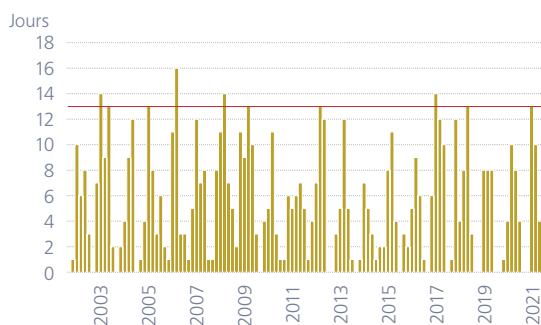


Figure 3.3
Nombre mensuel de jours de grêle depuis 2002. 13 jours de grêle ont été comptabilisés en juin 2021 (ligne rouge).

Événement exceptionnel

Lors de l'événement de grêle massif du 28 juin 2021, la zone d'occurrence de la grêle en Suisse a couvert une surface totale d'environ 9000 km². En termes de superficie, il s'agit du deuxième plus grand événement de grêle en Suisse dans la série de données disponibles depuis 2002. Lors du plus grand événement du 23 juillet 2009, une surface de 10'000 km² avait été touchée. Lors du troisième événement le plus important, le 1^{er} juillet 2019, la surface grêlée avait atteint 8000 km².

En de nombreux endroits, des tailles de grêlons nettement supérieures à 2 cm, voire à 6–7 cm dans certaines régions, ont été signalées. Localement, de telles tailles de grêlons sont des événements extrêmes qui, même dans les régions plus habituées à la grêle, sont statistiquement dépassés à un endroit plus rarement que tous les 50 ans.

La surface sur laquelle des grêlons maximaux de 6 cm et plus ont été possibles le 28 juin 2021 a été de près de 1100 km². Ce n'est que lors de l'année record 2009 que la série de données montre, à partir de 2002, un événement au cours duquel une surface aussi étendue a été touchée par des grêlons de cette taille.

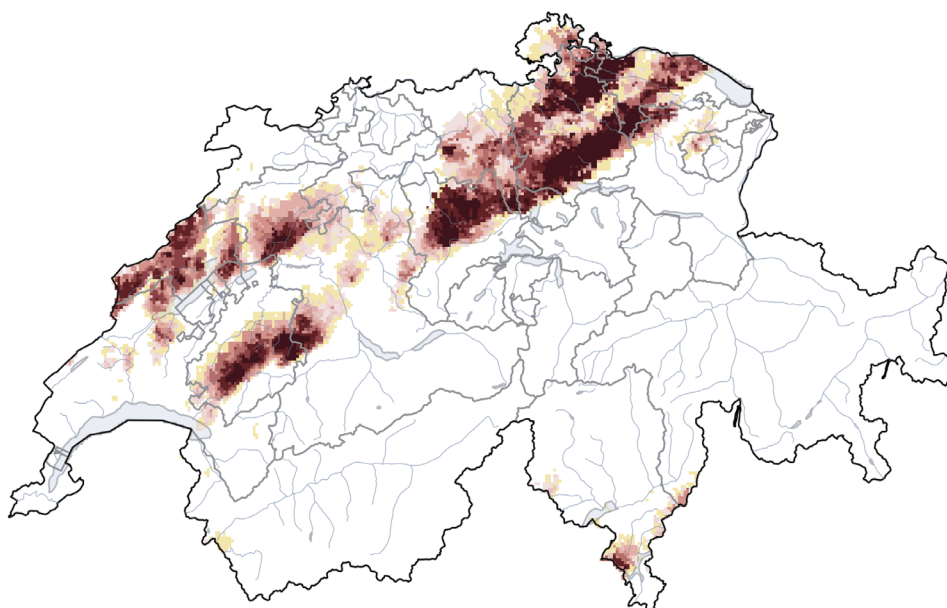


Figure 3.4
Le couloir de grêle le 28 juin 2021. Les tailles maximales de grêlons attendues en cm sont indiquées (échelle à droite). Les grêlons inférieurs à 2 cm sont indiqués en orange.

3.3 Inondations en juillet

Après deux mois de mai et juin très pluvieux, de grandes quantités de pluie sont de nouveau tombées durant la première quinzaine de juillet. A l'exception du Centre et du Sud des Grisons, les sommes de précipitations en juillet ont dépassé 180 % de la norme 1991–2020 sur l'ensemble de la Suisse. Dans de nombreuses stations, les records de précipitations de longue date ont été largement dépassés. En moyenne nationale, avec 195 % de la norme 1991–2020, il s'agit du mois de juillet le plus arrosé depuis le début des mesures en 1864. Les pluies abondantes ont provoqué des crues et inondations au début du mois au Sud des Alpes et vers le milieu du mois au Nord des Alpes.

De fortes pluies orageuses au Sud

Le 7 et surtout le 8 juillet, de violents orages ont produit de grandes quantités de pluie et aussi de la grêle dévastatrice au Sud des Alpes. Les plus grandes quantités de pluie sont tombées entre le centre de la Vallemaggia, la partie supérieure de la Verzasca et le centre de la Léventine. Par exemple, 126 mm ont été mesurés en 24 heures à la station de Faido. L'abondance d'eau a inondé l'autoroute du Gothard et, localement, des masses de boue et d'éboulis emportées par l'eau ont roulé à travers les zones d'habitation.

Importantes quantités de pluie persistante au Nord

Durant la première quinzaine de juillet, les sommes de précipitations ont atteint des valeurs élevées dans les bassins versants des principales rivières du Nord des Alpes. De grandes quantités de pluie sont tombées à partir du 6 juillet en deux vagues en l'espace de dix jours. Sur l'ensemble du mois de juillet, Andermatt dans le bassin-versant de la Reuss et Sedrun dans le bassin-versant du Rhin ont reçu plus de trois fois la norme de juillet 1991–2020, l'Hospice du Grimsel dans le bassin-versant de l'Aar plus du double, et Braunwald dans le bassin-versant de la Linth une fois et demie la norme de juillet.

Antécédents humides

Les grandes sommes de précipitations en peu de temps sont tombées sur un système hydrologique déjà saturé. Les mois de mai et juin, marqués par une activité pluviométrique soutenue, ont apporté des sommes de précipitations parfois nettement supérieures à la moyenne dans de vastes régions de Suisse. De plus, les Alpes ont connu une forte fonte des neiges pendant le mois de juin très doux. Avec les importantes précipitations supplémentaires de juillet, plusieurs lacs et rivières du Nord des Alpes ont finalement connu des crues et inondations.

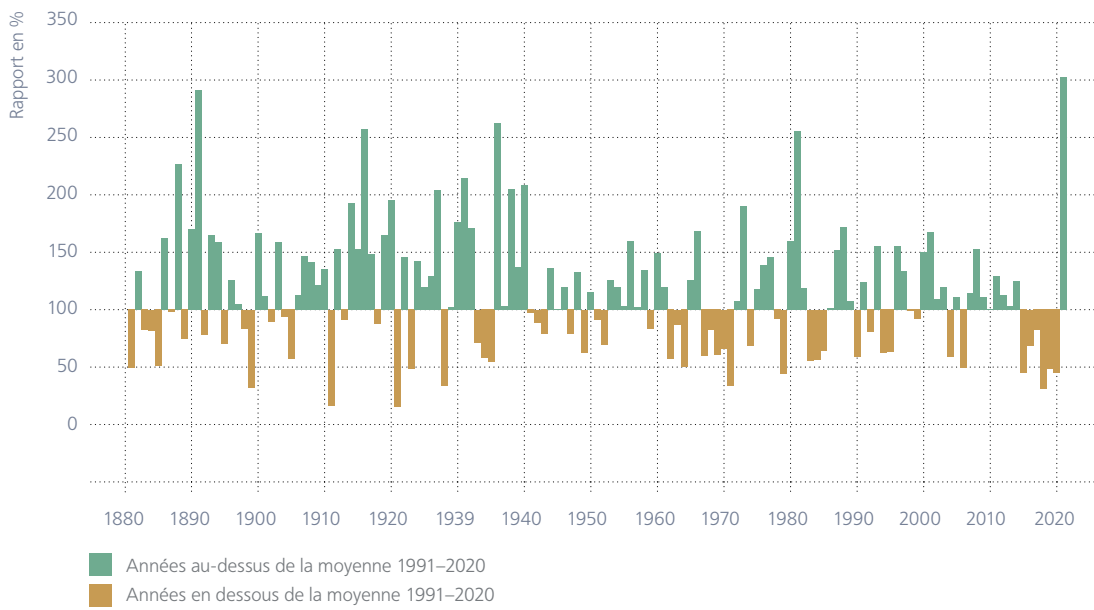


Figure 3.5
 Evolution à long terme de la somme des précipitations de juillet à Andermatt. L'écart par rapport à la norme 1991-2020 est indiqué (vert = écarts positifs, brun = écarts négatifs).





4| Climat global et événements météorologiques

L'année 2021 a présenté un écart de $+0,8\text{ °C}$ par rapport à la norme 1961–1990. Les années 2015–2021 sont les sept années les plus chaudes depuis le début des mesures en 1850, l'année 2021 occupant le 7^e rang, et ce, malgré le fait que des conditions La Niña règnent dans le Pacifique équatorial depuis 2020. La situation décrite ci-dessous se fonde principalement sur la Déclaration annuelle de l'Organisation météorologique mondiale (OMM) [9] sur l'état du climat mondial et sur le rapport climatique global de la National Oceanic and Atmospheric Association (NOAA) [10].

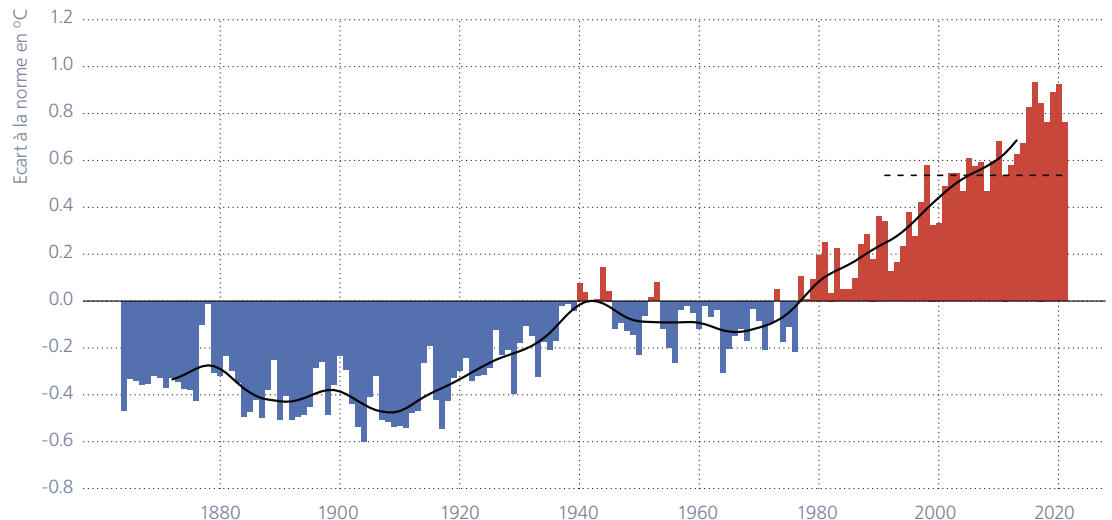
4.1

Grande chaleur sur l'Amérique du Nord et l'Asie

Selon le jeu de données HadCRUT5 du UK Met Office Hadley Centre et de l'Université d'East Anglia, la température moyenne mondiale en 2021 a été supérieure de $0,8\text{ °C}$ à la moyenne de la période de référence 1961–1990. Par rapport à la norme 1991–2020, l'excédent a été de $0,2\text{ °C}$. L'année 2021 occupe ainsi le 7^e rang depuis le début des mesures en 1850. Les sept années consécutives de 2015 à 2021 sont également les sept années les plus chaudes jamais mesurées. L'année 2016 reste pour l'instant en tête, suivie de 2020 et 2019. Les cinq années les plus froides en moyenne mondiale ont toutes été enregistrées avant 1920.

C'est surtout dans l'hémisphère Nord que l'année 2021 a été très chaude (6^e rang, $+1,1\text{ °C}$ par rapport à la norme 1961–1990). Dans la moitié sud du globe, la température moyenne annuelle de 2021 a atteint le 9^e rang et $+0,5\text{ °C}$ par rapport à la norme 1961–1990. Des dépassements particulièrement importants de la température normale, de $1,5\text{ °C}$ et plus, ont été enregistrés en Amérique du Nord et au Groenland, ainsi que de l'Afrique du Nord au nord-est de la Chine et de la Russie, en passant par la péninsule arabe et l'Asie centrale. L'année 2021 a également été supérieure à la moyenne en Europe, au Brésil, en Uruguay et au Paraguay, ainsi que dans

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. La ligne pointillée montre la norme 1991–2020.



Données: UK Met Office Hadley Centre et University of East Anglia Climate Research Unit HadCRUT.5.0.1.0, [11]

4.2 El Niño et La Niña

le nord-est de l'Australie. Dans l'Antarctique, dans certaines régions du Chili et de l'Argentine et dans le sud de l'Australie, les températures annuelles de 2021 sont restées légèrement inférieures ou proches de la norme 1961–1990.

La température moyenne mondiale est d'environ 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 de températures pour la Suisse (Figure 5.1).

Depuis le début de l'année 2020, La Niña domine les événements dans le Pacifique équatorial. En 2021, les valeurs du MEI ont été encore plus faibles que l'année précédente. Cela se traduit par une température comparativement basse des eaux de surface et de la basse atmosphère entre la côte ouest de l'Amérique du Sud et l'Océanie. Des épisodes El Niño et La Niña alternent avec une périodicité moyenne d'environ 4 à 7 ans. El Niño, ou El Niño Southern Oscillation (ENSO), est un facteur principal qui contribue aux variations annuelles de la température globale. Ainsi, les années marquées par les conditions El Niño sont souvent plus chaudes à l'échelle mondiale, tandis que les années marquées par La Niña ont tendance à être plus fraîches.

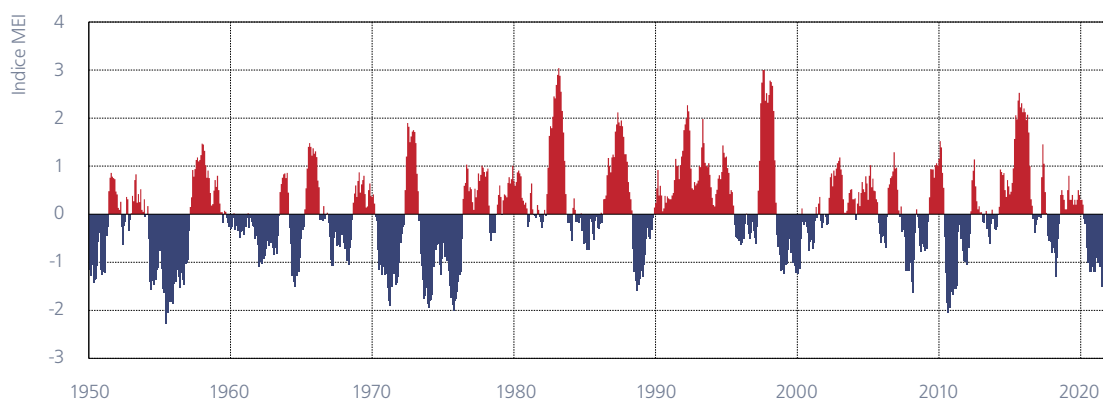


Figure 4.2
Indice multivarié d'El Niño Southern Oscillation (MEI) 1950–2021. Les valeurs indicielles de la phase El Niño (phase chaude) sont indiquées en rouge, les valeurs indicielles de la phase La Niña (phase froide) en bleu. Le MEI est calculé à partir de la pression de surface, des composantes est-ouest et nord-sud du vent de surface, de la température de surface de la mer, de la température de l'air au niveau de la mer et de la couverture nuageuse. Les mesures sont effectuées dans la partie équatoriale de l'océan Pacifique.

Les données sont disponibles sous [12]



4.3 Événements particuliers

L'année 2021 a été l'une des dix plus chaudes en Europe depuis le début des mesures, malgré un printemps globalement plutôt frais. Au niveau régional, on a même enregistré de nouvelles valeurs minimales pour le mois d'avril. Sur le site de mesures de Nova Vas, dans le sud de la Slovénie, un nouveau record de froid pour un mois d'avril a été enregistré avec $-20,4$ °C. Dans ce pays alpin le plus oriental, il s'agit du mois d'avril le plus froid depuis plus de 100 ans. En revanche, les mois de juin et juillet ont été parmi les plus chauds depuis le début des relevés dans le nord et l'est du continent européen. Dans la région méditerranéenne, une vague de chaleur intense s'est produite en août. Dans certains endroits d'Europe et d'Afrique du Nord, des températures supérieures à 45 °C ont été enregistrées pendant cette vague de chaleur. A Syracuse (Sicile), un nouveau record de chaleur européen de $48,8$ °C a été enregistré le 11 août 2021, mais il n'a pas encore été confirmé. Actuellement, le record de $48,0$ °C établi à Athènes en 1977 reste la température la plus élevée jamais enregistrée sur le continent européen. Dans plusieurs endroits du sud de l'Europe, le mois de juillet 2021 a été plus sec que la moyenne. En conséquence, de dangereux incendies de forêt se sont déclarés dans la région jusqu'à la fin du mois.

Des pluies torrentielles se sont abattues sur certaines régions d'Europe occidentale entre le 13 et le 15 juillet, provoquant des inondations meurtrières, certaines localités de l'ouest de l'Allemagne et de la Belgique ayant reçu au moins deux fois la quantité normale de précipitations mensuelles en seulement trois jours. Début octobre, de grandes quantités de pluie sont tombées dans le nord de l'Italie, provoquant des inondations et des glissements de terrain. Selon les rapports, il est tombé en Ligurie 181 mm en une heure et plus de 900 mm en 24 heures. Un médicane, qui ressemble à un cyclone tropical dans la région méditerranéenne, a provoqué des pluies torrentielles sur certaines parties de l'Algérie, de la Tunisie et du sud de l'Italie à la fin du mois. Ces pluies violentes ont provoqué de graves inondations.

En Amérique du Nord, 2021 a également fait partie des dix années les plus chaudes. Un mois de janvier d'une chaleur presque record a été suivi d'une vague de froid dans le centre des États-Unis et du Canada, qui a notamment entraîné des coupures de courant pour près de dix millions de personnes. Dans les Prairies canadiennes, les températures maximales journalières n'ont pas dépassé -34 °C en février 2021. En revanche, l'Amérique du Nord a connu de fortes chaleurs en juin. Une vague de chaleur extrême dans le nord-ouest des États-Unis et dans l'ouest du Canada a entraîné des températures maximales journalières supérieures à 38 °C dans certaines régions. De telles températures sont très exceptionnelles pour cette région. Les températures caniculaires et les conditions sèches ont contribué au développement de nombreux incendies de forêt dans la région. A Lytton, en Colombie-Britannique, on a enregistré $49,6$ °C le 29 juin 2021, un nouveau record national canadien. La localité a presque entièrement brûlé dans le sillage des incendies. Au Mexique, un nouveau

record absolu a également été enregistré en 2021 avec une valeur de $50,4$ °C mesurée à Mexicali, au nord-ouest du pays.

Cette année, l'Atlantique a connu 21 systèmes tropicaux nommés, soit le troisième nombre le plus élevé depuis le début des relevés. Le 19 juin, la tempête tropicale Claudette a touché terre en Louisiane (États-Unis), provoquant des pluies torrentielles et des inondations. Claudette a contribué à des conditions plus humides que la moyenne dans le sud-est des États-Unis, notamment en Alabama et dans le Mississippi, qui ont connu respectivement le deuxième et cinquième mois de juin les plus humides jamais enregistrés. L'ouragan Ida était de catégorie 4 lorsqu'il a touché terre en Louisiane le 29 août 2021. Avant d'atteindre les États-Unis, Ida a également causé d'importants dégâts à Cuba.

L'Amérique du Sud a connu une période très chaude entre août et décembre 2021. Selon les données de la NOAA, septembre 2021 a été le mois de septembre le plus chaud et également le deuxième mois le plus chaud de tous les mois depuis le début des relevés en Amérique du Sud. La sécheresse qui en a résulté, a frappé de plein fouet le centre et le sud du Brésil, entraînant l'une des pires sécheresses que le pays ait connues depuis des siècles.

Sur le continent africain, 2021 a été l'une des trois années les plus chaudes depuis le début des relevés. Le 23 janvier 2021, Eloise a touché le Mozambique en tant qu'ouragan de catégorie 1. La tempête a frappé la région avec des vents violents et des pluies torrentielles qui ont provoqué des inondations.

En Asie, l'année 2021 s'est également située dans le top 10 en termes de températures. Les mois de mai, juin et août ont notamment été très chauds par rapport à la moyenne continentale. Il y a également eu des épisodes de fortes précipitations d'importance. Selon l'Organisation météorologique mondiale, il est par exemple tombé 382 mm à Zhengzhou, dans la province chinoise du Henan, le 20 juillet 2021, en seulement six heures – soit un peu plus de la moitié des 641 mm de précipitations annuelles moyennes – et plus de 640 mm sur une courte période de quatre jours. Ces pluies abondantes ont provoqué de dangereuses inondations.

Le 11 septembre 2021, le typhon Chanthu, un cyclone tropical de catégorie 5 sur l'échelle de Saffir-Simpson, s'est abattu sur les îles Batanes, au nord des Philippines. Chanthu a détruit les infrastructures des îles Batanes, faisant tomber des pylônes et des arbres, ce qui a entraîné des coupures de courant. Chanthu a également frappé Taiwan avec des pluies torrentielles et de fortes marées de tempête atteignant 7 mètres. Le cyclone tropical Seroja a traversé la côte de l'Australie Occidentale le 11 avril. Seroja a apporté des pluies abondantes et des vents forts dans la région. En plusieurs endroits, on a enregistré les plus fortes précipitations journalières depuis le début des relevés. Seroja a également frappé l'Indonésie, provoquant des inondations et des glissements de terrain historiques.





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) [13]. 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 [14], complétées par les variables s'appliquant spécifiquement à la Suisse. Tiré de [13].

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

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

mondiale [15]. 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 [15], [16].

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].
Jours de gel (OMM)	Jours de l'année civile affichant une température minimale $T_{\min} < 0$ °C	Le nombre de jours de gel dépend essentiellement de l'altitude de la station. Indicateur climatique particulièrement pertinent à haute altitude.
Journées d'été (OMM)	Jours de l'année civile affichant une température maximale $T_{\max} \geq 25$ °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 $P > 95^{\text{ème}}$ 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 indicelle 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 [17], [18], [19], [20], [21].
Jours de neige fraîche	Nombre de jours de neige fraîche mesurable des mois d'octobre à mars (semestre d'hiver)	

Tableau 5.2

Indicateurs climatiques utilisés dans le domaine atmosphérique et le domaine terrestre. Les indicateurs OMM sont définis dans l'OMM/ETCCDI [15].

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 an-

nuelles (nombre de jours de gel par an par exemple), étant entendu que l'on se réfère toujours à l'année civile (du 1er janvier au 31 décembre).

Température

Avec un écart de +1,1 °C par rapport à la norme 1961–1990, l'année 2021 n'a pas figuré, en moyenne nationale, parmi les vingt années les plus chaudes depuis le début des mesures en 1864 (21^e rang). L'hiver 2020/21 a été doux, avec un écart de +1,4 °C par rapport à la norme 1961–1990. La température moyenne nationale du printemps s'est située exactement au niveau de la norme saisonnière. En été, la Suisse a enregistré un écart de température de +1,7 °C par rapport à la moyenne de 1961–1990, comparable à l'été des années 2016 ou 2013. Lors des étés caniculaires de 2015 et 2017 à

2019, des écarts de plus de +3 °C ont été atteints. L'été caniculaire de 2003 reste à ce jour l'été le plus chaud jamais mesuré en Suisse. L'automne 2021 a également dépassé la norme 1961-1990 avec +0,9 °C.

La tendance à long terme de la température annuelle pour l'ensemble de la Suisse est de +1,4 °C/100 ans, ce qui correspond à une variation totale de +2,2 °C (1864–2021). Le Tableau 5.3 donne un aperçu de l'évolution des températures.

Tableau 5.3

Tendances des températures saisonnières et annuelles en °C par tranche de 10 ans au cours des périodes 1864–2021, 1901–2021 et 1961–2021, (valeurs moyennes pour toute la Suisse). Les données de signification sont expliquées dans la section température sous 5.3 origine des données et méthodes.

Période	Printemps MARS–MAI	Été JUN–AOÛT	Automne SEP–NOV	Hiver DEC–FEV	Année JAN–DEC
1864–2021	+0,13°C fortement significatif	+0,15°C fortement significatif	+0,14°C fortement significatif	+0,13°C fortement significatif	+0,14°C fortement significatif
1901–2021	+0,16°C fortement significatif	+0,21°C fortement significatif	+0,18°C fortement significatif	+0,16°C fortement significatif	+0,18°C fortement significatif
1961–2021	+0,44°C fortement significatif	+0,52°C fortement significatif	+0,26°C fortement significatif	+0,35°C fortement significatif	+0,38°C fortement significatif

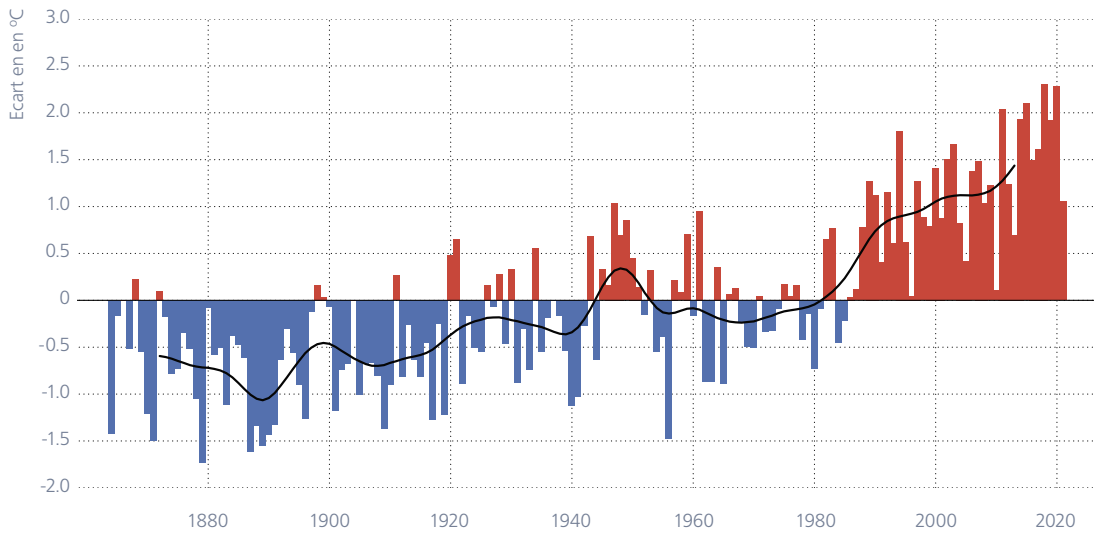
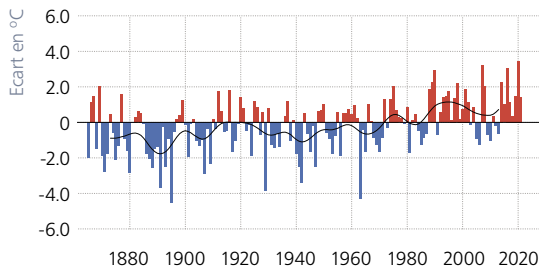
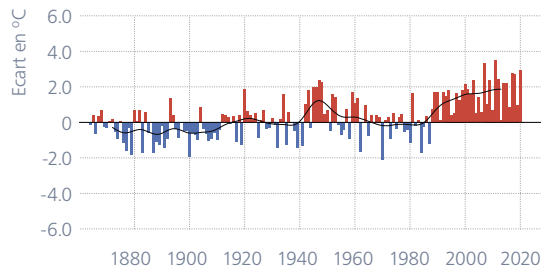


Figure 5.1
Evolution à long terme de la température annuelle moyenne pour l'ensemble de la Suisse. Le graphique indique l'écart annuel de la température à la norme 1961-1990 (rouge = écarts positifs, bleu = écarts négatifs). La courbe noire indique la moyenne pondérée sur 20 ans.

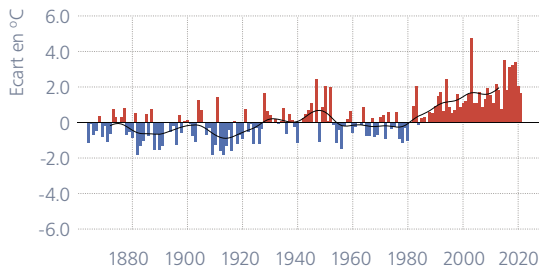
Hiver (DEC, JAN, FEV) 1864/65-2020/21



Printemps (MARS, AVR, MAI) 1864-2021



Été (JUIN, JUL, AOÛT) 1864-2021



Automne (SEP, OCT, NOV) 1864-2021

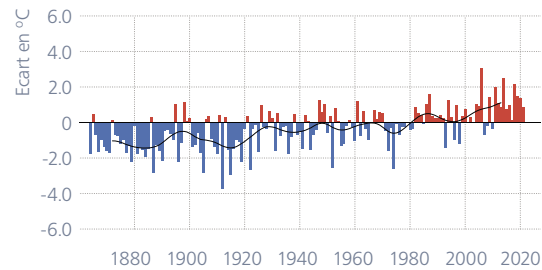
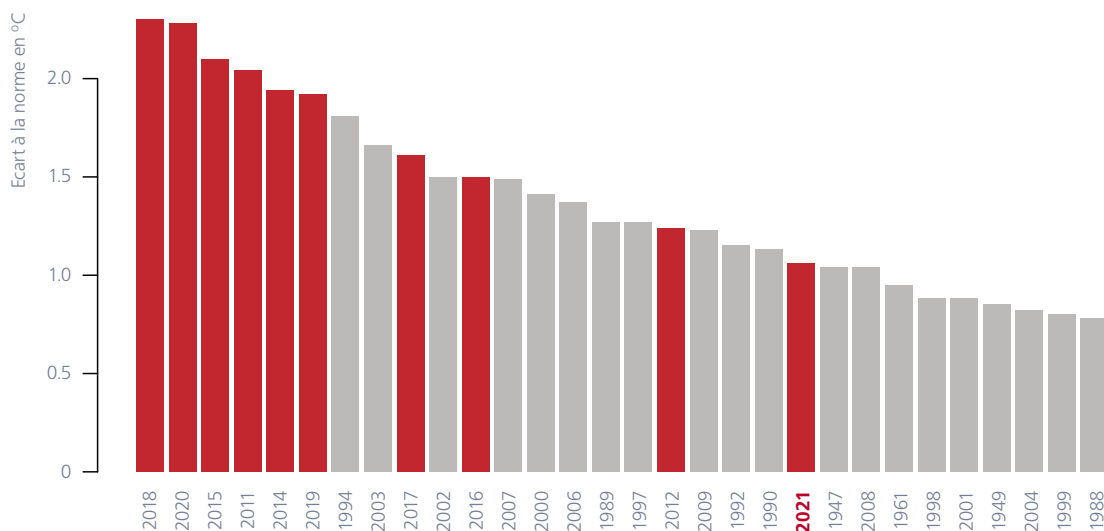


Figure 5.2
Evolution à long terme de la température saisonnière moyenne pour toute la Suisse. Le graphique indique l'écart annuel de la température saisonnière à la norme 1961-1990 (rouge = écarts positifs, bleu = écarts négatifs). La courbe noire indique la moyenne pondérée sur 20 ans.

Les années affichant les températures les plus élevées sont fréquentes au cours des dernières décennies. Parmi les 30 années les plus chaudes depuis le début des mesures en 1864, seules quelques-unes ont été enregistrées avant 1990. Les cinq premières années ont toutes eu lieu après 2010 (Figure 5.3). Seules les années 2010 et 2013 ne figurent pas parmi les 30 plus chaudes en Suisse. L'année 2021 s'est située au 21^e rang. L'évolution à long terme de la température en Suisse avec une 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 une poursuite du net réchauffement en Suisse en raison du changement climatique anthropique. Selon les scénarios climatiques actuels, l'augmentation annuelle moyenne de la température 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 plus fort réchauffement saisonnier de 4,1 à 7,2 °C est attendu en été, dans le cas où les émissions mondiales de gaz à effet de serre se poursuivent comme jusqu'à présent [8].

Figure 5.3
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 2021 se situe à la 21^e place.



Informations complémentaires sur l'évolution de la température:

meteosuisse.admin.ch/home/climat/changement-climatique-suisse/evolution-de-la-temperature-et-des-precipitations.html

meteosuisse.admin.ch/home/climat/le-climat-suisse-en-detail/tendances-observees-aux-stations.html

nccs.admin.ch/nccs/fr/home/changement-climatique-et-impacts/scenarios-climatiques-suissees/commander-la-brochure-ch2018.html

nccs.admin.ch/nccs/fr/home/bibliotheque-de-donnees-et-de-medias/daten/atlas-web-ch2018.html



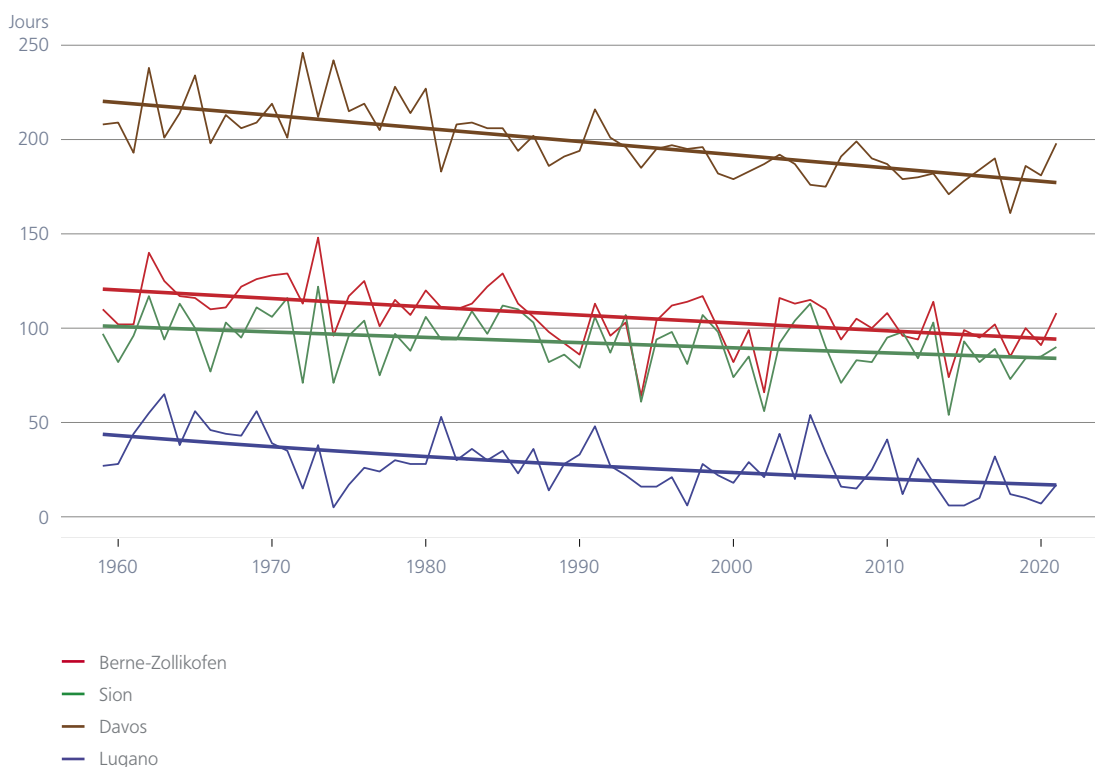
Jours de gel

Malgré un hiver doux, le nombre de jours de gel en 2021 a été légèrement plus élevé que les années précédentes sur tous les sites de mesure mentionnés ici. Cela s'explique par les températures parfois basses du printemps. Davos, site de mesures le plus élevé des stations présentées ici, a enregistré 198 jours de gel. La norme 1961–1990 est de 210 jours de gel par année. A Berne, il a été enregistré 108 jours de gel (norme 115), à Sion 90 jours de gel (norme 97) et à Lugano, à peine la moitié de la normale avec 17 jours de gel (norme 35).

Suite au net réchauffement des hivers des dernières décennies, on constate une diminution significative du nombre de jours de gel dans les séries de mesures de Berne, Davos, Sion et Lugano. Entre 3 et 7 jours de gel en moins sont enregistrés par décennie.

Selon les nouveaux scénarios climatiques CH2018 [8], 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, 53–69 jours de gel par année sont encore attendus.

Figure 5.4
Evolution dans le temps des jours de gel (jours de l'année civile affichant une température minimale $<0^{\circ}\text{C}$) pour les stations de Berne, Sion, Davos et Lugano.



Journées d'été

Le fait que l'été 2021 n'ait pas été l'un des plus chauds se traduit également par un nombre de jours d'été nettement inférieur à celui des étés chauds survenus entre 2015 et 2020. A Lugano, 81 jours d'été ont été recensés. C'est certes nettement plus que la norme 1961–1990 (50 jours d'été), mais en 2018 et 2019, 105 et 92 jours d'été avaient été enregistrés à Lugano. A Sion, seuls 67 jours d'été ont été mesurés (norme 55). Entre 2015 et 2020, il y avait eu entre 74 et 115 jours d'été. Berne a enregistré un total de 34 jours d'été en 2021, soit presque autant que la norme (31 jours d'été par an en moyenne). A Davos, il y a eu 4 jours à plus de 25 °C en 2021. La norme 1961–1990 est d'un jour d'été par an en moyenne.

Dans les quatre séries de mesures présentées, la tendance à l'augmentation du nombre de jours d'été est significative. Chaque décennie, Berne affiche environ 4 journées d'été de plus, Sion 6 et Lugano 8 de plus. A Davos, à 1600 mètres, la hausse est de 2 journées d'été par décennie.

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, 68–90 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 [8].

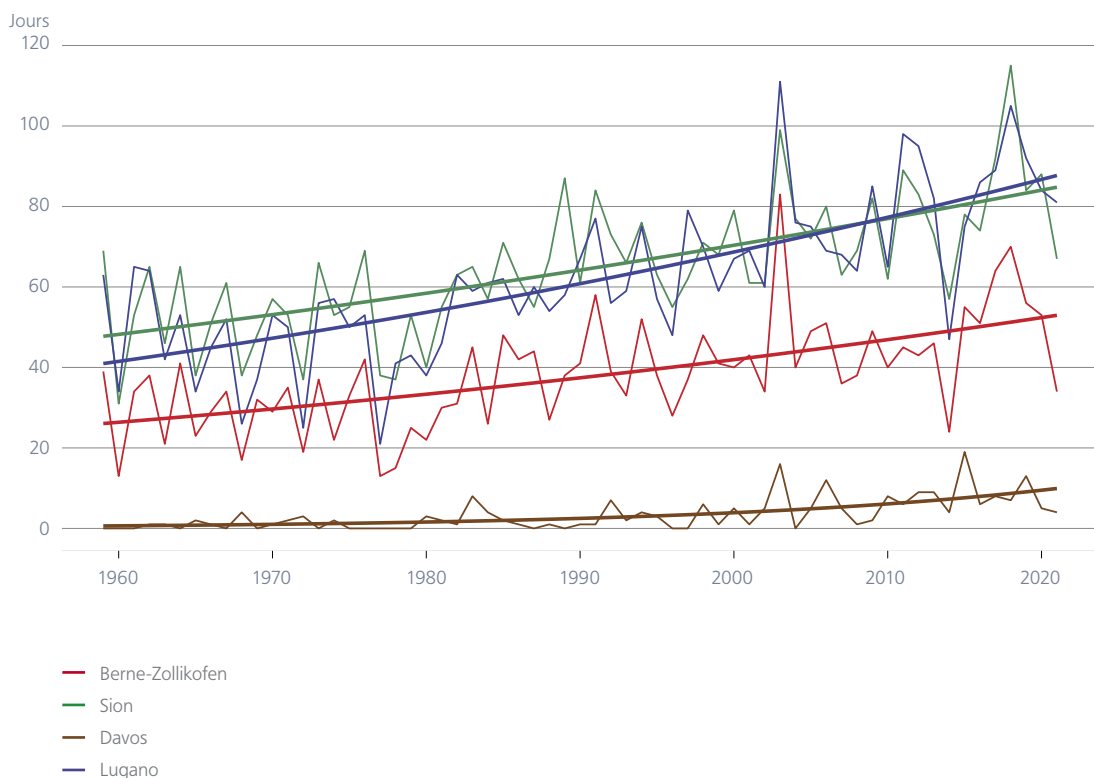


Figure 5.5
Evolution dans le temps
des journées d'été (jours de
l'année civile affichant une
température maximale
≥ 25 °C) pour les stations de
Berne, Sion, Davos et Lugano.

Précipitations

Après quatre années consécutives avec des conditions trop sèches, les précipitations en 2021 ont été légèrement excédentaires sur le Plateau, avec 106 % des précipitations normales (Figure 5.6). Il y a toutefois eu de grandes différences entre les différentes saisons. Avec 115 % de la norme 1961–1990, l'hiver 2020/21 a apporté une quantité de précipitations légèrement supérieure à la moyenne. L'été a été nettement trop humide avec 142 % de la norme. Les précipitations du printemps 2021 n'ont été que légèrement inférieures à la norme, avec 94 % de la norme. En revanche, l'automne sec n'a enregistré que 50 % des précipitations normales (Figure 5.7).

Dans le Sud de la Suisse, les précipitations de l'année 2021, avec 93 %, ont été légèrement inférieures à la moyenne pluriannuelle de la période de comparaison 1961–1990, contrairement au nord de la Suisse (Figure 5.8). En hiver, les précipitations

ont été relativement abondantes au Sud des Alpes (163 % de la norme). Le printemps suivant n'a toutefois apporté que 53 % des précipitations normales (Figure 5.9). L'été et l'automne ont ensuite été légèrement supérieurs à la moyenne, avec 114 % des précipitations normales saisonnières.

Sur le Plateau, on observe une faible tendance à la hausse à long terme des précipitations annuelles (1864–2021) de +0,6 %/10 ans. Cela est dû à la tendance fortement significative en hiver (+2,1 %/10 ans). Les saisons du printemps, de l'été et de l'automne ne présentent pas de tendance significative à l'augmentation ou à la diminution des précipitations. Le Sud de la Suisse ne présente pas de tendances significatives, ni annuelle, ni saisonnière. Le Tableau 5.4 et le Tableau 5.5 donnent un aperçu général des tendances des précipitations au Nord et au Sud des Alpes.

Tableau 5.4

Tendances de précipitations saisonnières et annuelles en % par tranche de 10 ans au cours de périodes 1864–2021, 1901–2021 et 1961–2021, calculées pour le Plateau. Les données de signification sont expliquées dans la section précipitations sous 5.3 origine des données et méthodes.

Période	Printemps MARS–MAI	Été JUIN–AOÛT	Automne SEP–NOV	Hiver DEC–FEV	Année JAN–DEC
1864–2021	+0,7 % non significatif	+0,1 % non significatif	-0,4 % non significatif	+2,1 % fortement significatif	+0,6 % significatif
1901–2021	+0,6 % non significatif	-0,4 % non significatif	+0,1 % non significatif	+1,8 % significatif	+0,5 % non significatif
1961–2021	+0,2 % non significatif	+0,6 % non significatif	+0,5 % non significatif	+1,0 % non significatif	+0,5 % non significatif

Tableau 5.5

Tendances de précipitations saisonnières et annuelles en % par tranche de 10 ans au cours de périodes 1864–2021, 1901–2021 et 1961–2021, calculées pour la Suisse méridionale. Les données de signification sont expliquées dans la section précipitations sous 5.3 origine des données et méthodes.

Période	Printemps MARS–MAI	Été JUIN–AOÛT	Automne SEP–NOV	Hiver DEC–FEV	Année JAN–DEC
1864–2021	-0,1 % non significatif	-0,1 % non significatif	-0,7 % non significatif	+1,4 % non significatif	0,0 % non significatif
1901–2021	-1,1 % non significatif	-0,6 % non significatif	+0,6 % non significatif	+1,1 % non significatif	-0,2 % non significatif
1961–2021	-1,2 % non significatif	+2,4 % non significatif	+1,2 % non significatif	+2,4 % non significatif	+0,9 % non significatif

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 % [8].

Informations complémentaires sur l'évolution des précipitations:

meteosuisse.admin.ch/home/climat/changement-climatique-suisse/evolution-de-la-temperature-et-des-precipitations.html

meteosuisse.admin.ch/home/climat/le-climat-suisse-en-detail/tendances-observees-aux-stations.html

nccs.admin.ch/nccs/fr/home/changement-climatique-et-impacts/scenarios-climatiques-suissees/commander-la-brochure-ch2018.html

nccs.admin.ch/nccs/fr/home/bibliotheque-de-donnees-et-de-medias/daten/atlas-web-ch2018.html

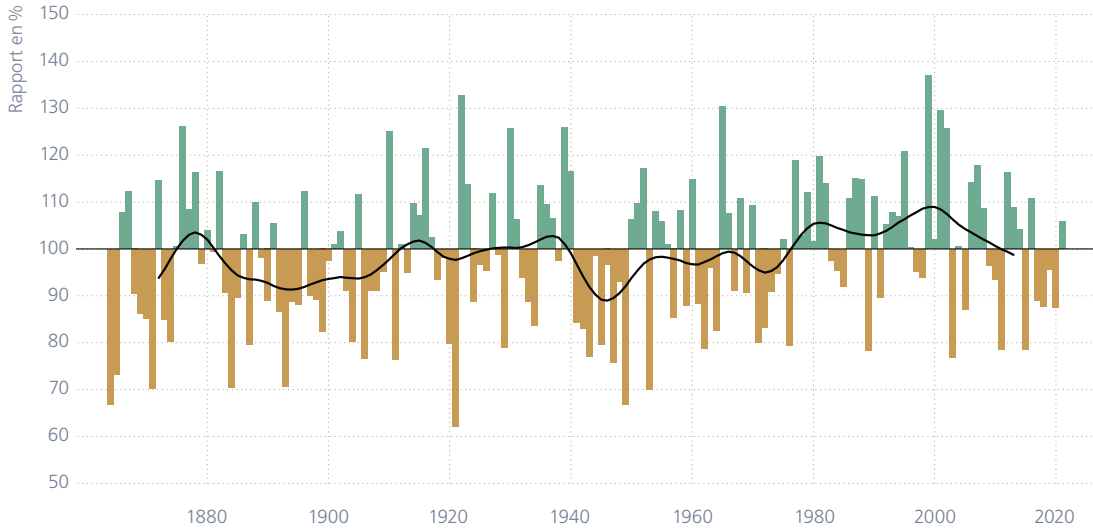
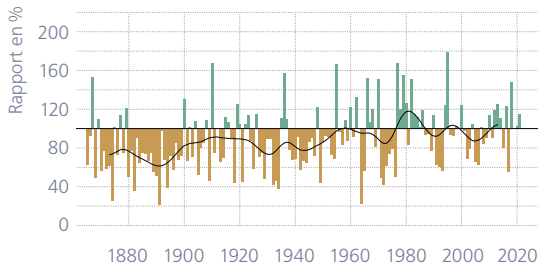
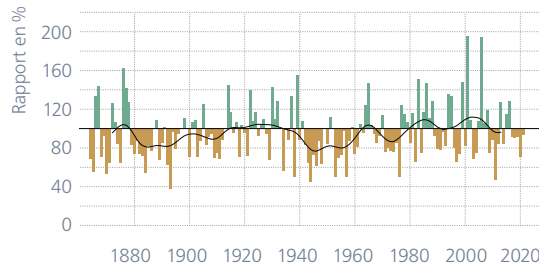


Figure 5.6
Evolution à long terme des sommes des précipitations annuelles moyennes sur le Plateau. Le rapport des sommes des précipitations annuelles à la norme 1961-1990 est représenté (vert = écarts positifs, brun = écarts négatifs). Les séries de mesures homogènes de Genève, Bâle, Berne et Zurich servent de base de données. La courbe noire indique la moyenne pondérée sur 20 ans.

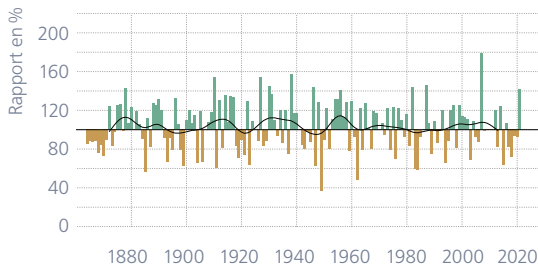
Hiver (DEC, JAN, FEV): 100 % = env. 200 mm



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



Été (JUN, JUL, AOÛT): 100 % = env. 300 mm



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

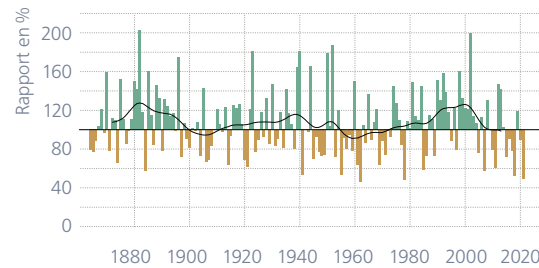


Figure 5.7
Evolution à long terme des sommes des précipitations saisonnières moyennes sur le Plateau. Le rapport des sommes des précipitations saisonnières à la norme 1961-1990 est représenté (vert = écarts positifs, brun = écarts négatifs). Les séries de mesures homogènes de Genève, Bâle, Berne et Zurich servent de base de données. La courbe noire indique la moyenne pondérée sur 20 ans. Il est à noter que les étés 2008-2011 ont produit 100 % de précipitations, d'où les colonnes «manquantes» dans le graphique.

Figure 5.8
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 homogène de Lugano sert de base de données. La courbe noire indique la moyenne pondérée sur 20 ans.

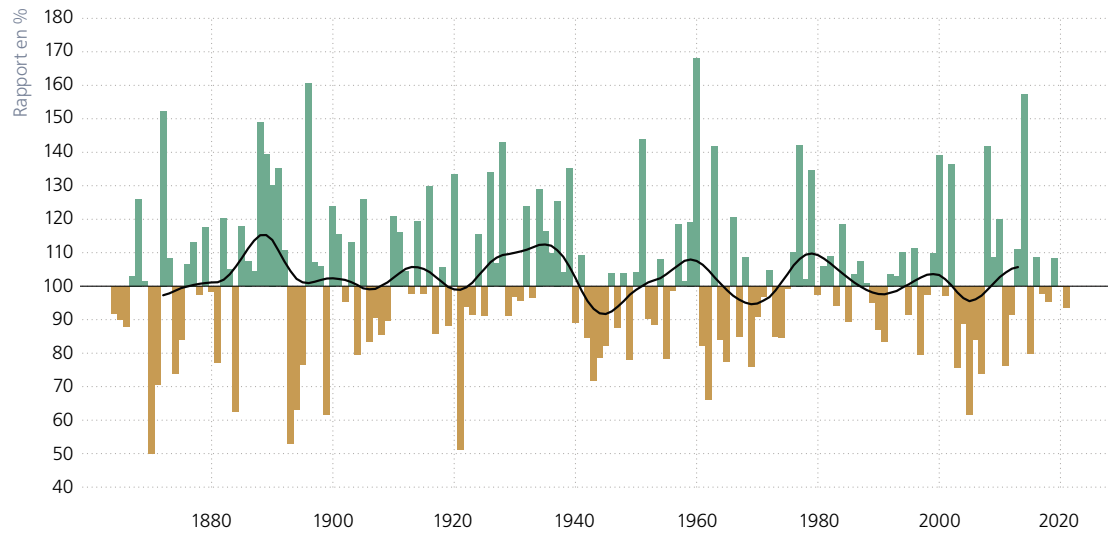
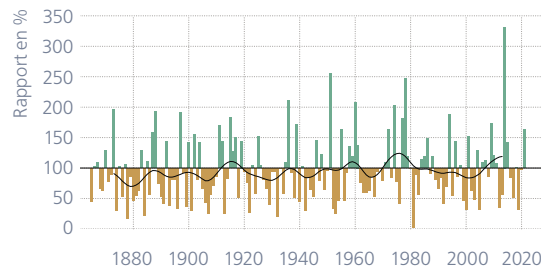
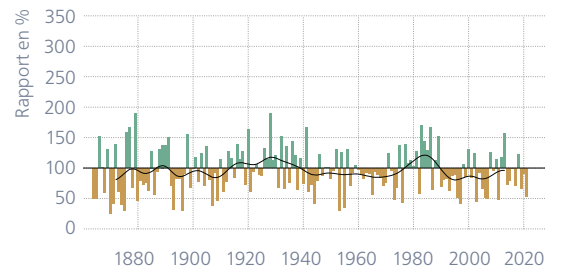


Figure 5.9
Evolution à long terme des sommes des précipitations saisonnières en Suisse méridionale. Le rapport des sommes des précipitations saisonnières à la norme 1961–1990 est représenté (vert = écarts positifs, brun = écarts négatifs). La série de mesures homogène de Lugano sert de base de données.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

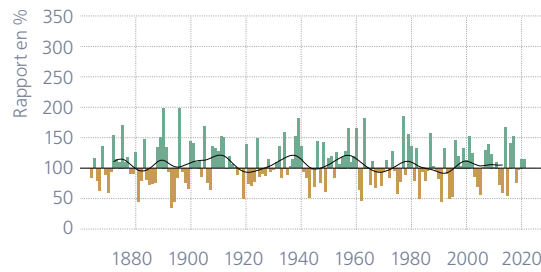
Hiver (DEC, JAN, FEV): 100 % = env. 220 mm



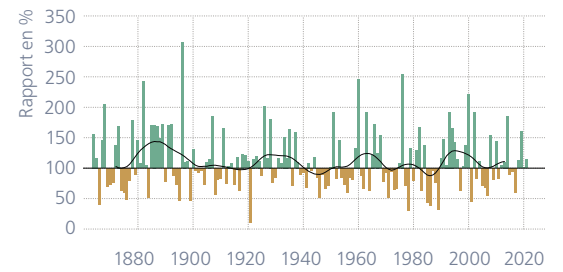
Printemps (MARS, AVR, MAI): 100 % = env. 480 mm



Été (JUN, JUL, AOÛT): 100 % = env. 520 mm



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



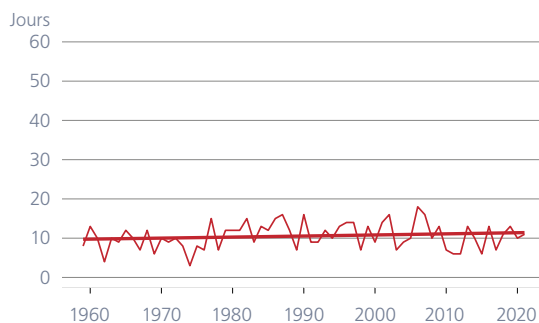
Jours de fortes précipitations

Tout comme les quantités de précipitations en moyenne annuelle 2021 qui ne s'écartent que légèrement de la moyenne, le nombre de jours de fortes précipitations est resté dans la norme sur les quatre sites de mesures. A Berne, il y a eu 11 jours avec plus de 20 mm de précipitations (norme 10), à Davos 14 jours (norme 10), à Sion 4 jours (norme 5) et à Lugano 26 jours (norme 26). Comme pour le régime des précipitations en général (à l'exception de l'hiver sur le Plateau, voir Tableau 5.4), aucune tendance significative ne peut être observée en ce qui concerne les jours de fortes précipitations pour 3 des 4 sites de mesures énumérés ici pour la période considérée à partir de 1959. Davos montre une augmentation significative de 0,5 jour par décennie. Si on remonte jusqu'en 1901,

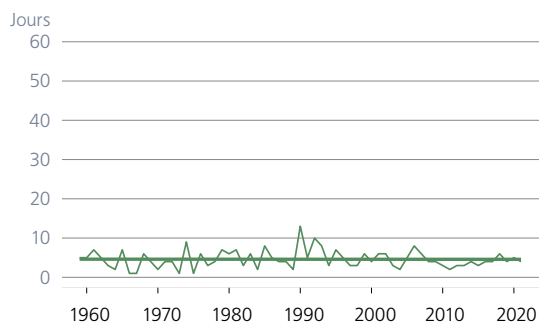
92 % des 185 séries de mesures montrent une augmentation et 35 % une augmentation significative des fortes précipitations. Par ailleurs, 91 % montrent une augmentation et 31 % une augmentation significative dans l'intensité des fortes précipitations [22].

Les scénarios climatiques CH2018 montrent également une augmentation des précipitations extrêmes et fortes à l'avenir. Les plus fortes précipitations sur une journée par an devraient augmenter de 10 % d'ici 2060 [8].

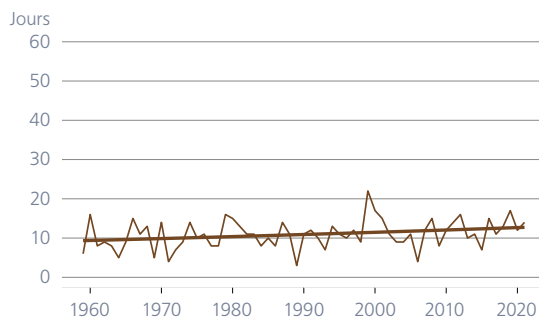
Berne-Zollikofen



Sion



Davos



Lugano

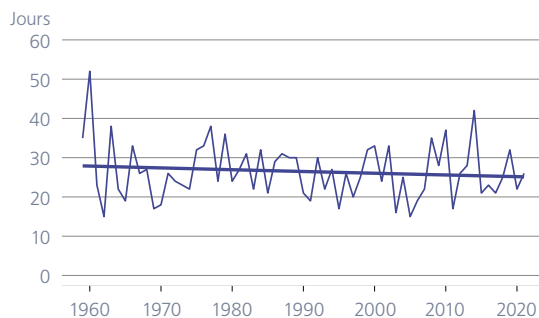


Figure 5.10

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



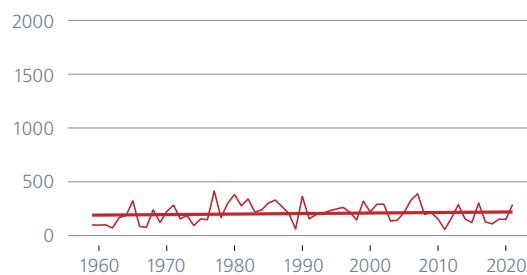


Précipitations des journées très humides

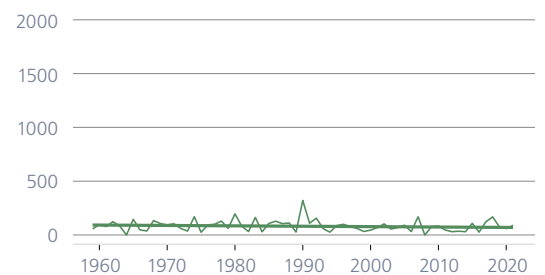
Sur le site de mesures de Davos, la somme des précipitations des jours très humides s'est élevée à 214 mm, soit exactement la même valeur que la norme. La somme n'a été que légèrement supérieure à la moyenne à Lugano avec 908 mm (norme 858 mm). Le site de mesures de Berne/Zollikofen a enregistré 288 mm. C'est nettement plus que la norme (216 mm). Cela s'explique par un été très pluvieux au Nord des Alpes. Sion a enregistré 89 mm, soit des quantités légèrement inférieures à la moyenne sur la période 1961–1990 (norme 98 mm). Dans l'évolution à long terme, Berne, Sion et Lugano ne montrent aucune tendance significative. Une augmentation significative de 14 mm par décennie peut être observée dans la série de mesures de Davos.

Figure 5.11
Somme des précipitations
annuelles de toutes les jour-
nées 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 1961–1990.

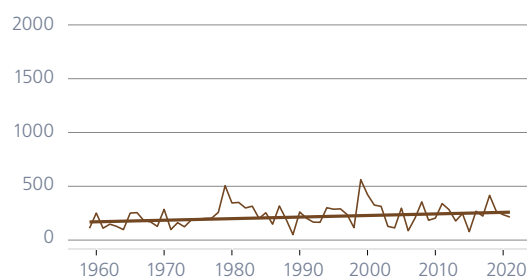
Berne-Zollikofen



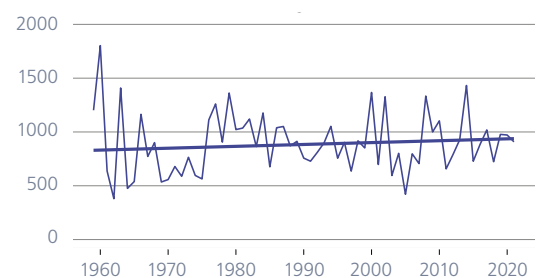
Sion



Davos



Lugano

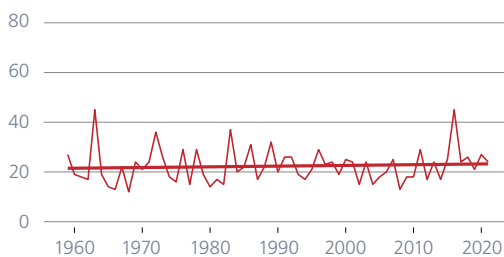


Périodes de sécheresse

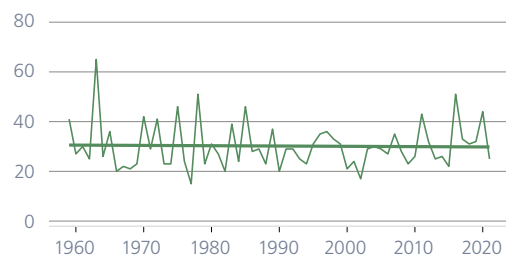
En 2021, aucune phase de sécheresse exceptionnellement courte ou longue n'a été enregistrée en Suisse. Sur les sites de mesures de Berne, Sion et Davos, les périodes de sécheresse les plus longues n'ont que très peu différé de la norme (Berne 24 jours/norme 22, Sion 25 jours/norme 30, Davos 19 jours/norme 22). A Lugano, la plus longue période de sécheresse a duré 27 jours, soit presque une semaine de moins que la moyenne de la période 1961–1990 (33 jours). Dans l'évolution à long terme, aucune des séries de mesures mentionnées ne fait apparaître une tendance significative indiquant un allongement ou un raccourcissement des périodes de sécheresse.

Selon les scénarios climatiques CH2018, la plus longue période de sécheresse d'une année devrait augmenter de 9 jours d'ici 2060 si les émissions mondiales de gaz à effet de serre ne sont pas considérablement réduites [8].

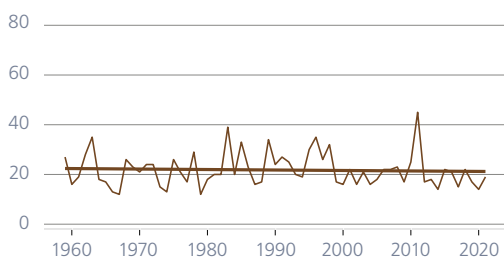
Berne-Zollikofen



Sion



Davos



Lugano

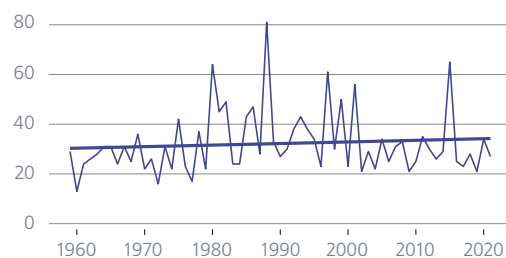


Figure 5.12

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

Indice de sécheresse

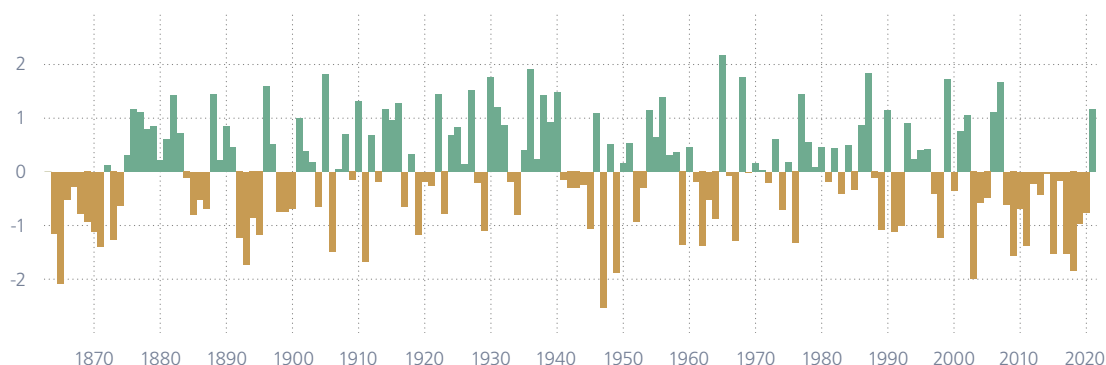
La sécheresse peut être définie de différentes manières. De manière tout à fait générale, elle se définit comme un déficit de précipitations sur une longue période pouvant aller de plusieurs mois à plusieurs saisons. Selon la durée de la sécheresse, la pénurie d'eau peut affecter diversement différents domaines (agriculture et sylviculture, approvisionnement en eau et en énergie, navigation). Le graphique ici présente le bilan hydrique des mois d'avril à septembre 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 que 2021 est la première année depuis longtemps à présenter un bilan hydrique positif sur les mois d'avril à septembre. Auparavant, 13 années de la période de végétation avaient toutes été plus sèches que la médiane à long terme, avec quelques années extrêmement sèches comme la dernière en 2018 [1]. Des étés secs plus fréquents correspondent à ce que l'on attend d'un climat qui se réchauffe avec une évaporation plus élevée [36], mais des étés comparativement humides comme celui de 2021 ne sont pas inhabituels en raison de la forte variabilité.

Les années avec des valeurs SPEI très faibles (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].

Outre les nombreux épisodes de sécheresse survenus au cours des 20 dernières années, une tendance claire à l'augmentation des sécheresses se dessine pour la période 1981–2020. Celle-ci est alimentée par deux facteurs. D'une part, une légère diminution des précipitations est enregistrée. D'autre part, l'augmentation de l'évaporation contribue à peu près dans la même mesure à la sécheresse. L'augmentation de l'évaporation est surtout liée au fort réchauffement des dernières décennies [38].

Figure 5.13
SPEI durant toute la période de végétation (6 mois, d'avril à septembre) à la station de mesures de Berne. Les valeurs positives indiquent des conditions plus humides que la médiane (1864–2021), les valeurs négatives, des conditions plus sèches.





Atmosphère libre

Limite du zéro degré

La série temporelle de la limite du zéro degré est déterminée par calcul de la valeur médiane des altitudes de zéro degré sur un an pour chaque année depuis 1959. Les données utilisées sont celles des radiosondages lâchés quotidiennement depuis Payerne à 11 h et 23 h UTC. L'altitude médiane relevée en 2021 est de 2680 m, une valeur plus basse de 80 m par rapport à l'année 2020.

La Figure 5.14 montre la tendance à l'augmentation de la limite du zéro degré (tendance linéaire tracée en rouge) durant la période 1959–2021. La tendance linéaire obtenue sur toute la série des données représente donc la tendance générale des valeurs d'altitude du zéro degré sur la période 1959–2021, 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 de toute la série temporelle avec une valeur de 2951 m, supérieure de 594 m à la médiane calculée sur la période de référence 1961–1990 (2357 m). Par contre, la valeur minimale a été obtenue en 1965 avec une valeur de 2087 m, soit 270 m au-dessous de la médiane de référence. L'année 2021 marque une légère baisse de l'altitude du zéro degré par rapport à l'année 2020, mais toujours en ligne avec la tendance générale. A noter qu'au cours des 30 dernières années, les valeurs annuelles ont systématiquement été au-dessus de la médiane de référence. La période 1959–1990 montre une tendance neutre très bien représentée par la médiane de référence.

Tableau 5.6
**Minima et maxima
saisonniers de la limite
du zéro degré.**

	Hiver DEC-FEV	Printemps MARS-MAI	Été JUN-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)

L'évolution de la limite du zéro degré suit de près l'évolution de la moyenne annuelle de la température au sol en Suisse. Les valeurs annuelles montrées en Figure 5.14 ont augmenté de manière stable au cours de la période 1990–2021, une tendance en bon accord aussi avec les tendances saisonnières (Figure 5.15). Spécialement pendant les saisons chaudes, en printemps et en été, la tendance linéaire des valeurs saisonnières correspond assez bien à la tendance des valeurs annuelles, bien que caractérisée par des taux d'augmentation par décennies plus élevés (89 m/10 ans et 85/10 ans en été

et printemps, respectivement). 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. Au contraire, pendant les mois d'hiver et d'automne l'évolution temporelle des valeurs saisonnières est caractérisée par une tendance positive moins prononcée (69 m/10 ans, hiver), ou quasi-plat comme c'est le cas pour l'automne (50 m/10 ans, automne). Le Tableau 5.6 montre les valeurs extrêmes des séries saisonnières.

Tendance = 75 m/10 ans, norme = 2357 m

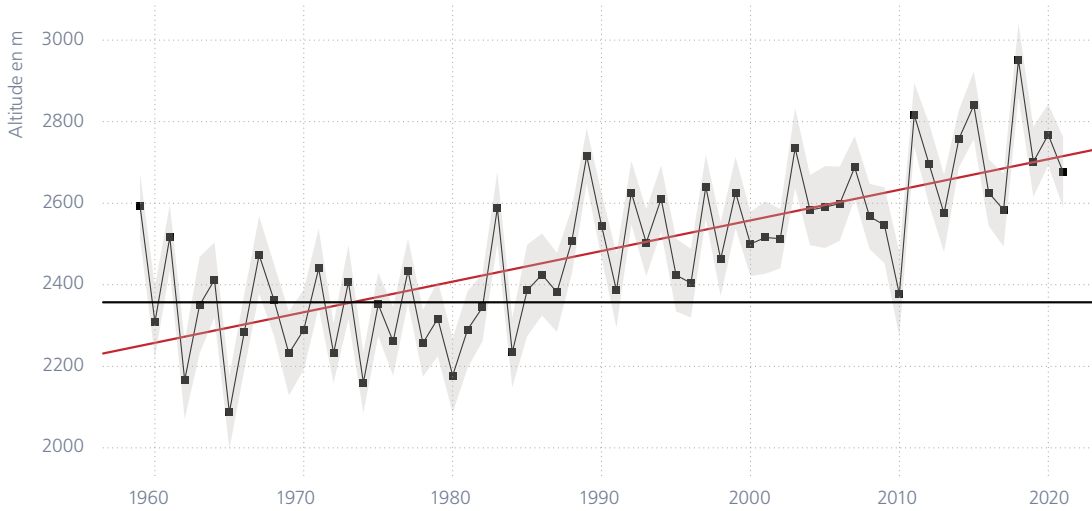
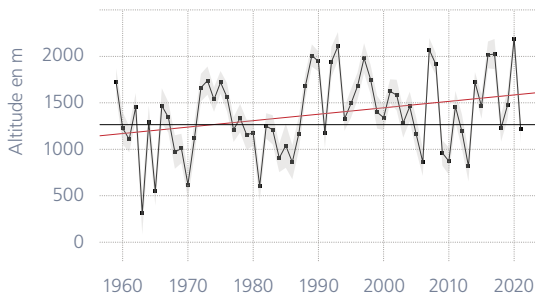


Figure 5.14

Série temporelle 1959–2021 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.

Hiver: tendance = 69 m/10 ans, norme = 1265 m



Printemps: tendance = 85 m/10 ans norme = 1881 m

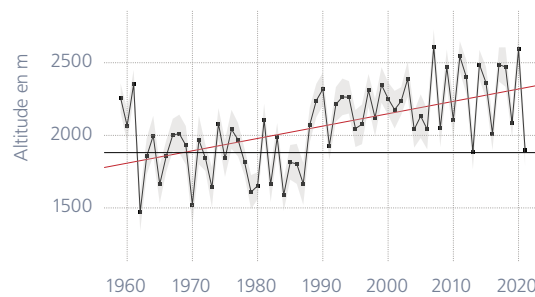
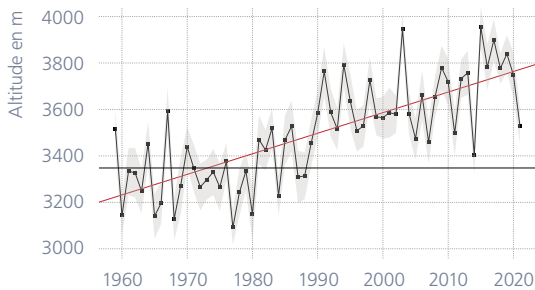


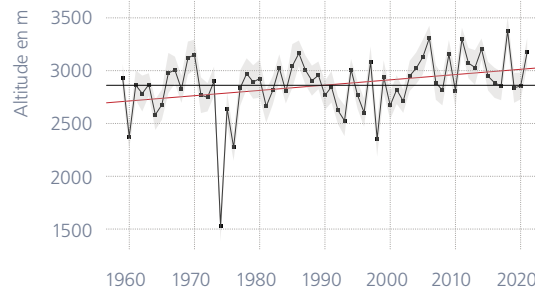
Figure 5.15

Valeurs médianes saisonnières de la limite du zéro degré sur la période de mesure 1959–2021. 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.

Été: tendance = 89 m/10 ans, norme = 3348 m



Automne: tendance = 50 m/10 ans, norme = 2862 m



Altitude de la tropopause

L'altitude de la tropopause est calculée conformément à la définition de l'OMM de la tropopause thermique (WMO, 1957) à partir de la température mesurée par radiosondage à Payerne. Les valeurs annuelles représentées en Figure 5.16 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 1959–2021 (régression linéaire tracée en rouge). La zone grise montre la variabilité intra-annuelle et correspond à l'incertitude des valeurs médianes annuelles. La valeur médiane de référence (ligne noir horizontale) est la médiane des valeurs annuelles sur la période 1961–1990.

En 2021, la tropopause a atteint une altitude médiane de 11'280 m, soit 100 m plus haut que la valeur médiane de référence à 11'180 m. L'augmentation linéaire de la hauteur de la tropopause depuis 1959 est statistiquement significative, malgré la forte variabilité interannuelle et les 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 de la série est de 11'720 m atteint en 2015. Au cours de la période 1959–2021, la hauteur de la tropopause a augmenté de 61 m tous les 10 ans. De manière générale cette tendance est en accord avec l'évolution de l'altitude du zéro degré (Figure 5.14).

Tableau 5.7
Minima et maxima
saisonniers de la hauteur
de la tropopause.

	Hiver DEC-FEV	Printemps MARS-MAI	Eté JUN-AOÛT	Automne SEP-NOV
Minimum (année)	9980 m (1963)	10'060 m (1984)	11'220 m (1977)	10'600 m (1974)
Maximum (année)	11'510 m (2016)	11'400 m (2017)	12'400 m (2003)	12'300 m (1970)

La hauteur de la tropopause a augmenté de manière significative spécialement pendant la période 1990–2021, une tendance qui se recoupe avec les tendances saisonnières de la limite du zéro degré montrées en Figure 5.15. Pendant l'hiver (janvier, février et décembre), le printemps (mars, avril, mai) et l'été (juin, juillet et août), les valeurs annuelles sur la période 1990–2021 dépassent souvent la valeur médiane de référence. Seul l'automne (septembre, octobre, novembre) ne montre pas une tendance statistiquement significative et reste plutôt autour de la valeur de référence. Le Tableau 5.7 montre les valeurs extrêmes des séries saisonnières.

Tendance = 61 m/10 ans, norme = 11'180 m

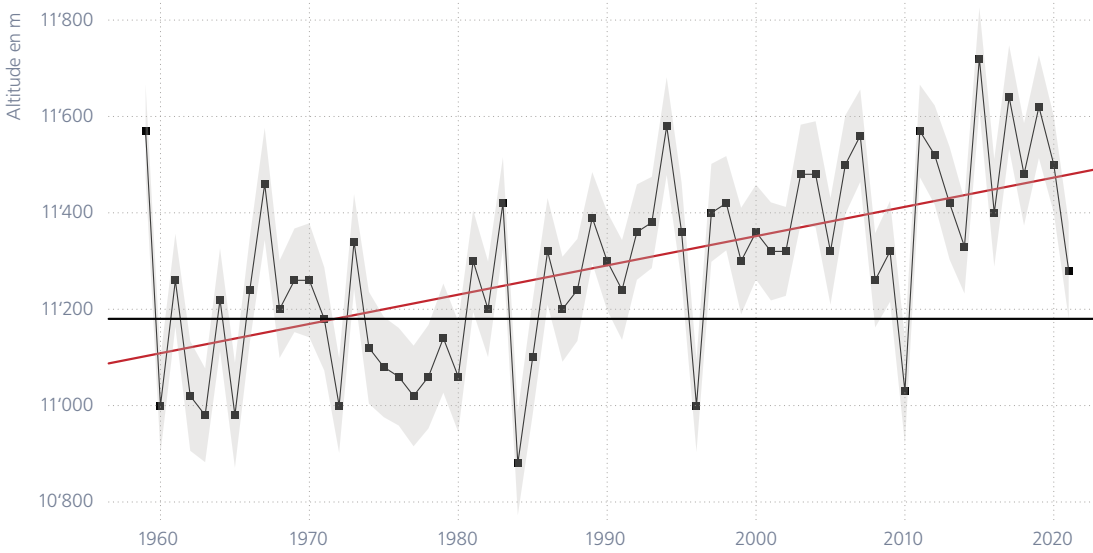
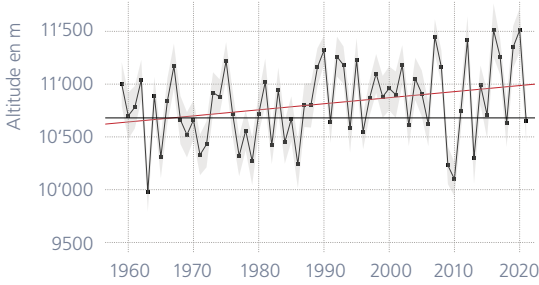


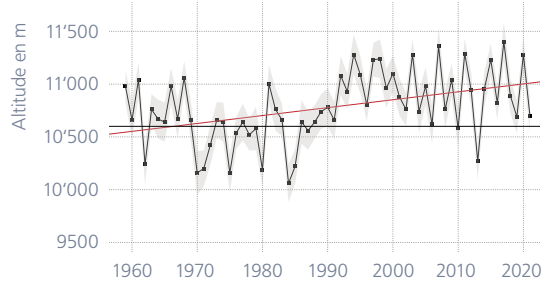
Figure 5.16

Altitude annuelle médiane de la tropopause 1959–2021 obtenue grâce aux lâchers quotidiens de ballons-sondes à la station aérologique de Payerte. 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.

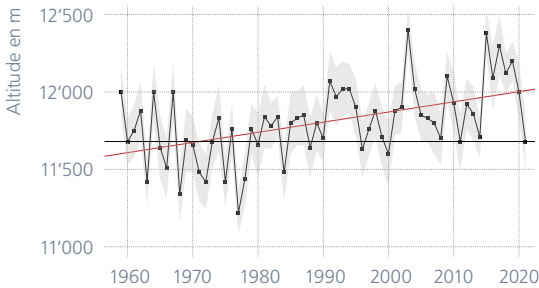
Hiver: tendance = 57 m/10 ans, norme = 10'680 m



Printemps: tendance = 75 m/10 ans, norme = 10'600 m



Été: tendance = 66 m/10 ans, norme = 11'680 m



Automne: tendance = 28 m/10 ans, norme = 11'760 m

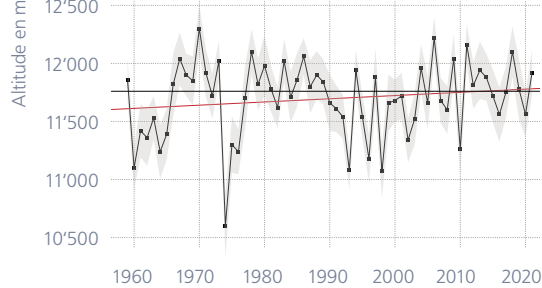


Figure 5.17

Valeurs médianes saisonnières de l'altitude de la tropopause sur la période de mesure 1959–2021. 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

En 1980, Isaksen et ses collègues, présentaient une étude qui montrait la corrélation entre 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 [33]. Quarante ans plus tard, nous connaissons le lien étroit qui existe entre réactions chimiques et climat, où les chlorofluorocarbures (CFC), le rayonnement ultraviolet, la présence de 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 5.18 montre les tendances de la 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 [34] à partir des années 1990, domine la tendance générale provoquant une augmentation de la température d'environ $0,4\text{ °C}$ 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 $-0,4\text{ °C}$ par décennie à 20 hPa.

Comme pour les tendances de la hauteur de la tropopause et du niveau du zéro degré, aussi les séries d'anomalies de température dans la troposphère et dans la stratosphère peuvent être divisées en deux parties qui révèlent deux tendances différentes. Dans la troposphère, entre 1959 et 1990, la température montre une tendance neutre, en revanche, la partie de la série 1990–2021 reflète la forte augmentation des concentrations des gaz à effet de serre qui a eu lieu ces trente dernières années.

Dans la stratosphère, deux tendances peuvent aussi être identifiées: 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. Cette double tendance dans la stratosphère a été observée par Philipona et ses collègues dans leur étude publiée en 2018 [35].

La figure 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 1959–2021. Les anomalies de température à tous les niveaux pendant l'année 2021 s'alignent bien avec les tendances linéaires calculées sur l'ensemble de la série temporelle.

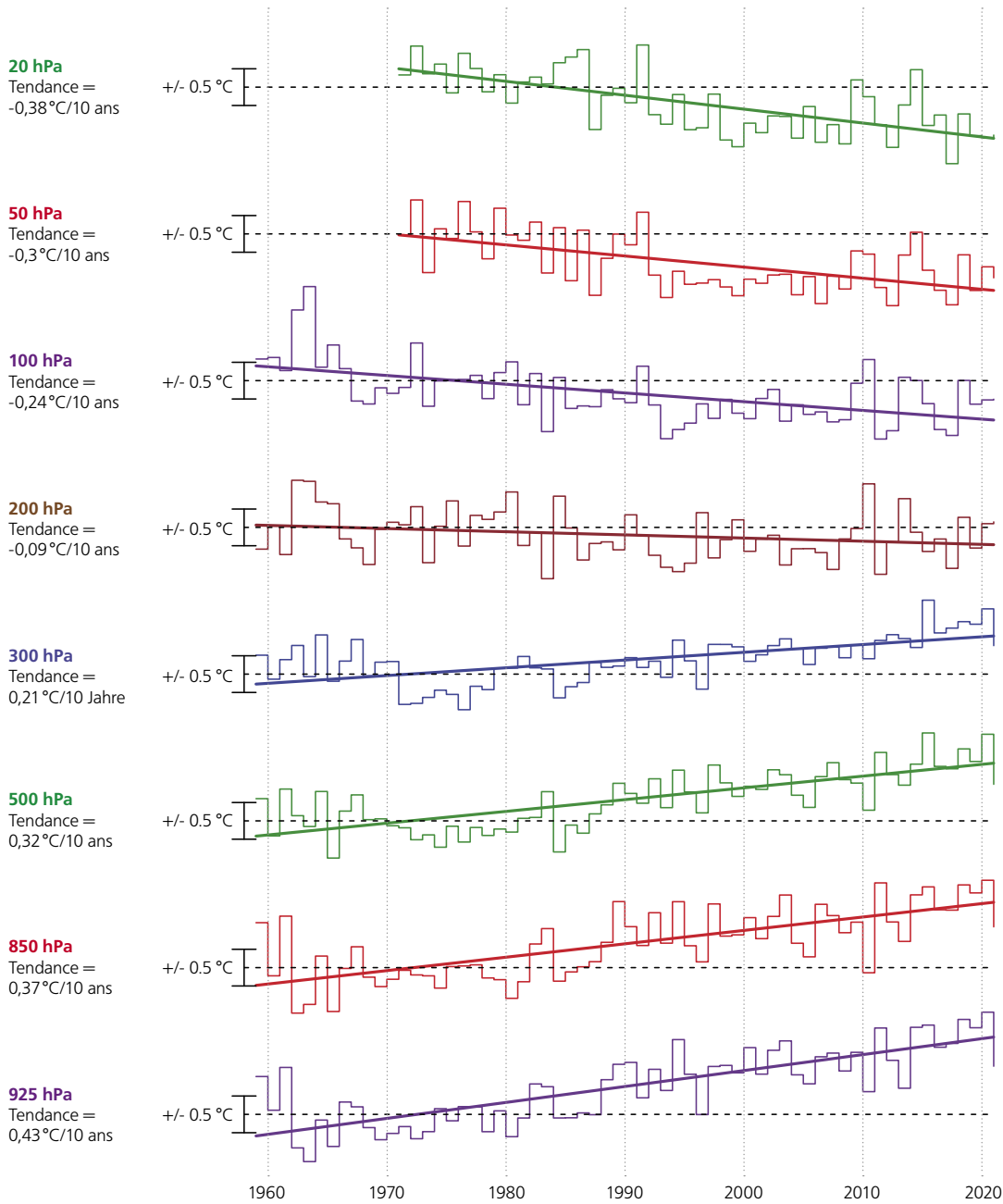


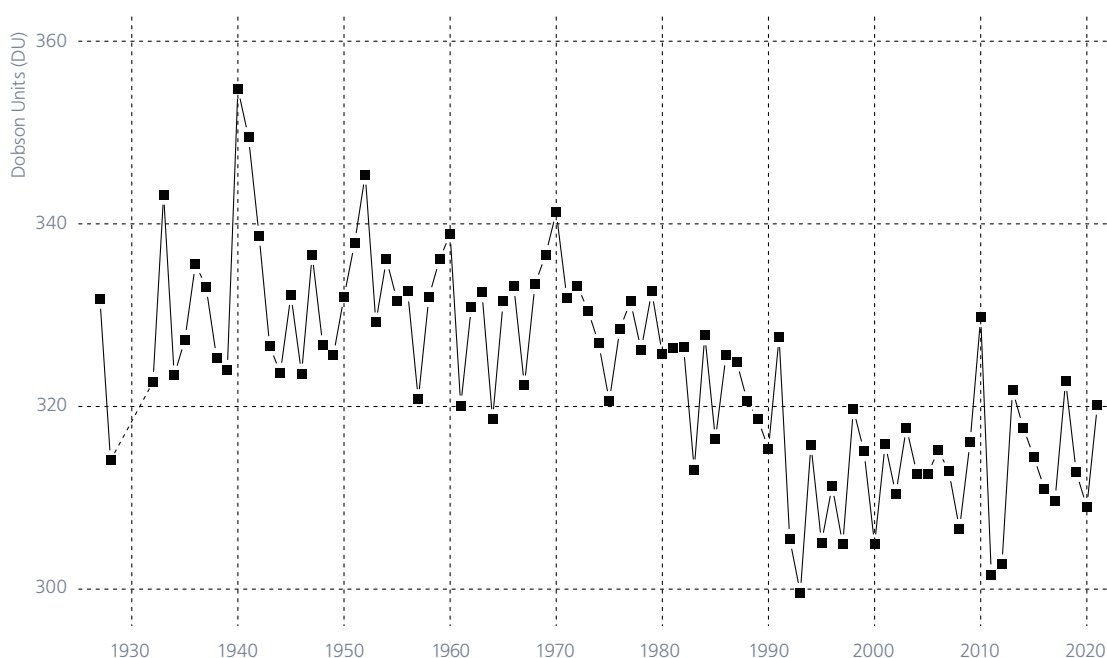
Figure 5.18
Tendances des anomalies de température mesurée par radiosondage à différents niveaux atmosphériques dans l'atmosphère au-dessus de Payenne pendant la période 1959–2021. Les anomalies sont calculées par rapport à la médiane de la période climatologique de référence 1961–1990 sur quatre niveaux 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 [25], 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 2021 est la quatrième depuis 2010 qui présente une valeur supérieure 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 et Davos.

Figure 5.19
Moyennes annuelle de la
colonne d'ozone à Arosa au
cours de la période 1926–2021.
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'EPF de 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 souligne les trois droites horizontales, depuis le début des années 2000 l'ozone n'a plus changé de manière significative. Pour les années avant 2000, une diminution de l'ozone était observée dans la stratosphère (illustré 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).

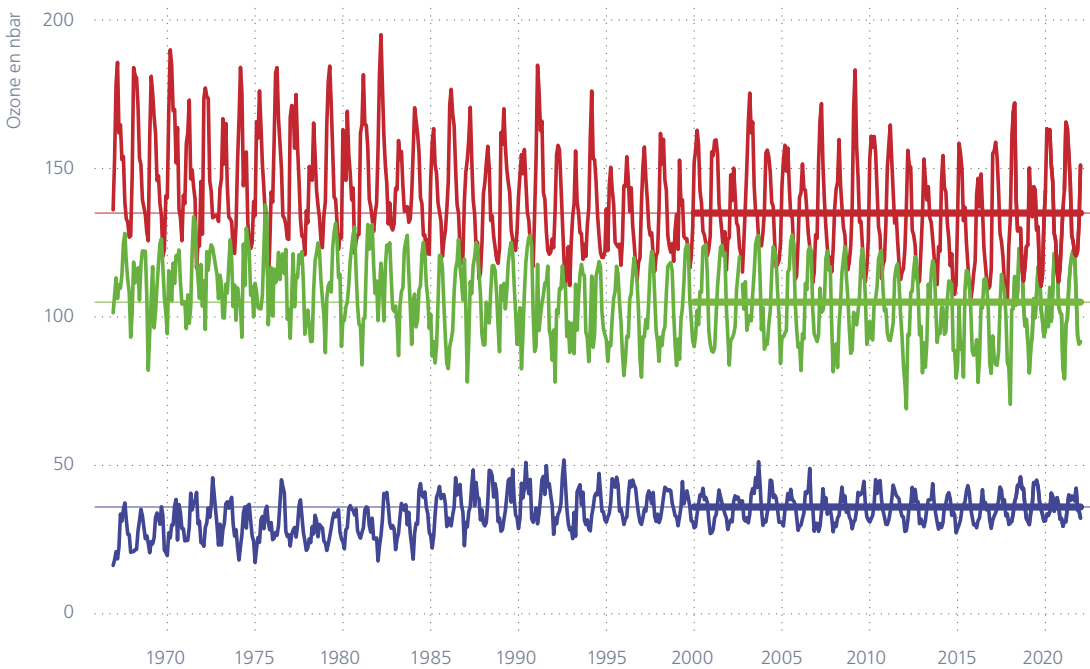


Abbildung 5.20

Concentration mensuelle d'ozone à trois altitudes durant la période 1967–2021.

Bleu: 3 km

Rouge: 22 km

Vert: 27 km

La concentration d'ozone est donnée en pression partielle exprimée en nanobars (nbar).





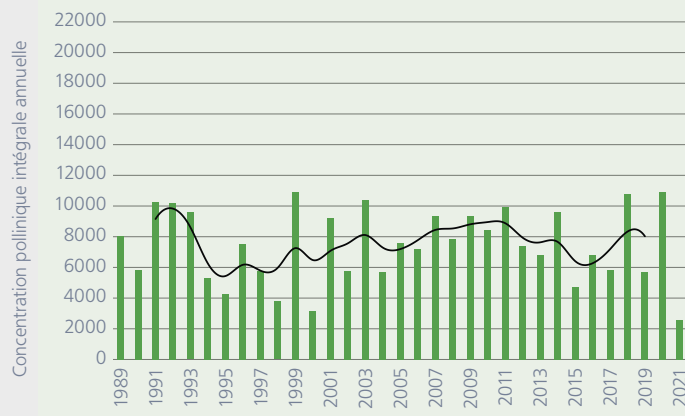
Intensités des pollens

L'intensité de la saison des pollens varie d'année en année et peut être tantôt très forte, tantôt très faible. Cela a une incidence sur la gravité des symptômes du rhume des foins chez les personnes allergiques aux pollens.

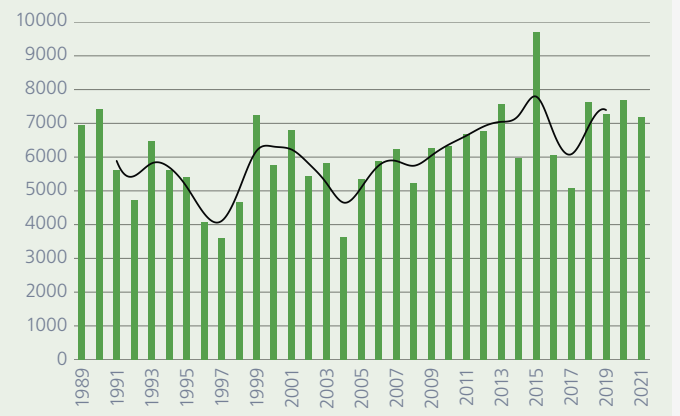
Dans le cas du bouleau, l'intensité de la saison des pollens dépend, d'une part, de la météo de l'année précédente, étant donné que les chatons de fleurs se forment dès l'été de l'année précédente. Un temps chaud se traduit par un plus grand nombre de chatons. Par ailleurs, l'intensité dépend aussi du temps qu'il fait pendant la floraison ainsi que la physiologie du végétal, car les bouleaux ont tendance à fleurir tous les deux ans. Dans le cas des pollens de graminées, l'intensité de la saison dépend essentiellement de la météo durant la floraison des graminées.

La saison pollinique du bouleau 2021, moyennée sur plusieurs stations, a été la plus faible depuis 1989 en Suisse alémanique et la deuxième plus faible en Suisse romande. Au Tessin, les concentrations de pollen de bouleau ont également été faibles, suivant ainsi toujours le rythme bisannuel. 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.

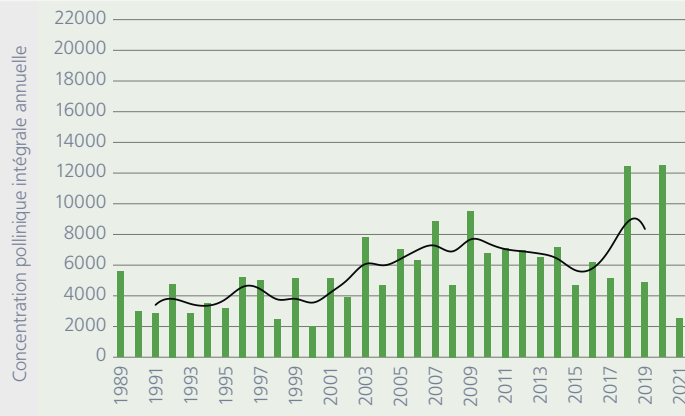
Bouleau Suisse centrale et Suisse orientale



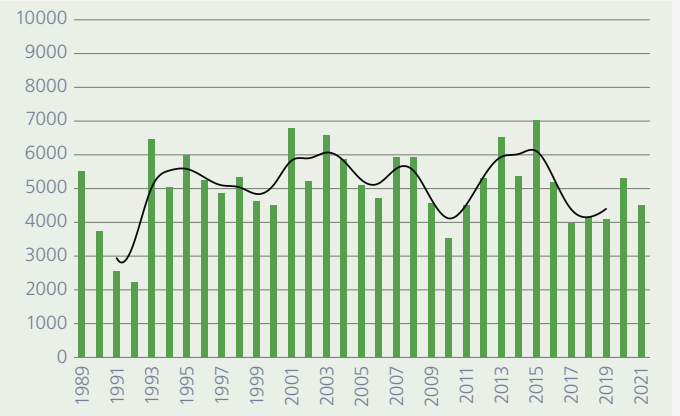
Graminées Suisse centrale et Suisse orientale



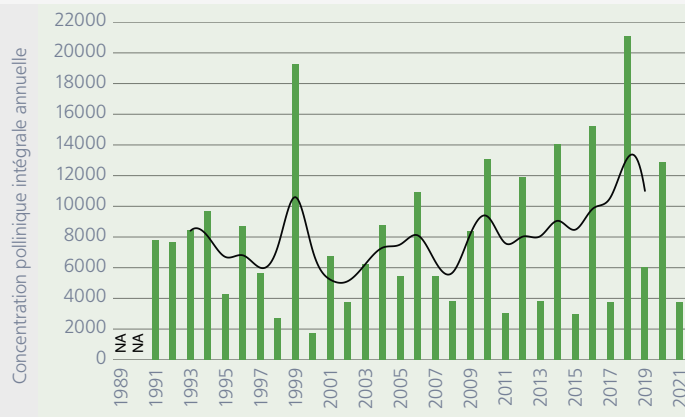
Bouleau Suisse romande



Graminées Suisse romande



Bouleau Tessin



Graminées Tessin

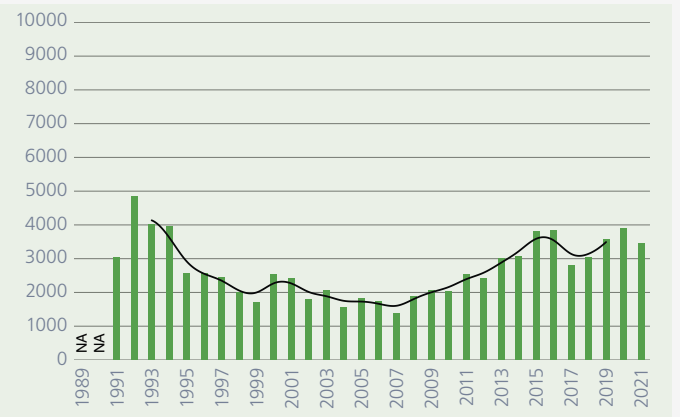


Figure 5.21

Intensité de la dispersion des pollens de bouleau (à gauche) et de graminées (à droite) dans les régions au Nord des Alpes entre 1989–2021 et au Tessin entre 1991–2021. L'indice pollinique saisonnier est la somme des concentrations quotidiennes de pollen. La courbe noire indique la moyenne pondérée sur 5 ans.

5.2 Terres émergées

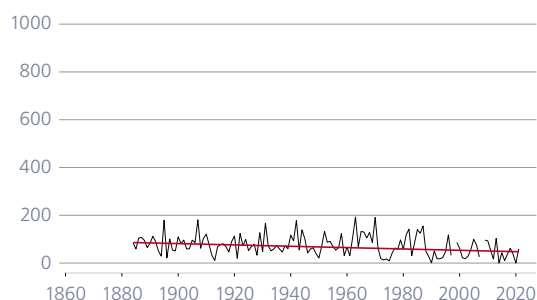
Sommes de neige fraîche

Les mois de décembre 2020 et janvier 2021, riches en précipitations et, dans certaines régions, en neige, ont souvent donné lieu à des précipitations hivernales supérieures à la moyenne. D'importantes chutes de neige fraîche ont été enregistrées dans les Alpes, en particulier au Sud des Alpes. La plupart des stations de mesures présentées ici ont également enregistré des quantités de neige fraîche supérieures à la moyenne. Sur le site de mesures d'Arosa, on a enregistré au total 7,90 m de neige fraîche (norme: 6,31 m). Au site de mesures de Segl-Maria, la somme de neige fraîche a atteint 4,20 m au cours du semestre hivernal d'octobre à mars (norme: 3,12 m). A Einsiedeln, on a mesuré 2,62 m (norme: 3,41 m). A Lucerne, elle a été de 59 cm (norme: 83 cm).

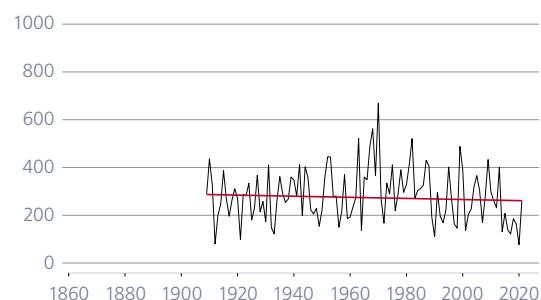
En ce qui concerne les sommes de neige fraîche tombées au cours du semestre d'hiver, aucune tendance significative ne peut être relevée aux stations de mesures de Segl-Maria, Arosa et Einsiedeln. A Lucerne, on observe une diminution significative de 2,8 cm/10 ans. Il est toutefois à noter que les enregistrements journaliers et mensuels des quantités de neige ne sont pas disponibles sous la forme de données homogénéisées. Si l'on ne considère que les 5–6 dernières décennies, on constate une diminution générale. Pour l'ensemble de la région alpine, on constate un net recul de la hauteur de neige entre 1971 et 2019 [37]. Cette tendance est surtout significative dans les stations où l'on passe de l'enneigement à l'absence de neige.

Figure 5.22
Sommes de neige fraîche en cm durant le semestre d'hiver depuis le début des mesures jusqu'en 2021 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.

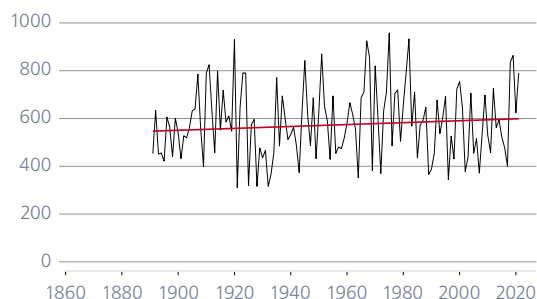
Lucerne 454 m



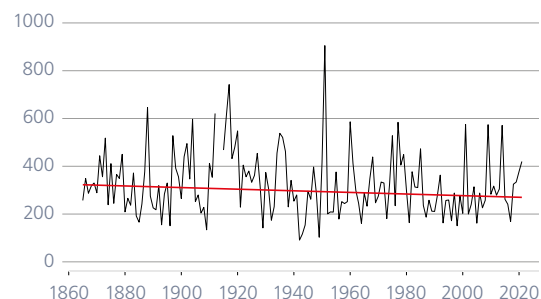
Einsiedeln 910 m



Arosa 1840 m



Segl-Maria 1798 m



Journées de neige fraîche

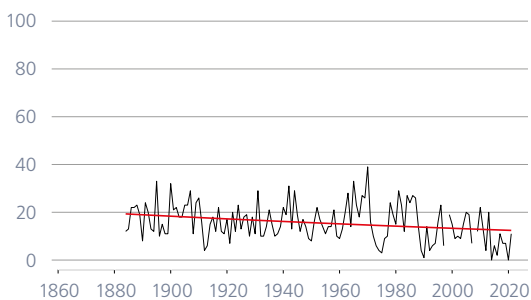
Le nombre de jours avec de la neige fraîche au cours de l'hiver 2020/21 s'est située autour de la norme pour tous les sites de mesures mentionnés ici. Au cours du semestre hivernal d'octobre à mars, le site de mesures d'Arosa a enregistré 69 jours de neige fraîche (norme: 71 jours). A Segl-Maria en Haute-Engadine, on a enregistré 46 jours (norme: 42 jours). A Lucerne, il y a eu au total 11 jours de neige fraîche mesurables (norme: 18 jours). Einsiedeln a enregistré 34 jours de neige fraîche, soit nettement moins que la norme (46 jours).

La série de mesures d'Arosa indique une tendance significative à l'augmentation du nombre de jours de neige fraîche. Ce nombre est d'environ +1,6 jour par décennie. En revanche,

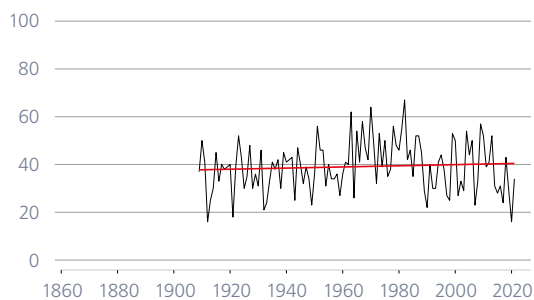
Lucerne montre une tendance plus faible mais significative à la diminution du nombre de jours de neige fraîche avec -0,5 jour par décennie. Aucune tendance significative ne se dégage pour les deux stations de mesures d'Einsiedeln et Segl-Maria. Ici aussi, il faut mentionner que les enregistrements journaliers et mensuels des quantités de neige 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 [8]. 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.

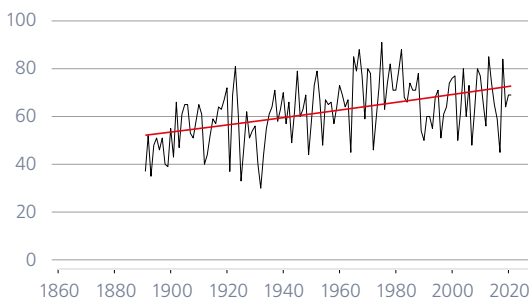
Lucerne 454 m



Einsiedeln 910 m



Arosa 1840 m



Segl-Maria 1798 m

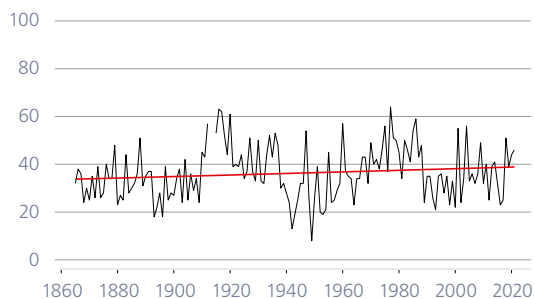


Figure 5.23

Nombre de jours de neige fraîche au semestre d'hiver depuis le début des mesures jusqu'en 2021 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.

Indice du printemps

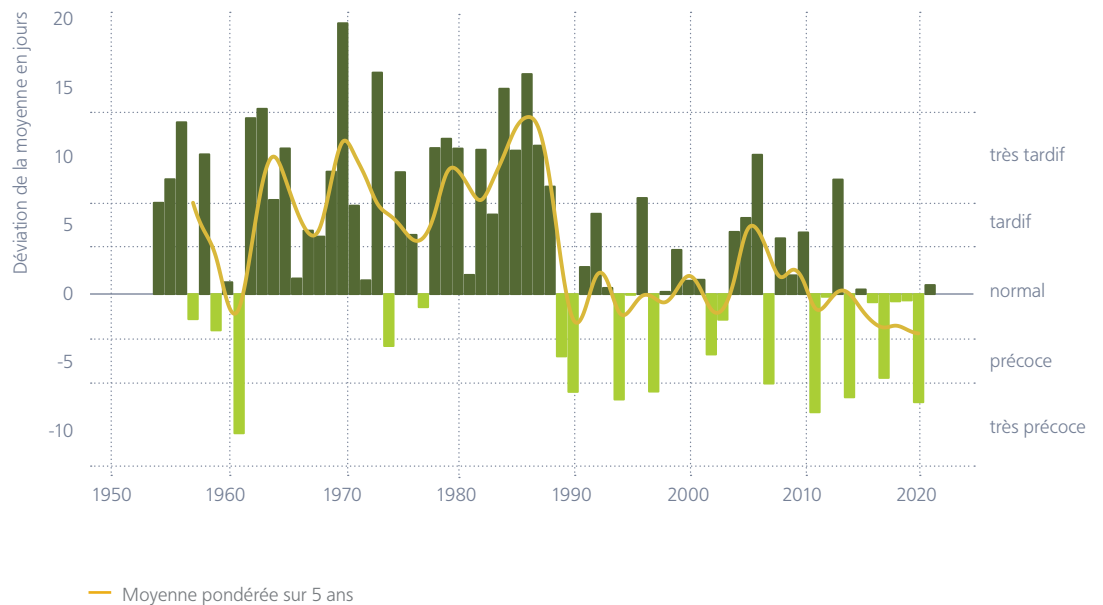
L'indice du printemps est une valeur permettant de caractériser le développement de la végétation au printemps en tant qu'écart en jours par rapport à la moyenne à long terme 1991–2020. L'indice annuel résume les phases phénologiques du printemps. Le développement de la végétation au printemps dépend principalement de l'évolution des températures hivernales et printanières [26].

En 2021, la végétation printanière s'est développée dans un cadre temporel normal. De février à mi-avril, la végétation a été en avance sur le calendrier moyen (moyenne 1991–2020), tandis qu'à partir de là, les températures basses ont fait en sorte que le déploiement des feuilles, notamment, a été retardé. Le noisetier, le tussilage et les anémones des bois ont fleuri de février à mars avec une avance de 4–6 jours. Pour

la floraison des arbres fruitiers et la floraison des pissenlits en avril, l'avance s'est réduite à 1–3 jours. A partir de la deuxième quinzaine d'avril, les feuilles des arbres à feuilles caduques ont commencé à pousser. Le déploiement des feuilles du hêtre a été retardé de 7 jours en raison des basses températures en avril et en mai.

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 5.24
Etat annuel du développement de la végétation en Suisse (indice du printemps) 1954–2021 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

La date de floraison des cerisiers dans les environs de la station de Liestal, à Liestal-Weideli, est notée depuis 1894. On observe depuis 1990 environ une tendance à une floraison plus précoce dans cette série. La date d'observation du 28 mars 2021 a été en avance de 6 jours par rapport à 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 15 jours avant la date moyenne. Il s'agit de la 15^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 2021, l'apparition de la première feuille du marronnier s'est produite le 12 mars. L'apparition de la feuille du marronnier dépend très fortement des températures. D'autres facteurs comme l'âge de l'arbre ou le climat urbain peuvent aussi jouer un rôle. La raison de la manifestation plus tardive observée depuis quelques années n'est pas encore connue.

Cerisiers

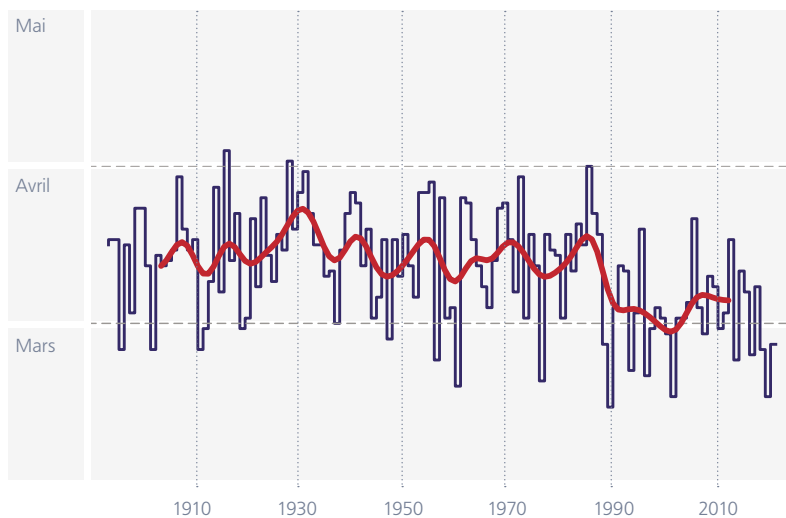
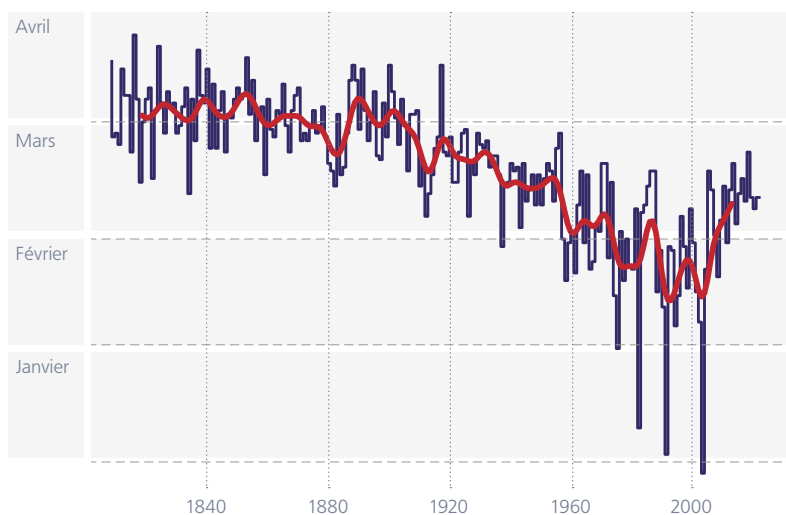


Figure 5.25

Ci-dessus : floraison des cerisiers près de Liestal durant la période 1894–2021 (source: Landw. Zentrum Ebenrain, Sissach et MétéoSuisse).

Ci-dessous : apparition de la première feuille du marronnier à Genève au cours de la période 1808–2021 (source: Grand Conseil de la République et canton de Genève).

Marronnier







5.3 Origine des données et méthodes

Indicateurs climatiques selon l'OMM

Les indicateurs climatiques selon l'OMM sont calculés selon les règles et avec le logiciel officiel de l'«Expert Team on Climate Change Detection and Indices» (ETCCDI) de l'OMM [15]. 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 [2]) sont combinées en fonction de leur représentativité.

meteosuisse.admin.ch/home/climat/le-climat-suisse-en-detail/temperature-moyenne-suisse.html

Pour les analyses des tendances, il est toujours indiqué à quel point la tendance est nette. On utilise pour ce faire les niveaux «fortement significatif» et «significatif». «Fortement significatif» indique que l'on peut dire avec une très grande certitude qu'on se trouve en présence d'une tendance (valeur $p \leq 0,01$; la marge d'erreur est de 1 % ou moins). «Significatif» indique que l'on peut dire avec une grande certitude qu'on se trouve en présence d'une tendance (valeur $p > 0,01$ et $\leq 0,05$; la marge d'erreur se situe entre 1 % et 5 %). «Non significatif» indique qu'il n'y a pas de tendance certaine par rapport au seuil de signification choisi (valeur $p = 0,05$).

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 [27] du réseau suisse de mesures climatiques (Swiss National Basic Climatological Network; Swiss NBCN [2]).

Pour les analyses des tendances, il est toujours indiqué à quel point la tendance est nette. On utilise pour ce faire les niveaux «fortement significatif» et «significatif». «Fortement significatif» indique que l'on peut dire avec une très grande certitude qu'on se trouve en présence d'une tendance (valeur $p \leq 0,01$; la marge d'erreur est de 1 % ou moins). «Significatif» indique que l'on peut dire avec une grande certitude qu'on se trouve en présence d'une tendance (valeur $p > 0,01$ et $\leq 0,05$; la marge d'erreur se situe entre 1 % et 5 %). «Non significatif» indique qu'il n'y a pas de tendance certaine par rapport au seuil de signification choisi (valeur $p = 0,05$).

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

meteosuisse.admin.ch/home/climat/le-climat-suisse-en-detail/analyses-des-valeurs-extremes.html

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 1961–1990. Les graphiques montrent la quantité annuelle totale de précipitations tombant les journées très humides.

Indice de sécheresse

Les indices SPI (standardized precipitation index [29]) et SPEI (standardized precipitation evapotranspiration index [30]) 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 1–48 mois) et se calcule à partir des sommes mensuelles de précipitations. Les précipitations cumulées des derniers (1–48) 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 m. 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 [31]. 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 20 ans 1997–2016. La raison en est que les différentes stations ont un début de mesures très différent, de 1969 à Bâle à 1997 à Lausanne.

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 mesures polliniques utilisées pour le graphique de l'intensité du pollen: Suisse centrale et orientale: Bâle, Buchs, Lucerne, Münsterlingen et Zurich. Suisse occidentale: Berne, Genève et Neuchâtel. Tessin: Locarno et 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 [26].



Références

- [1] Bader S., Burgstall A., Casanueva A., Duguay-Tetzlaff A., Gehrig R., Gubler S., Kotlarski S., Scherrer S., Spirig C., 2018: Hitze und Trockenheit im Sommerhalbjahr 2018 – eine klimatologische Übersicht. Fachbericht MeteoSchweiz, 272, 38 pp.
- [2] 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.
- [3] 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 [T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P. M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- [4] Collaud Coen M., Andrews E., Alastuey A., Arsov T. P., Backman J., Brem B. T., Bukowiecki N., Couret C., Eleftheriadis K., Flentje H., Fiebig M., Gysel-Beer M., Hand J. L., Hoffer A., Hooda R., Hueglin C., Joubert W., Keywood M., Kim J. E., Kim S.-W., Labuschagne C., Lin N.-H., Lin Y., Lund Myhre C., Luoma K., Lyamani H., Marinoni A., Mayol-Bracero O. L., Mihailopoulos 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* (in review, 2020):
doi.org/10.5194/acp-2019-1174
- [5] Collaud Coen M., Weingartner E., Furger M., Nyeki S., Prévôt A. S. H., Steinbacher M. and Baltensperger U., 2011: Aerosol climatology and planetary boundary influence at the Jungfraujoch analyzed by synoptic weather types. *Atmos. Chem. Phys.*, 11, 5931-5944, doi: 10.5194/acp-11-5931-2011.
- [6] MeteoSchweiz, 2018: Der Wintersturm Burglind/Eleanor in der Schweiz, Fachbericht MeteoSchweiz, 268, 35 pp.
- [7] MeteoSchweiz: 2018, Hitze und Trockenheit im Sommerhalbjahr 2018 – eine klimatologische Übersicht. Fachbericht MeteoSchweiz, 272, 38 pp.
- [8] NCCS (Hrsg.), 2018: CH2018 – Klimaszenarien für die Schweiz. National Centre for Climate Services, Zürich. 24 S. ISBN-Nummer 978-3-9525031-0-2:
scenarios-climatiques.ch
- [9] WMO 2018: WMO Statement on the status of the global climate in 2018:
public.wmo.int/en/our-mandate/climate/wmo-statement-state-of-global-climate
- [10] NOAA National Centers for Environmental Information, State of the Climate: Global Climate Report for Annual 2021, published online January 2022, retrieved on January 29, 2022 from:
ncdc.noaa.gov/sotc/global/202113
- [11] C. P. Morice, J. J. Kennedy, N. A. Rayner, J. P. Winn, E. Hogan, R. E. Killick, R. J. H. Dunn, T. J. Osborn, P. D. Jones and I. R. Simpson (in press). An updated assessment of near-surface temperature change from 1850: the HadCRUT5 dataset. *Journal of Geophysical Research (Atmospheres)* doi:10.1029/2019JD032361:
metoffice.gov.uk/hadobs/hadcrut5/data/current/download.html
- [12] MEI-Daten unter:
esrl.noaa.gov/psd/enso/mei
- [13] Seiz G., Foppa N., 2007: Nationales Klima-Beobachtungssystem (GCOS Schweiz). Publikation von MeteoSchweiz und ProClim, 92 S.:
meteoschweiz.admin.ch/home/suche.subpage.html/de/data/publications/2007/10/nationales-klima-beobachtungssystem.html

- [14] WMO, 2003: GCOS-82. Second Report on the Adequacy of the Global Observing Systems for Climate in Support of the UNFCCC. WMO TD 1143.
- [15] 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:
library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=138
- [16] World Meteorological Organization (WMO), WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals. WMO- No. 1203:
library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=20130
- [17] 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.
- [18] Scherrer S. C., Appenzeller C., Laternser M., 2004: Trends in Swiss Alpine snow days: The role of local- and large-scale climate variability. *Geophys. Res. Lett.*, 31, L13215, doi: 1029/2004GL020255.
- [19] Laternser M., Schneebeli M., 2003: Long-term snow climate trends of the Swiss Alps (1931–99). *International Journal of Climatology* 23: 733–750.
- [20] Marty C., 2008: Regime shift of snowdays in Switzerland, *Geophys. Res. Lett.* 35, L12501, doi: 10.1029/2008GL033998.
- [21] Wüthrich C., 2008: Lange Schneemessreihen der Schweiz, Aufarbeitung der längsten Schneemessreihen und Trendanalyse ausgewählter Schneeparameter, Geographisches Institut der Universität Bern, Diplomarbeit.
- [22] 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.
- [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:
occc.ch/reports_d.html
- [25] Favaro G., Jeannot P., Stübi R., 2002: Re-evaluation and trend analysis of the Payerne ozone soundings. Veröffentlichungen der MeteoSchweiz Nr. 63. MeteoSchweiz, Zürich.
- [26] 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.
- [27] 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.
- [28] 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.
- [29] 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.
- [30] 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.

- [31] 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).
- [32] Scott C. Sheridan, Cameron C. Lee. Temporal Trends in Absolute and Relative Extreme Temperature Events Across North America. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2018; doi: 10.1029/2018JD029150.
- [33] 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.
- [34] 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: doi.org/10.5194/amt-11-5199-2018, 2018
- [35] 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.
- [36] Scherrer S. C., Hirschi M., Spirig C., Maurer F., Kotlarski S.: Trends and drivers of recent summer drying in Switzerland. *Environ. Res. Commun.*: doi.org/10.1088/2515-7620/ac4fb9
- [37] M. Matiu, A. Crespi, G. Bertoldi, C. M. Carmagnola, C. Marty, S. Morin, W. Schöner, D. Cat Berro, G. Chiogna, L. De Gregorio, S. Kotlarski, B. Majone, G. Resch, S. Terzago, M. Valt, W. Beozzo, P. Cianfarra, I. Gouttevin, G. Marcolini, C. Notarnicola, M. Petitta, S. C. Scherrer, U. Strasser, M. Winkler, M. Zebisch, A. Cicogna, R. Cremonini, A. Debernardi, M. Faletto, M. Gaddo, L. Giovannini, L. Mercalli, J.-M. Soubeyroux, A. Susnik, A. Trenti, S. Urbani, V. Weilguni: Observed snow depth trends in the European Alps: 1971 to 2019. *The Cryosphere*, 15, 1343–1382, 2021: tc.copernicus.org/articles/15/1343/2021
- [38] Scherrer S.C., Hirschi M., Spirig C., Maurer F. and Kotlarski S., 2022: Trends and drivers of recent summer drying in Switzerland, *Environ. Res. Commun.*, 4, 025004: doi.org/10.1088/2515-7620/ac4fb9



printed in
switzerland

 PRINTED MATTER
CO₂ NEUTRAL
by Swiss Climate
SC2021070701

Addresses

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

Contact

serviceclient@meteosuisse.ch