Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

MétéoSuisse

Rapport climatologique 2018

Rapport climatologique 2018

Editeur

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

serviceclient@meteosuisse.ch
www.meteosuisse.ch

Rédaction

Dr. Elias Zubler, Dr. Stephan Bader, Thomas Schlegel

Auteurs

Dr. Stephan Bader, Dr. Martine Collaud Coen, Dr. Anke Duguay-Tetzlaff, PD Dr. Christoph Frei, Dr. Sophie Fukutome, Dr. Regula Gehrig, Dr. Eliane Maillard Barras, Dr. Giovans Martucci, Gonzague Romanens, Dr. Simon Scherrer, Thomas Schlegel, Dr. Christoph Spirig, Dr. René Stübi, Dr. Laurent Vuilleumier, Dr. Elias Zubler

Distribution

OFCL, Vente des publications fédérales, CH-3303 Berne
www.publicationsfederales.admin.ch

Numéro d'article: 313.001.f 07.19 40 860442843
ISSN: 2296-1496

Merci de bien vouloir citer le présent rapport comme suit:
MétéoSuisse, 2019: Rapport climatologique 2018.
Office fédéral de météorologie et de climatologie.
MétéoSuisse, Zurich. 94 p.

© MétéoSuisse 2019

Table des matières

Table des matières **3**
Résumé **4**
Summary **6**
1 Evolution du climat au cours de l'année 2018 **9**
2 Diagrammes représentant l'évolution annuelle **18**
Température, précipitations et durée d'ensoleillement 18
Evolution annuelle du rayonnement global 20
Limite du zéro degré en atmosphère libre 22
Altitude de la tropopause 23
Fortes précipitations exceptionnelles 24
Cycle annuel du rayonnement UV erythémal 25
Série de mesures de l'ozone à Arosa 26
Mesures de l'ozone à Payerne 28
Mesures des aérosols au Jungfraujoch 30
Développement de la végétation 31
Printemps 31
Eté 33
Automne 33
Saison pollinique 34
3 Particularités de l'année **40**
3.1 Année 2018 avec une chaleur record 40
3.2 Tempête hivernale Burglind/Eléanor 42
3.3 Eté caniculaire 44
3.4 Manque extrême de précipitations au cours du semestre d'été 47
4 Climat global et événements météorologiques **52**
4.1 Plus chaud que la normale dans de nombreuses régions 52
4.2 El Niño et La Niña 54
4.3 Evénements particuliers 55
4.4 Glaces marines arctiques et antarctiques 55
5 Surveillance du climat **58**
5.1 Atmosphère 60
5.1.1 Mesures au sol 60
Température 60
Jours de gel 63
Journées d'été 64
Limite du zéro degré 65
Précipitations 66
Jours de fortes précipitations 72
Précipitations des journées très humides 73
Périodes de sécheresse 74
Indice de sécheresse 75
5.1.2 Atmosphère libre 76
Limite du zéro degré 76
Altitude de la tropopause 77
5.1.3 Composition de l'atmosphère 78
Série de mesures de l'ozone à Arosa 78
Mesures de l'ozone à Payerne 79
Intensités des pollens 80
5.2 Terres émergées 82
Sommes de neige fraîche et journées de neige fraîche 82
Journées de neige fraîche 83
Indice du printemps 84
Floraison des cerisiers près de Liestal et apparition de la première feuille du marronnier à Genève 85
5.3 Origine des données et méthodes 88
Références **92**

Résumé

Avec un écart de 1,5 °C par rapport à la norme 1981–2010, 2018 est l'année la plus chaude en Suisse depuis le début des mesures en 1864. Après un mois de janvier avec une douceur record à basse altitude, février a été très froid, surtout dans le seconde quinzaine, et mars frais. Le mois de janvier, avec ses fortes précipitations et des sommes mensuelles record dans 95 stations de mesures, n'a connu beaucoup de neige qu'en montagne. Le danger d'avalanches a été particulièrement élevé en janvier dans une grande partie des Alpes. Le 3 janvier, une tempête hivernale, nommée Burglind (ou Eléanor), a frappé la Suisse et a causé d'importants dégâts localement.

L'hiver, normalement tempéré dans l'ensemble, a été suivi par le quatrième printemps le plus chaud depuis le début des mesures en 1864. Les mois de mars, avril et mai ont été en moyenne 1,6 °C au-dessus de la norme 1981–2010. Avril 2018 a été le deuxième mois d'avril le plus chaud depuis le début des mesures en 1864. En moyenne nationale, avril a dépassé la norme de 3,9 °C. Avec un dépassement de la norme de 2,0 °C, l'été 2018 a été le troisième quasiment à la suite avec une température largement excédentaire. De part et d'autre des Alpes, une longue période a été marquée par des températures maximales journalières supérieures à 30 °C. Cet été chaud a été suivi par le troisième automne le plus chaud depuis le début des mesures en 1864. En moyenne nationale, la température automnale a dépassé la norme 1981–2010 de 1,8 °C. A Lugano et Locarno-Monti, où l'automne a même établi un nouveau record, la température automnale a dépassé la normale de 2,2 °C.

Du printemps à l'automne, le temps a toujours été plus ensoleillé et plus sec que la normale. En Suisse orientale en particulier, un manque persistant de pluie s'est accumulé à partir du mois d'avril et s'est finalement transformé en un événement centenaire. Au cours des huit mois d'avril à novembre, l'équivalent de 59 % de la norme 1981–2010 est tombé. Il a manqué l'équivalent de plus de trois mois de pluie en été. En moyenne sur l'ensemble de la Suisse, l'absence de précipitations d'avril à novembre 2018 s'est située au 3ème rang avec 69 % de la norme 1981–2010. Seules les années 1962 avec 60 % de la norme et 1921 avec 68 % de la norme avaient été encore plus sèches.

Fin octobre, 200 à 300 mm de précipitations ont été mesurées en quelques jours au Sud des Alpes et sur le sud-est de la Suisse. Arosa a enregistré un nouveau record pour octobre avec 72 cm de neige fraîche en 24 heures. Au Nord des Alpes, les mois d'octobre et de novembre sont restés largement secs. Ce n'est qu'en décembre que le Nord des Alpes a à nouveau reçu des précipitations excédentaires.

À l'échelle mondiale, 2018 a été la quatrième année la plus chaude depuis le début des mesures en 1850 avec un dépassement de la norme 1981–2010 de 0,3 °C (0,6 °C de plus que la norme 1961–1990). Les années 2014 à 2018 sont les cinq les plus chaudes de l'histoire. Une température moyenne annuelle élevée a été enregistrée sur presque tous les continents en 2018. Il a fait extrêmement chaud, avec un excès d'environ 2 °C par rapport à la moyenne sur la période 1981–2010, en Europe centrale, dans les pays au sud de la mer Noire, en Alaska et en Sibérie. Comme en 2017, il n'y a pas eu d'événement El Niño majeur en 2018.

Dans l'évolution des températures à long terme en Suisse sur la période 1864–2018, l'année 2018, qui a été la plus chaude en Suisse, fournit une contribution supplémentaire à l'augmentation des températures en Suisse. Conformément à l'augmentation générale des températures en Suisse, le nombre de journées estivales au cours de la période considérée a nettement augmenté depuis 1959, tandis que le nombre de jours de gel a nettement diminué. De même, une augmentation de la limite zéro degré a été observée au cours de la même période, en particulier en hiver, au printemps et en été. Le réchauffement général s'exprime également dans un développement plus précoce de la végétation.

L'évolution à long terme des précipitations entre 1864 et 2018 montre, pour le Plateau, une tendance significative à la hausse des sommes de précipitations pour l'année et en hiver. Pour les autres saisons, aucun changement à long terme n'apparaît 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. Le nombre de jours avec de fortes précipitations n'a pas évolué dans les sites de mesures étudiés depuis 1959. De même, les précipitations des journées très humides n'ont pas changé. La durée des périodes sèches les plus prononcées ne montre aucune évolution significative pour les sites de mesures examinés.

Les relevés plus que centenaires de la neige montrent régionalement une légère diminution des sommes de neige fraîche, alors qu'il n'y a aucun changement pour d'autres régions plus étendues. Pour le nombre de jours avec de la neige fraîche, certaines régions montrent une légère augmentation, tandis que certaines autres régions montrent une légère diminution. Mais d'autres régions ne montrent aucun changement. Cependant, ces analyses ne sont pas basées sur des données homogénéisées.

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

With a deviation of 1.5 °C from the 1981–2010 normal period, 2018 is the warmest year in Switzerland since measurements began in 1864. After a January with record warm temperatures at lower altitudes, the second half of February was very cold, and March was cool. January brought high precipitation levels and record monthly sums at 95 measuring locations. However, it only fell as snow in the mountains. The danger of avalanches was particularly high in January in large parts of the Alps. On 3 January, Inverno storm Burglind hit Switzerland and caused major local damage.

The Inverno, which was nearly average in terms of temperature, was followed by the fourth warmest spring since measurements began in 1864. The months of March, April and May were on average 1.6 °C above the 1981–2010 normal period. April 2018 was the second warmest April since the beginning of measurements in 1864. The national average for April was 3.9 °C above the norm. Summer 2018 was the third year in a row with an above-average temperature with a deviation of 2.0 °C. On both sides of the Alps, there was a long period with daily maximums above 30 °C. The hot summer was followed by the third warmest autumn since the start of measurements in 1864. The national average temperature was 1.8 °C above the 1981–2010 normal period. In Lugano and Locarno-Monti, where autumn even set a new record, the seasonal temperature was 2.2 °C above the 1981–2010 normal period.

Spring to autumn were consistently sunnier and drier than the norm. Especially in eastern Switzerland, a persistent lack of rain built up from April onwards, which ultimately developed into a century-scale record event. In the eight months from April to November only 59 % of the normal precipitation amount occurred. The rain total of more than three normal summer months was missing. Averaged across Switzerland, the lack of rainfall from April to November 2018 was ranked third with 69 % of the 1981–2010 normal period.

At the end of October, 200 to 300 mm of precipitation fell within a few days on the southern side of the Alps and in southeastern Switzerland. The station at Arosa registered a new October record of 72 cm of fresh snow within 24 hours. On the north side of the Alps, October and November remained largely dry. It was not until December that the north side of the Alps again received above-average rainfall.

Worldwide, 2018 was the fourth warmest year since measurements began in 1850. It was 0.3 °C above the 1981–2010 norm (0.6 °C above the 1961–1990 norm). The years 2014 to 2018 form the quintet of the warmest years ever. A high annual average temperature was recorded on almost all continents in 2018. With a surplus of about 2 °C compared to the average of the period 1981–2010 it was extremely warm in Central Europe, in the countries south of the Black Sea, in Alaska and in Siberia. As in 2017, there was no major El Niño event in 2018.

In Switzerland's temperature development between 1864 and 2018, 2018 is the warmest year in the country and thus makes a further contribution to the observed long-term climate change in Switzerland. In line with the general increase in temperature in Switzerland, the number of summer days in the period under study has risen significantly since 1959, while the number of frost days has fallen substantially. In the same period an increase of the zero degree line can also be observed, especially in the seasons Inverno, spring and summer. The general warming also expresses itself in an earlier start of the vegetation period.

The long-term precipitation development 1864–2018 shows a significant trend towards higher precipitation sums in the Plateau for annual time-series and Inverno. The other seasons show no long-term change in precipitation sums. On the southern side of the Alps, there is no long-term change in precipitation, neither in the annual nor in the seasonal totals. The number of days with heavy precipitation has not changed since 1959 at the investigated measuring sites. Likewise, the precipitation of the very wet days has not changed. The length of the most intensive dry periods does not show a significant trend at any of the investigated measuring sites.

In the more than 100-year-old snow records, there was a slight regional decrease in the new snow sums, but no change on a larger scale. The days with new snow show a slight increase in some areas and a slight decrease in others. There are also areas that show no change. However, these analyses are based on non-homogeneous data.

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

1| Evolution du climat au cours de l'année 2018

Chaleur et manque persistant de pluie, c'est ainsi que l'année 2018 s'est présentée en Suisse. Dix des douze températures mensuelles ont été nettement au-dessus de la norme, dont 6 se sont situées dans une zone extrême. La chaleur continue n'a pas seulement conduit à un nouveau record annuel. Ainsi, le semestre d'été a également été le plus chaud depuis le début des mesures en 1864. Cette chaleur record s'est accompagnée par une pluviométrie particulièrement faible sur plusieurs mois. En Suisse orientale, le déficit pluviométrique massif est devenu un événement séculaire.

Température annuelle record

Avec une température annuelle moyenne nationale de 6,9 °C, celle-ci a atteint sa valeur la plus élevée depuis le début des mesures en 1864. 2018 est la quatrième année de la décennie avec une température bien au-dessus de la moyenne. Avec les années record précédentes de 2015 affichant une température de 6,6 °C, de 2014 avec 6,5 °C et de 2011 avec 6,6 °C, l'année 2018 se distingue nettement de toutes les autres années depuis le début des mesures en 1864. Avec ces records très rapprochés, le changement climatique en Suisse devient évident.

Un hiver dans la norme pour les températures, mais un mois de janvier record

En moyenne nationale, les températures de l'hiver 2017/18 ont été conformes à la norme 1981–2010, mais avec d'importantes variations mensuelles. Décembre 2017 a présenté un déficit thermique de 0,6 °C par rapport à la norme 1981–2010 et février 2018 un déficit de 3,0 °C. En revanche, entre ces deux mois, janvier a connu une température mensuelle record. A Genève, la température moyenne de janvier 2018 a atteint une valeur historique de 6,0 °C. Jusqu'à présent, le mois de janvier le plus doux à Genève avait connu une température moyenne de 4,5 °C en 1936. En moyenne nationale, la Suisse a également connu son mois de janvier le plus doux depuis le début des mesures en 1864 avec un dépassement de la normale de 3,1 °C.

Beaucoup de neige en montagne

Les précipitations hivernales ont souvent été supérieures à 130 % de la norme 1981–2010. En Valais, les valeurs ont souvent correspondu à plus de 200 % de la normale, dans les Grisons régionalement. Au Sud des Alpes, il a été mesuré l'équivalent de 100 à 150 %, localement près de 180 % de la norme.

En janvier 2018, 95 sites de mesures ont relevé des quantités record de précipitations pour un mois de janvier. Parmi ces sites, 72 disposent de mesures depuis plus de 50 ans. En Valais, 4 stations avec une série de plus de 50 ans de mesures, n'ont pas seulement enregistré un record pour un mois de janvier, mais aussi pour tous mois confondus. Zermatt a recueilli 257 mm de précipitations, Stalden/Akersand 220 mm, Viège 328 mm et Grimentz 254 mm.

En montagne, il a abondamment neigé en décembre et en janvier. Le danger d'avalanche a parfois été fort à très fort dans une grande partie des Alpes, surtout en janvier (sources: Institut pour l'étude de la neige et des avalanches – SLF Davos). Pendant quelques jours, quelques vallées alpines n'ont été atteignables que par hélicoptère. A Arosa (à 1880 m), il est tombé un cumul remarquable de 5,3 m de neige au cours de l'hiver 2017/18. Ces 50 dernières années, seul l'hiver 2011/12 avait connu un cumul de neige fraîche encore plus important avec 5,8 m. A Grächen en Valais (à 1600 m), site habituellement plutôt sec, il est tombé un cumul de neige supérieur à 2 m, ce qui constitue une des valeurs les plus élevées pour un hiver depuis le début des mesures il y a 50 ans.

Hiver agité

Le Nord des Alpes a vécu un hiver bien agité. Sur le site de mesures de Zurich-Fluntern, les mois de décembre et de janvier ont connu un nombre sensiblement plus élevé de tempêtes que ces dernières années. Des dégâts ont été occasionnés, notamment lors des tempêtes de janvier et surtout au cours de la tempête Burglind (ou Eléanor) du 3 janvier 2018 [6].

Quatrième printemps le plus chaud

Le printemps 2018 a été le quatrième le plus chaud depuis le début des mesures en 1864 avec un dépassement de la norme 1981–2010 de 0,6 °C. Le réchauffement à long terme

du printemps se poursuit sans interruption. Les six printemps les plus chauds ont tous été enregistrés au 21ème siècle.

Le printemps 2018 a démarré dans la fraîcheur. En mars, la température a accusé, en moyenne nationale, un déficit de 1 °C par rapport à la norme 1981–2010. Le mois d'avril s'est montré le deuxième le plus chaud depuis le début des mesures en 1864. En moyenne nationale, la température a dépassé la normale de 3,9 °C. Régionalement, les valeurs se sont retrouvées entre 4 et 5 °C au-dessus de la norme 1981–2010. La chaleur s'est poursuivie le mois suivant. Le printemps s'est terminé avec le cinquième mois de mai le plus chaud depuis le début des mesures en 1864. En moyenne nationale, la normale a été dépassée de 1,9 °C. Pour certains sites, il s'agit même du deuxième ou troisième mois de mai le plus chaud depuis le début des mesures il y a 155 ans.

Troisième été le plus chaud

Avec un dépassement de la normale de 2 °C, l'été 2018 a été le troisième quasiment à la suite avec une température largement excédentaire. Il s'agit du troisième été le plus chaud et, avec les étés 2017, 2015 et 2003, il se distingue nettement de tous les autres depuis le début des mesures en 1864 [1].

Dix journées de forte chaleur au Nord des Alpes

Au Nord des Alpes, une forte chaleur estivale s'est installée depuis le 30 juillet avec des valeurs maximales quotidiennement supérieures à 30 °C. La vague de chaleur de 10 jours a provoqué une température maximale moyenne de 32 à 34 °C au Nord des Alpes. Régionalement, il s'agit de la troisième ou quatrième vague de chaleur sur 10 jours la plus intense depuis le début des mesures, comme à Bâle, Zurich et Lucerne.

Période caniculaire au Sud des Alpes

Au Sud des Alpes, dès le 22 juillet déjà, les températures maximales ont localement franchi régulièrement la barre des 30 °C. La période de forte chaleur s'est étendue sur 18 jours. A Locarno-Monti, il s'agit de la troisième vague de chaleur sur 18 jours la plus intense depuis le début des mesures en 1935. La température maximale moyenne a été de 32,6 °C. L'été caniculaire 2003 avait connu une chaleur comparable sur 18 jours avec une température de 32,8 °C. Il avait fait légèrement plus chaud en 2015 avec une température maximale moyenne sur 18 jours de 33,1 °C.

Manque persistant de pluie

Après une pluviométrie extrêmement faible en avril et un manque de pluie souvent généralisé en mai, l'été s'est caractérisé par une pluviométrie toujours faible. En Suisse, les précipitations moyennes entre juin et août n'ont atteint que 71 % de la norme 1981–2010. Lors de ces dernières années, seuls les étés 2015, 1983 et 1984 se sont montrés encore moins pluvieux. Dans certaines régions, le mois de juin n'a fourni que l'équivalent de 20 à 40 % des précipitations normales. Certains sites des Alpes centrales et orientales qui disposent de mesures pluviométriques depuis plus de 100 ans ont connu leur mois de juin le plus sec. En juillet, certaines régions du Plateau oriental et de la partie orientale des versants nord des Alpes ont connu une pluviométrie massivement déficitaire représentant l'équivalent de 20 à 30 % de la norme 1981–2010 [1].

Ensoleillement estival record

Les trois mois de l'été se sont montrés très ensoleillés. Genève, avec 908 heures d'ensoleillement, a mesuré son été le plus ensoleillé depuis le début des mesures en 1897. Le dernier été autant ensoleillé à Genève remonte à l'année 2003 avec juste un peu moins de 900 heures. A Bâle également, l'ensoleillement estival se situe dans les records avec 835 heures.

Seul l'été 2003 avait connu un ensoleillement comparable avec 834 heures. La série de mesures de l'ensoleillement a débuté à Bâle en 1886.

Semestre d'été le plus chaud

D'avril à septembre 2018, tous les mois se sont placés entre la deuxième et la septième place des plus chauds. La persistance de valeurs mensuelles élevées a permis d'enregistrer un nouveau record de chaleur pour le semestre d'été avec un dépassement de la norme 1981–2010 de de 2,4 °C. Même le semestre d'été 2013 avec 2,2 °C au-dessus de la norme et comprenant le légendaire été caniculaire 2003, a été légèrement dépassé.

Automne avec un record de température au Sud

La Suisse a connu son troisième automne le plus chaud depuis le début des mesures en 1864 avec une température dépassant la norme 1981–2010 de 1,8 °C. Quatre des cinq automnes les plus chauds ont été enregistrés au cours des 15 dernières années. Seuls l'automne 2014 avec une température dépassant la norme de 2,1 °C et l'automne record de 2006 avec une température dépassant la norme de 2,7 °C ont été encore plus chauds.

Le Sud des Alpes a régionalement connu son automne le plus chaud depuis le début des mesures. A Lugano et à Locarno-Monti, la température de l'automne a dépassé la norme 1981–2010 de 2,2 °C. Le précédent automne le plus chaud s'est produit en 2006 avec un dépassement de la normale de 1,8 °C à Lugano et 1,9 °C à Locarno-Monti.

Sécheresse séculaire en Suisse orientale

En Suisse orientale, le manque de pluie qui a duré du printemps à l'automne est devenu un événement séculaire. Au cours des huit mois d'avril à novembre, les précipitations n'ont atteint que 59 % de la norme 1981–2010. Il a manqué l'équivalent de plus de 3 mois de pluie en été. Il s'agit clairement du déficit pluviométrique le plus important entre avril et novembre en Suisse orientale depuis le début des mesures en 1864. Toutes les autres périodes de sécheresse entre avril et novembre avaient au moins fourni l'équivalent de 64 % de la norme.

En moyenne nationale, le déficit pluviométrique entre avril et novembre est le troisième le plus prononcé avec l'équivalent de 69 % de la norme 1981–2010. La période d'avril à novembre 1921 avait été comparable avec l'équivalent de 68 % de la norme. Le déficit pluviométrique le plus marqué entre avril et novembre s'est produit en 1962 avec l'équivalent de 60 % de la norme en moyenne nationale.

Pluie et neige

Fin octobre, il a souvent été mesuré entre 200 et 300 mm de précipitations en 3 jours au Sud des Alpes, localement même plus de 400 mm. Les régions limitrophes grisonnes ont également connu de grandes quantités de précipitations avec plus de 200 mm. Une grande partie est tombée sous forme de neige. Arosa a enregistré un nouveau record en octobre avec 72 cm de neige fraîche en une journée. Au Sud des Alpes, il a continué à pleuvoir fortement au début du mois de novembre. Le 6 novembre 2018, à la suite des fortes pluies, le lac Majeur a débordé de ses rives.

Alors que les précipitations totales au Sud des Alpes en octobre et novembre ont été nettement supérieures à la norme 1981–2010, les deux mois de précipitations au Nord des Alpes ont de nouveau été nettement trop secs. Ce n'est qu'en décembre que le Nord des Alpes a de nouveau reçu des précipitations supérieures à la moyenne. L'hiver est arrivé dans les Alpes. Vers la période de Noël, la couche de neige en montagne a été conforme à la norme, voire légèrement excédentaire (sources: Institut pour l'étude de la neige et des avalanches – SLF Davos).

Bilan annuel

En 2018, la température annuelle a dépassé la norme 1981–2010 de 1,5 à 2,0 °C dans la plupart des régions de la Suisse. Au Sud des Alpes et en Engadine, elles ont dépassé la norme de 1,0 à 1,5 °C. En moyenne nationale, la Suisse a enregistré une température annuelle de 1,5 °C au-dessus de la norme 1981–2010. Il s'agit d'un nouveau record depuis le début des mesures en 1864. Selon les scénarios climatiques actuels CH2018, des températures annuelles élevées deviendront de plus en plus fréquentes dans les décennies à venir.

Les précipitations annuelles en 2018 ont souvent atteint 80 à 95 %, au Sud des Alpes régionalement 100 à 115 % de la norme 1981–2010. Le Valais a reçu des quantités supérieures à la moyenne avec 110 à 150 % de la norme. En Suisse orientale, la somme annuelle est restée nettement déficitaire avec seulement 70 à 80 % de la norme 1981–2010.

L'ensoleillement annuel en 2018 s'est situé entre 110 et 125 % de la norme au Nord des Alpes. Il a atteint 100 à 110 % de la norme dans les Alpes et au Sud des Alpes. Dans certaines régions du Nord des Alpes, 2018 est l'une des dix années les plus ensoleillées depuis le début des mesures.

Tableau 1.1

Valeurs annuelles pour une sélection de stations MétéoSuisse en comparaison avec la norme 1981–2010.

Station	Altitude	Température °C			Durée d'ensoleillement h			Précipitations mm		
	m	moyenne	norme	écart	somme	norme	%	somme	norme	%
Berne	553	10,6	8,8	1,8	1969	1683	117	907	1059	86
Zurich	556	11,1	9,4	1,7	1921	1544	124	897	1134	79
Genève	420	12,3	10,6	1,7	1979	1768	112	864	1005	86
Bâle	316	12,3	10,5	1,8	1924	1590	121	698	842	83
Engelberg	1036	8,1	6,4	1,7	1471	1350	109	1451	1559	93
Sion	482	12,5	10,2	2,3	2271	2093	108	633	603	105
Lugano	273	13,9	12,5	1,4	2171	2067	105	1472	1559	94
Samedan	1709	3,2	2,0	1,2	1744	1733	101	990*	1011*	98*

norme moyenne climatologique 1981–2010
écart écart à la norme
% rapport à la norme (norme = 100 %)
***** Les données de précipitations de Samedan ne sont pas disponibles. Elles ont été remplacées par celles de Segl-Maria.

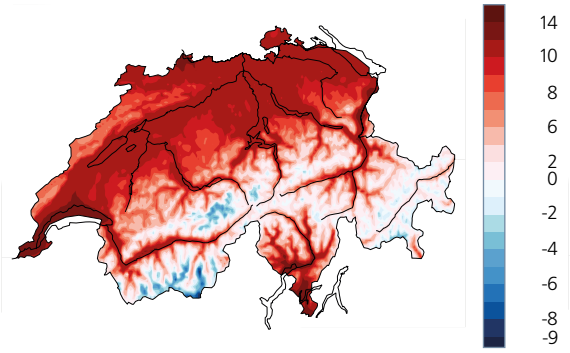
Température, précipitations et durée d'ensoleillement de l'année 2018

Figure 1.1

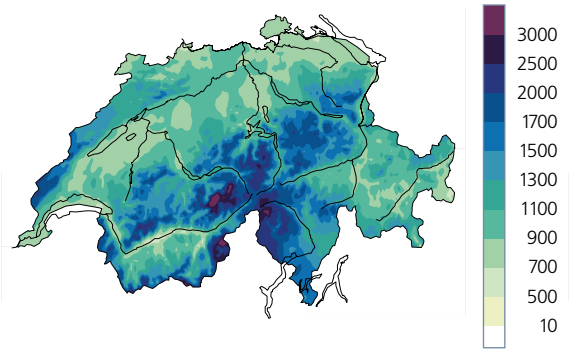
Répartition spatiale des températures, des précipitations et de la durée d'ensoleillement en 2018. Les valeurs mesurées sont représentées à gauche et les rapports à la norme climatologique 1981–2010 à droite.

Valeurs mesurées en 2018

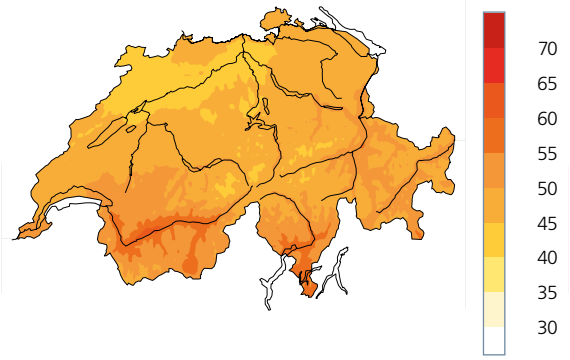
Températures moyennes annuelles en °C



Somme annuelle des précipitations en mm

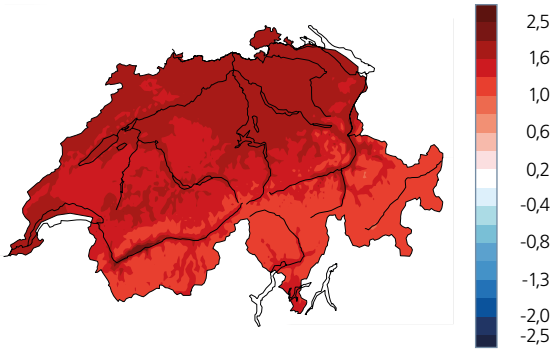


Rapport à l'ensoleillement annuel maximal en %

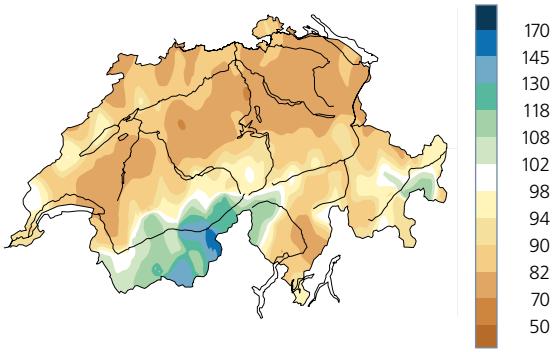


Ecart à la norme 1981–2010

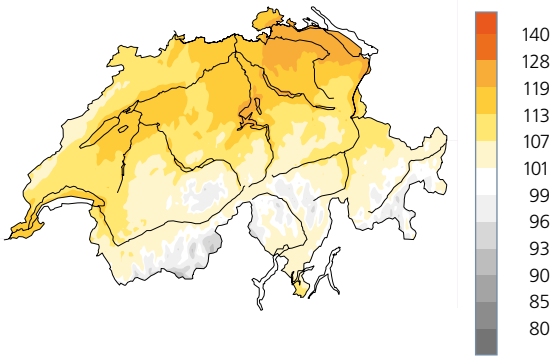
Ecart à la norme de la température moyenne en °C



Somme des précipitations en % de la norme



Durée d'ensoleillement en % de la norme

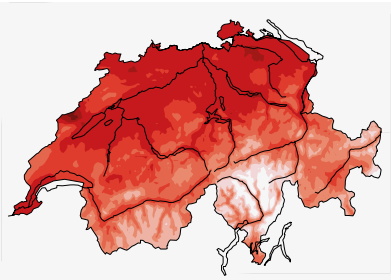


Température mensuelle 2018
écart à la norme 1981–2010

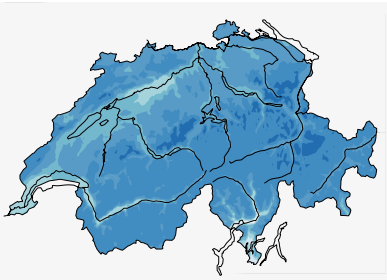
Figure 1.2

Répartition spatiale de la température mensuelle, écart à la norme 1981–2010, en °C.

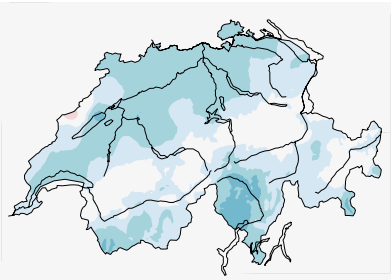
Janvier 2018



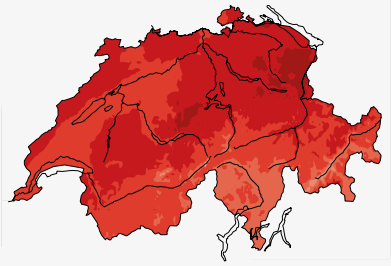
Février 2018



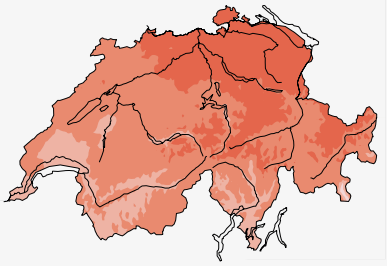
Mars 2018



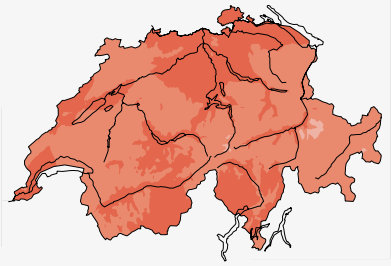
Avril 2018



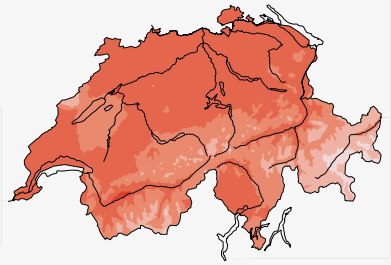
Mai 2018



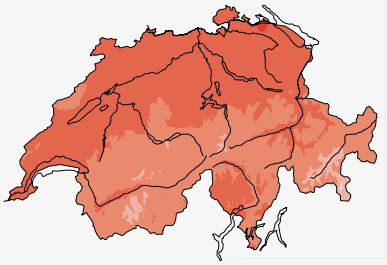
Juin 2018



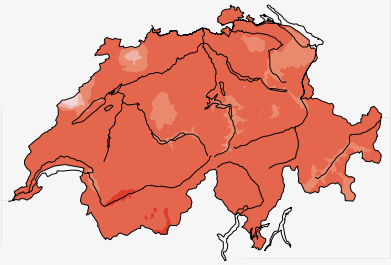
Juillet 2018



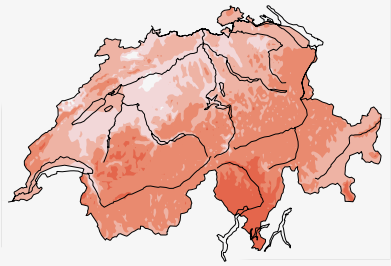
Août 2018



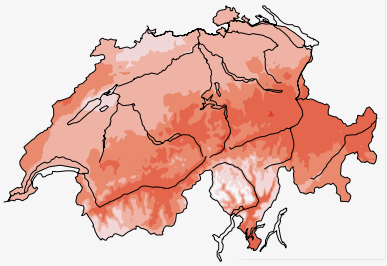
Septembre 2018



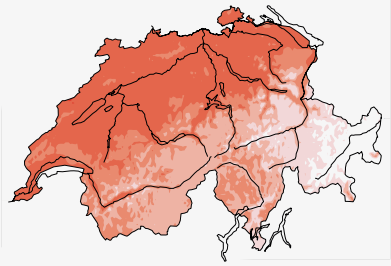
Octobre 2018

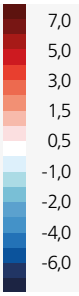


Novembre 2018



Décembre 2018

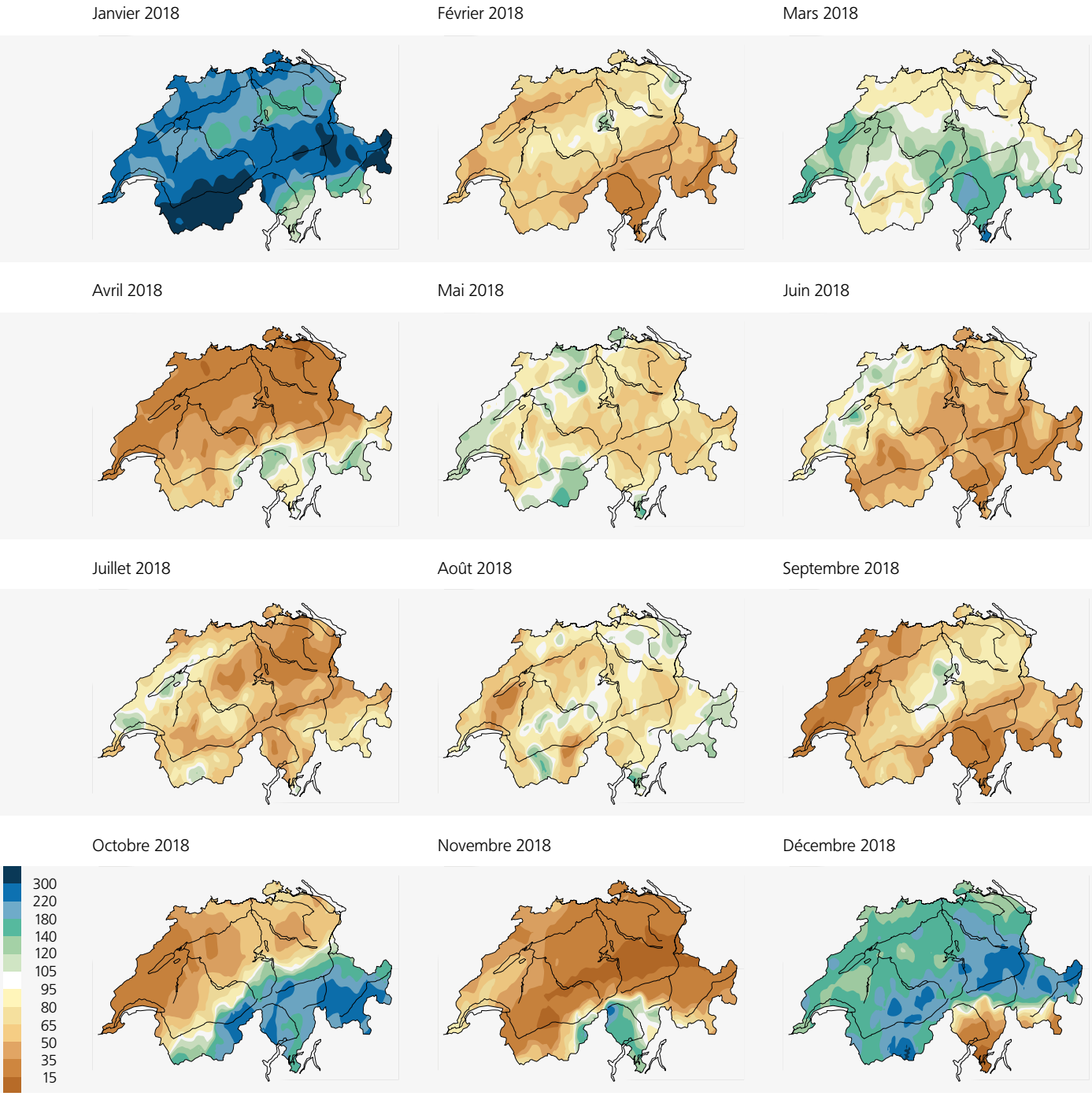




Précipitations mensuelles 2018 en % de la norme 1981–2010

Figure 1.3

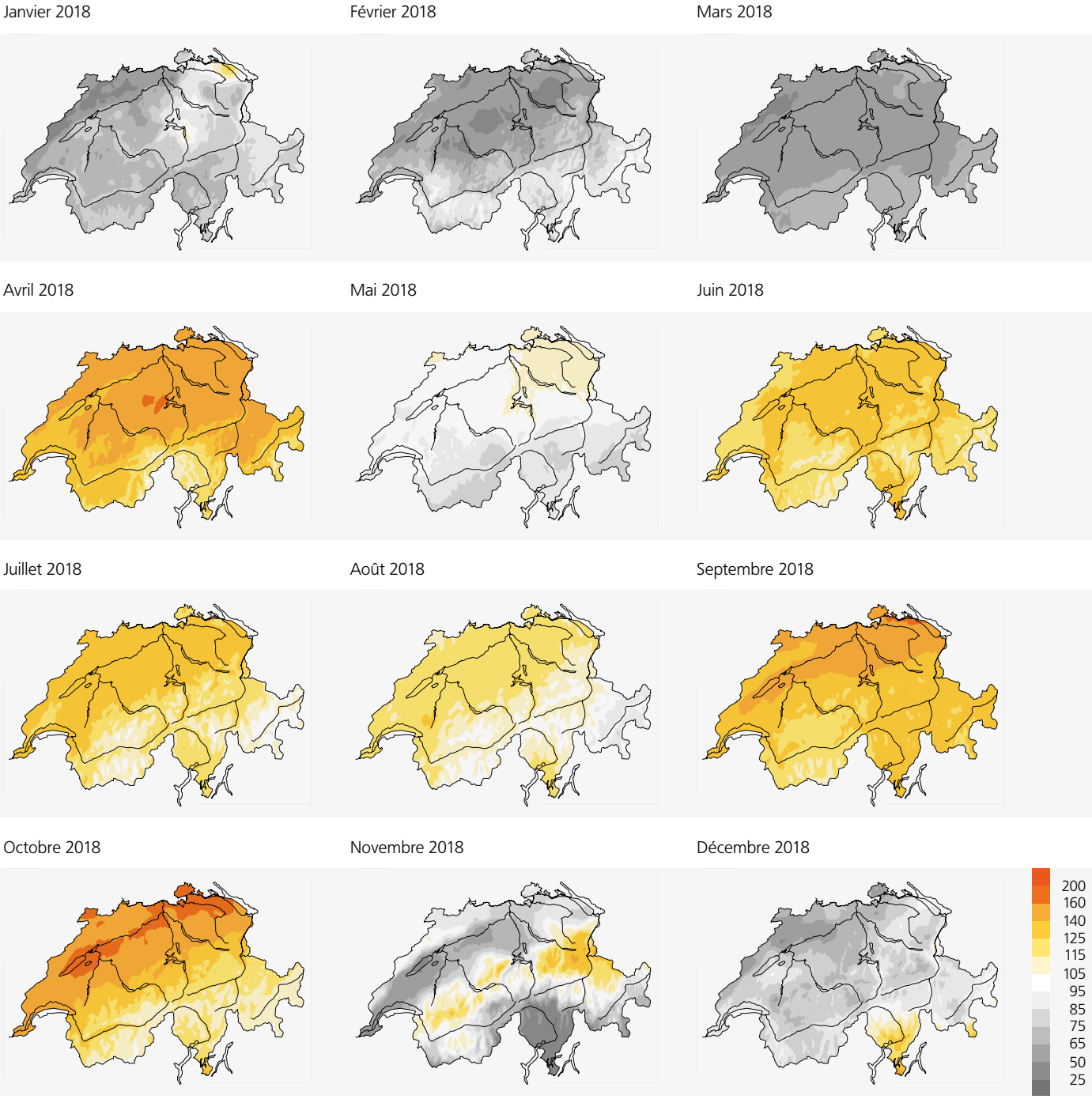
Répartition spatiale des précipitations mensuelles en % de la norme 1981–2010.



Durée mensuelle d'ensoleillement 2018 en % de la norme 1981–2010

Figure 1.4

Répartition spatiale de la durée mensuelle d'ensoleillement en % de la norme 1981–2010.



2| Diagrammes représentant l'évolution annuelle

Température, durée d'ensoleillement et précipitations

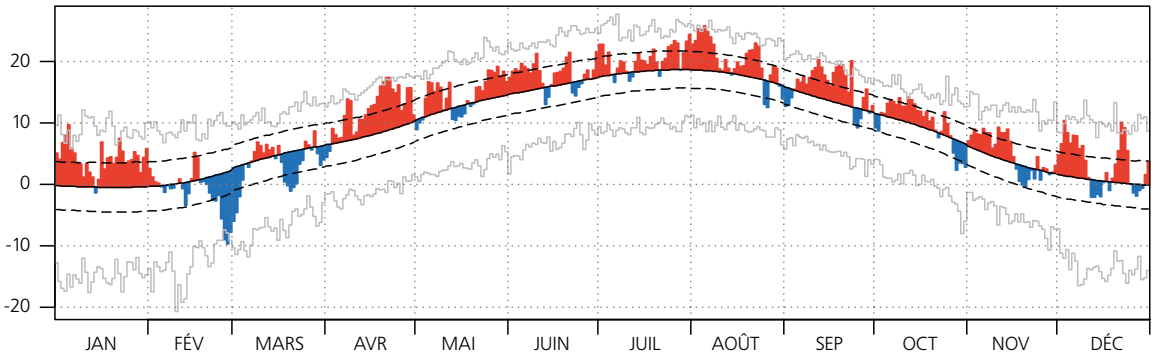
Figure 2.1

Evolution annuelle de la température journalière, de la durée journalière d'ensoleillement et des sommes de précipitations journalières à la station de mesure de Berne-Zollikofen.

Berne-Zollikofen (553 m) 1.1. au 31.12.2018

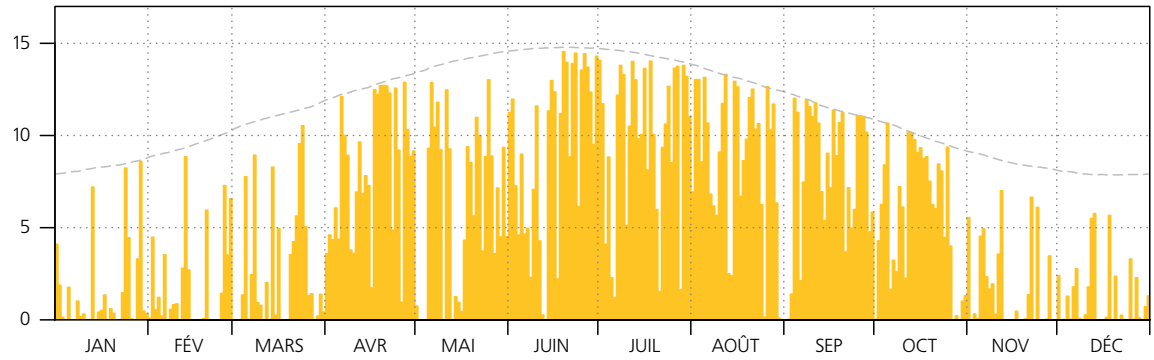
Températures journalières moyennes de l'air en °C

Moyenne: 10,6; norme: 8,8



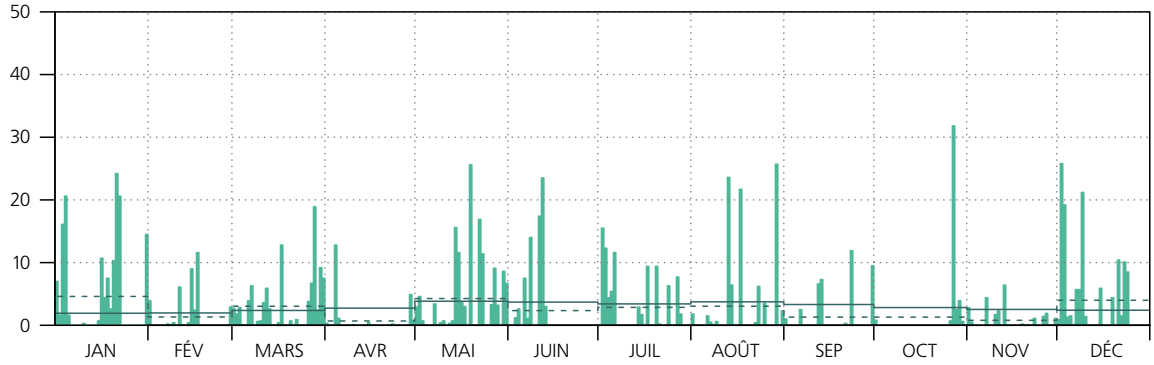
Durée journalière d'ensoleillement en h

Somme: 1968,8; norme: 1683,2



Somme journalière des précipitations en mm

Somme: 907,1; norme: 1058,6



Plus haute/plus basse moyenne journalière de la température de l'air dans la série de mesures homogènes de la période 1864–2017
Moyenne journalière homogène de la température de l'air de la période 1981–2010 (norme)
Ecart type de la moyenne journalière homogène de la température de l'air de la période 1981–2010
Durée d'ensoleillement journalière maximale possible
Somme mensuelle moyenne des précipitations durant la période 1981–2010, répartie uniformément sur les jours du mois
Somme mensuelle des précipitations répartie uniformément sur les jours du mois

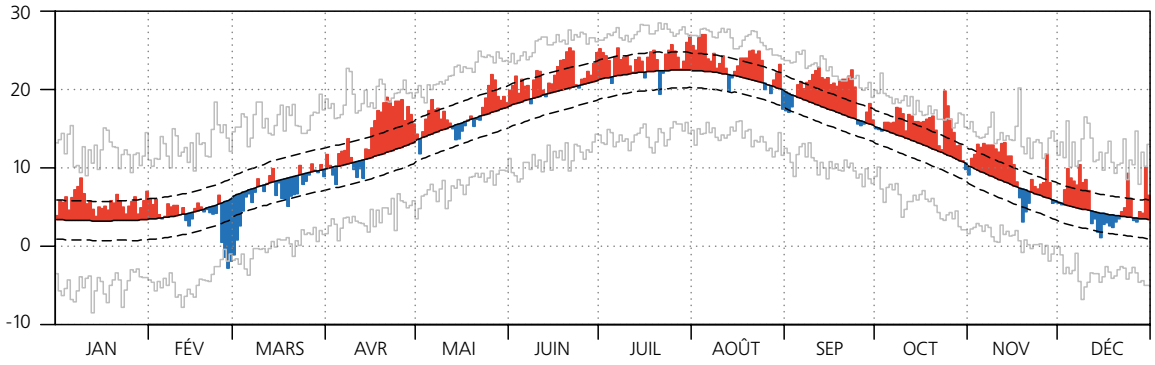
Figure 2.2

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

Lugano (273 m) 1.1. au 31.12.2018

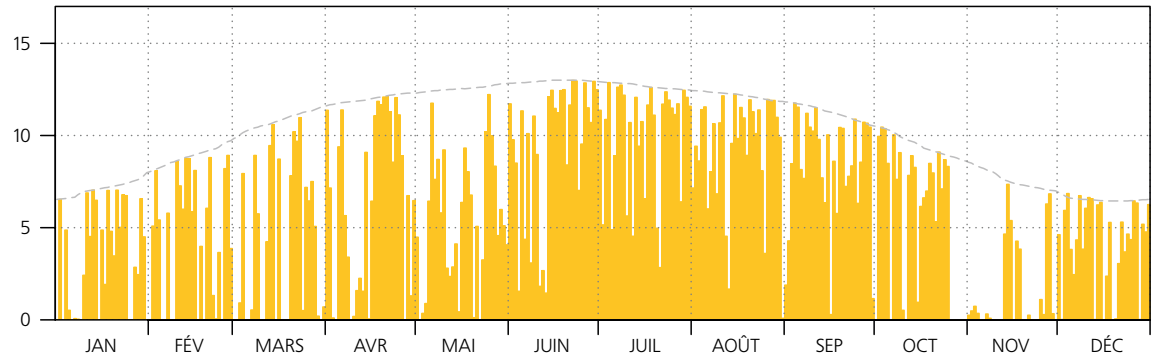
Températures journalières moyennes de l'air en °C

Moyenne: 13,9; norme: 12,5



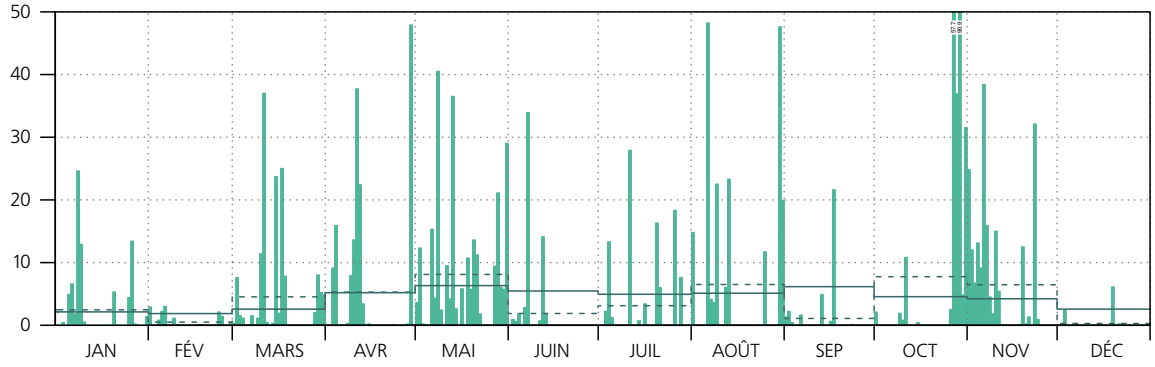
Durée journalière d'ensoleillement en h

Somme: 2171,2; norme: 2067,1



Somme journalière des précipitations en mm

Somme: 1472,2; norme: 1559,0



Les diagrammes d'évolution annuelle pour toutes les stations du réseau suisse de mesures climatiques [1] figurent à l'adresse mentionnée ci-dessous:
www.meteosuisse.admin.ch/home/climat/climat-de-la-suisse/evolution-annuelle-temperature-ensoleillement-precipitations.html

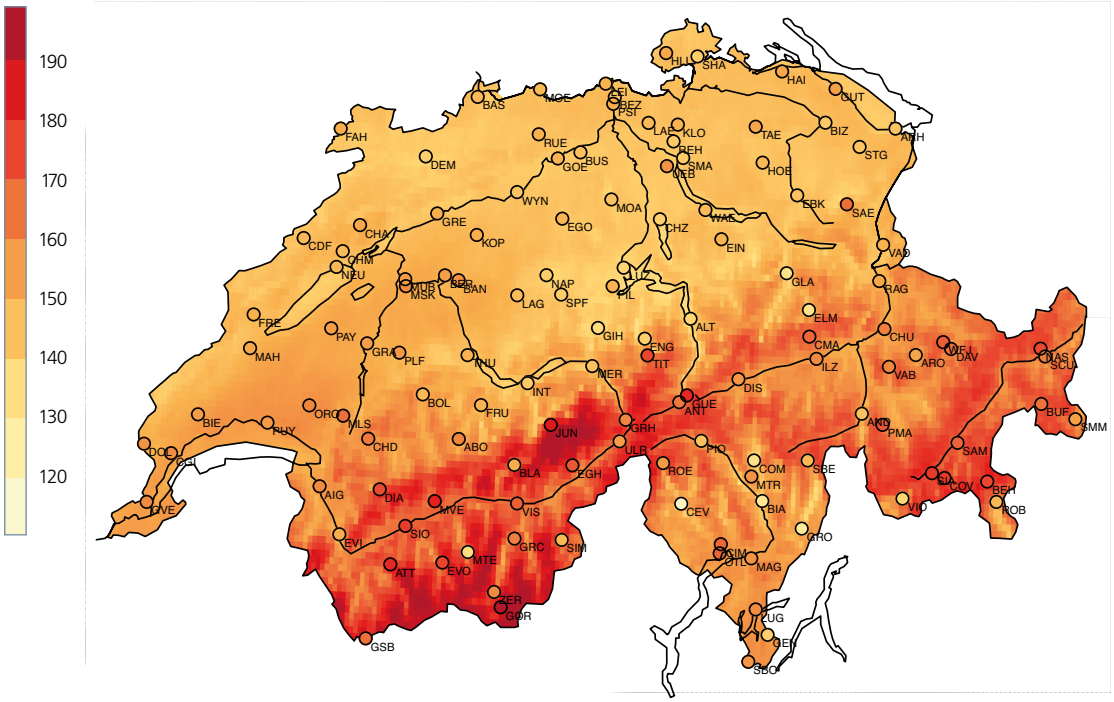
Evolution annuelle du rayonnement global

Le rayonnement global est la somme du rayonnement direct et du rayonnement diffus sur une surface de réception horizontale. Le rayonnement global revêt une importance particulière pour la production d'énergie (énergie solaire et préparation d'eau chaude sanitaire) (voir www.sonnendach.ch).

Le rayonnement global annuel moyen a atteint 170–190 m^{-2} dans les Alpes en 2018 (Figure 2.3). Le Plateau suisse en reçoit nettement moins en raison des brouillards hivernaux et d'une plus grande opacité de l'atmosphère: à peu près 140–160 W/m^2. Cela correspond à une énergie cumulée sur l'année d'environ 1300 kWh/m^2. Le rayonnement solaire dans différentes stations du Plateau a presque atteint les valeurs du Tessin. Par exemple, 154 W/m^2 ont été mesurés à Güttingen au bord du lac de Constance et 159 W/m^2 à Lugano. Cette année encore, des valeurs maximales ont été atteintes dans les régions de haute-montagne: le Jungfraujoch a mesuré 181 W/m^2.

Figure 2.3

Moyenne annuelle du rayonnement global (W/m^2) pour 2018, à partir de données satellites. Les cercles donnent les mesures correspondant aux données des stations.



En comparaison avec la moyenne des 15 dernières années, les valeurs du rayonnement global pour 2018 ont été en moyenne 3 % plus élevées dans toute la Suisse. De grandes différences spatiales ont été constatées. Tandis que jusqu'à 7 % de rayonnement en plus ont été mesurés sur le Plateau oriental, les valeurs au Tessin et sur le Plateau occidental n'ont été que de 1 à 2 % supérieures à la norme dans de nombreux endroits. Sur la crête principale des Alpes, des niveaux de rayonnement jusqu'à 5 % plus faibles ont même été enregistrés par endroits.

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.

En 2018, un hiver très nuageux a été suivi par un mois d'avril très ensoleillé. Les barres grises dominantes au début du mois de mai ne montrent qu'un bref changement vers des jours plus nuageux. A partir de juin, l'été a été très ensoleillé, de même que le début de l'automne. Novembre et décembre ont été plutôt sombres.

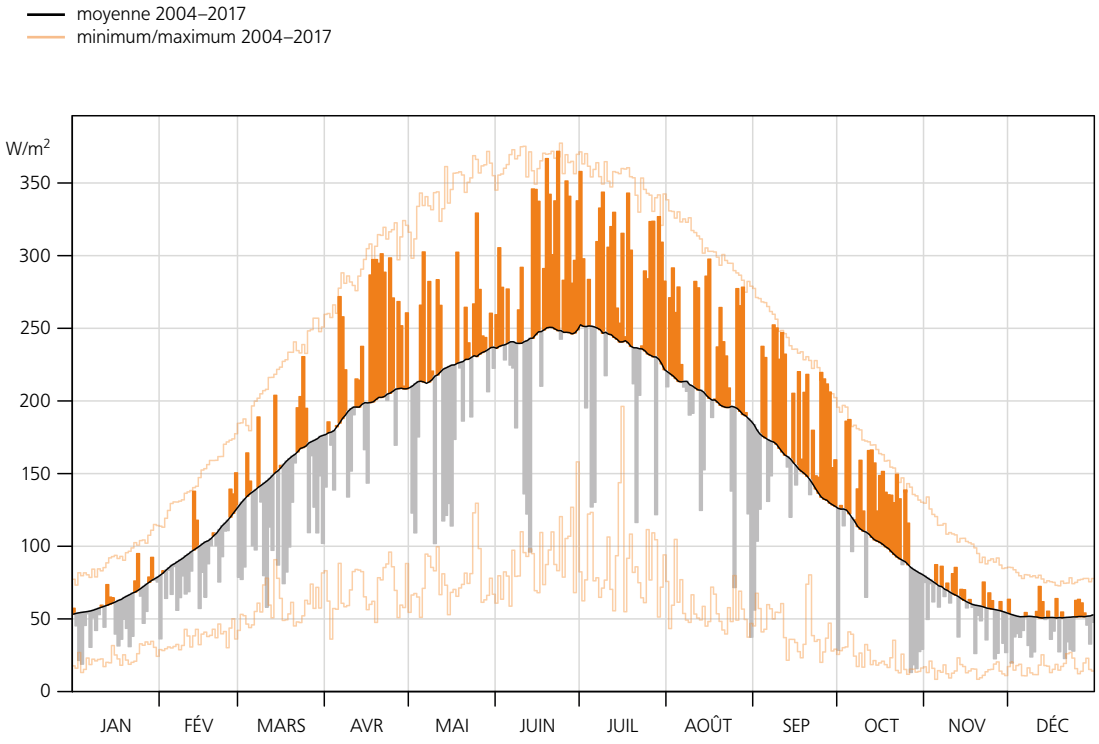


Figure 2.4
Moyenne journalière du rayonnement global pour toute la Suisse pour 2018. Les barres orange indiquent un rayonnement supérieur à la moyenne et les barres grises des valeurs inférieures à la moyenne par rapport à la période 2004–2017.

Limite du zéro degré en atmosphère libre

L'évolution de la limite du zéro degré en atmosphère libre, est déterminée à partir des mesures des ballons-sondes lâchés quotidiennement à Payerne. La précision du calcul de l'altitude du zéro degré varie selon les différentes conditions thermodynamiques de l'atmosphère. Dans des situations d'inversion avec plusieurs valeurs de zéro degré sur le même profil, l'altitude de la limite du zéro degré la plus élevée est retenue. Les jours où les températures sont globalement négatives, une limite théorique du zéro degré est calculée par extrapolation de la température au sol en y ajoutant 0,5 °C par 100 mètres d'altitude de moins. Pendant des jours de gel (ou de glace quand la température ne dépasse jamais zéro degré), l'application de cette formule peut résulter en une limite du zéro degré au-dessous du niveau de la mer.

La Figure 2.5 représente l'évolution annuelle pour l'année 2018 de l'altitude de zéro degré, laquelle se caractérise par une alternance de périodes au-dessus et en dessous de la valeur médiane calculée sur la période de référence 1981–2010. Ces valeurs se situent pour le 67 % du temps au-dessus et seulement pour le 33 % en dessous de la valeur médiane de référence. Les événements extrêmes mesurés en 2018 reflètent aussi le comportement général de l'évolution annuelle avec plusieurs records positifs (pic d'anomalie «chaud» le 27 septembre à 4640 m) et peu d'événements négatifs (à part le pic d'anomalie «froid» le 28 février à -1270 m). La valeur médiane de l'altitude de zéro degré en 2018 est la plus élevée mesurée depuis le début de la série temporelle. Elle atteint 2950 m, alors que la valeur de référence est 2520 m, c'est à dire 430 m plus haut. Cette valeur record est en soi extraordinaire confirmant la tendance à l'augmentation de l'altitude de zéro degré que l'on observe depuis 1980.

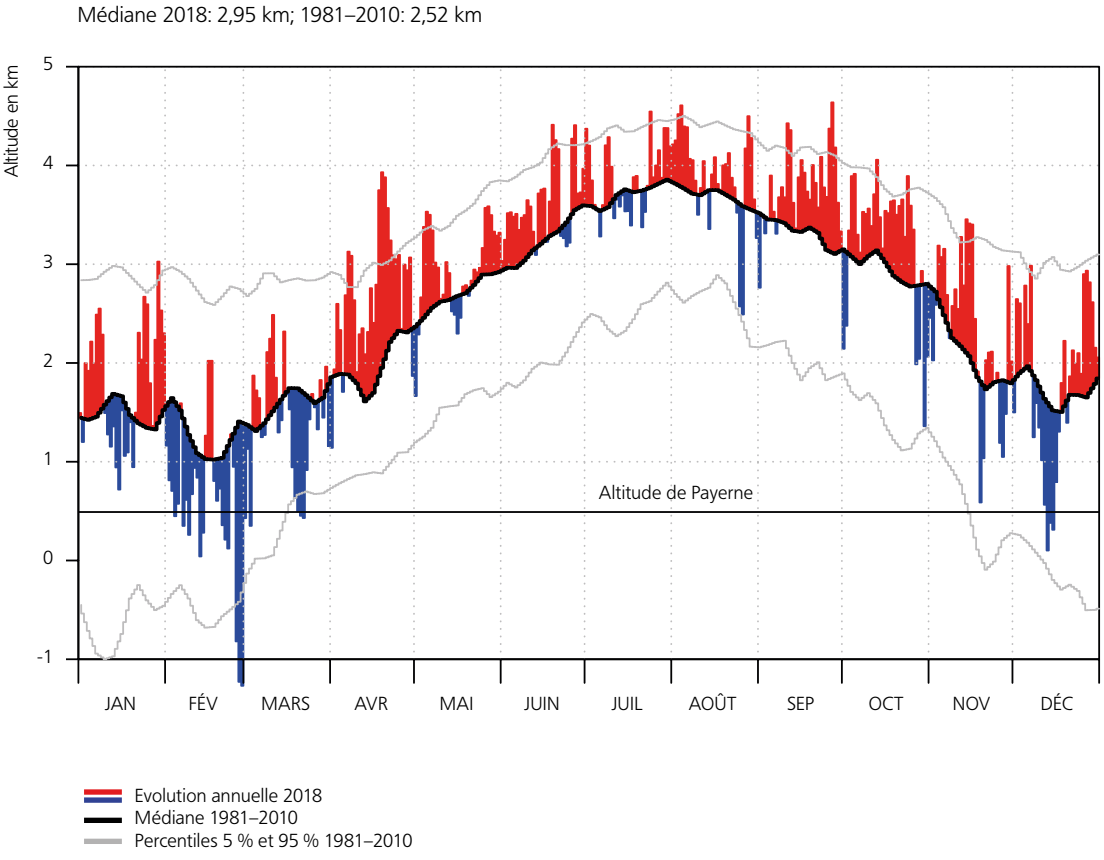


Figure 2.5
Altitude de la limite du zéro degré en atmosphère libre au-dessus de Payerne en 2018 mesurée par le radiosondage aérologique de 00 UTC et 12 UTC. La valeur médiane (période de référence 1981–2010) a été calculée avec des données homogénéisées et lissées avec un filtre numérique. 89 % des valeurs mesurées se situent dans les percentiles 5 % et 95 %.

Altitude de la tropopause

La tropopause sépare la troposphère, couche dans laquelle la majorité des phénomènes météorologiques évoluent, de la stratosphère très sèche et très stable d'un point de vue thermodynamique. Elle se caractérise toujours par un changement notable du profil de température et correspond souvent à la température la plus basse de ces deux couches. Son altitude est établie grâce aux mesures des ballons-sondes lâchés deux fois par jour à Payerne. L'altitude de la tropopause est déterminée à l'aide d'un algorithme automatique, conformément à la définition de l'OMM.

L'arrivée de masses d'air polaire ou arctique au-dessus de la Suisse a pour conséquence un abaissement de l'altitude de la tropopause. Dans la série temporelle montrée en Figure 2.6, pendant l'année 2018, les valeurs de hauteur de tropopause plus basses que la valeur de référence (médiane sur la période 1981–2010) sont affichées en bleu (45 %). Inversement, les masses d'air tropical ou équatorial chaud tendent à élever la tropopause, entraînant des valeurs anormalement élevées affichées en rouge (55 %) telles celles mesurées en automne 2018. Pour cette année, les valeurs extrêmes ont été de 6880 m (26 février) et de 14630 m (22 octobre). La médiane pour l'année 2018 se situe 160 m au-dessus de la médiane 1981–2010 (11480 m contre 11320 m).

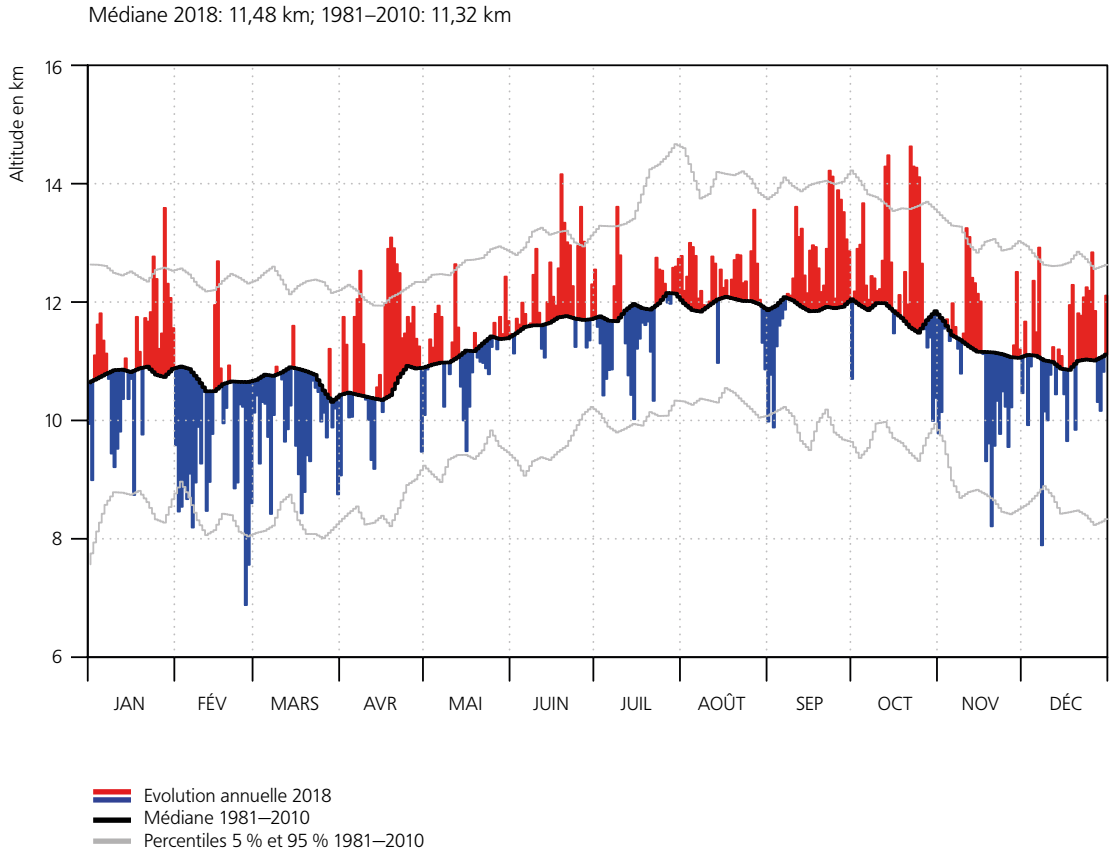


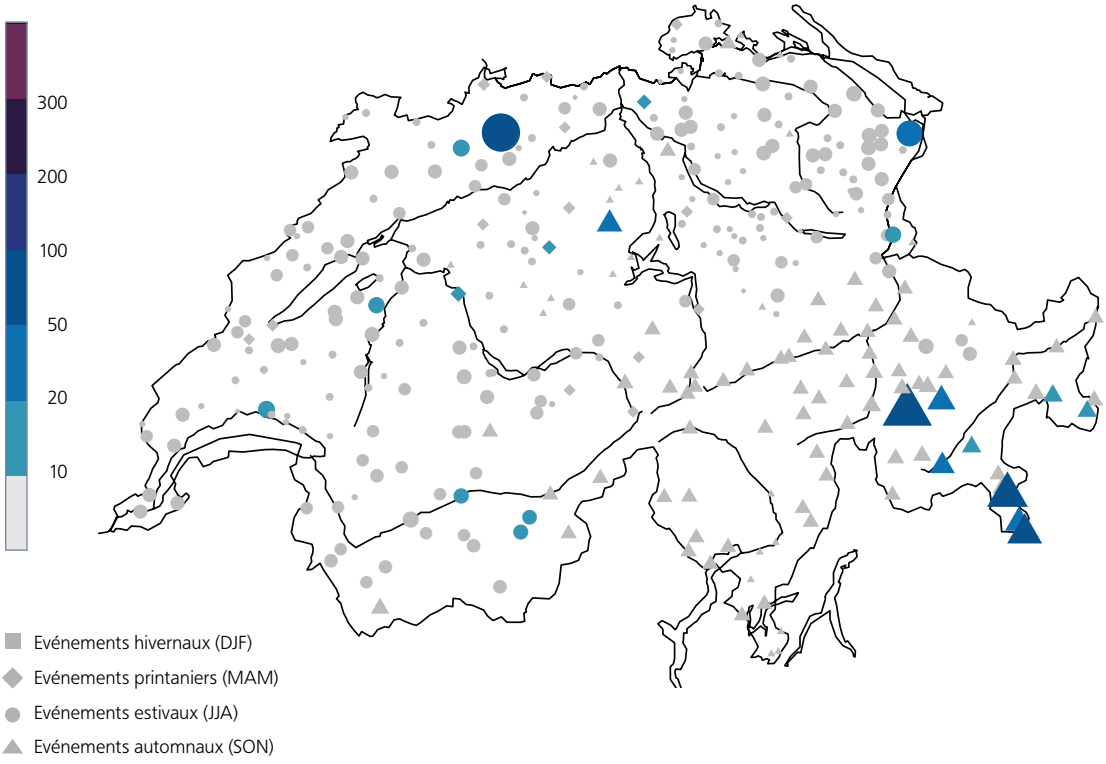
Figure 2.6
Altitude quotidienne de la tropopause au-dessus de Payerne en 2018. Radiosondage aérologique de 00 UTC et 12 UTC. La valeur médiane (période de référence 1981–2010) a été calculée avec des données homogénéisées et lissées avec un filtre numérique. 89 % des valeurs mesurées se situent dans les 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 1966–2015), la plus grande quantité de précipitations enregistrée sur une journée a été évaluée pour chaque site de mesures des précipitations. La station avec la période de retour la plus élevée en 2018 est Savognin (90 ans environ; 118,4 mm/jour).

Figure 2.7
Périodes de retour des plus importantes sommes de précipitations en 1 jour en 2018 (6 h à 6 h).



La taille des points et leur couleur indiquent la longueur de la période de retour en années.
La couleur grise représente des périodes de retour de 10 ans ou moins.

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 que le phénomène le plus marquant en 2018 est un ensoleillement très supérieur à la norme de mi-juin à la fin du mois d'octobre, une période très ensoleillée ayant aussi eu lieu mi-avril. Au-delà de l'effet de cet été et automne exceptionnellement ensoleillé sur la température et le manque de précipitations, le rayonnement UV a aussi été très supérieur à la norme durant cette période. Ceci est visible à toutes les stations où le rayonnement UV est mesuré, même si la différence est moins grande pour Locarno-Monti. A cette station, l'été et l'automne ont aussi été très ensoleillés, mais c'est une situation moins exceptionnelle au sud de la Suisse. En ce qui concerne la couche d'ozone, 2018 était une année qui a été caractérisée par des valeurs assez élevées de la colonne totale d'ozone, en particulier au mois de février et mars. Cela permet d'expliquer pourquoi l'irradiance UV était en dessous de la moyenne calculée sur le long terme durant ces deux mois dans presque toutes les stations.

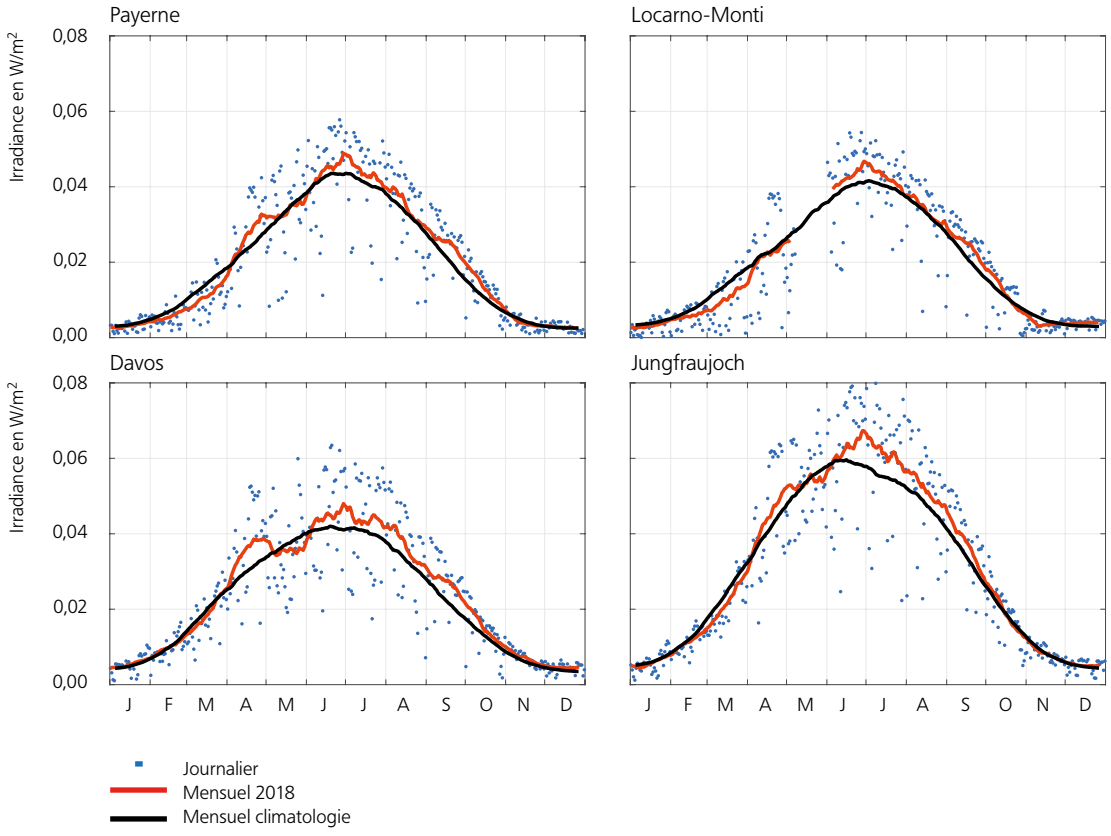


Figure 2.8
Moyennes journalières 2018 de l'irradiance UV érythémale à Payerne, Locarno-Monti Davos et au Jungfraujoch, moyennes glissantes mensuelles (31 jours) correspondantes et cycles annuels moyens établis sur les années 1995–2017 (Davos), 1997–2017 (Jungfraujoch), 1998–2017 (Payerne) et 2001–2017 (Locarno-Monti). À Locarno-Monti, des pannes instrumentales ont interrompu la mesure de l'irradiance UV érythémale durant le mois de mai.

Série de mesures de l'ozone d'Arosa

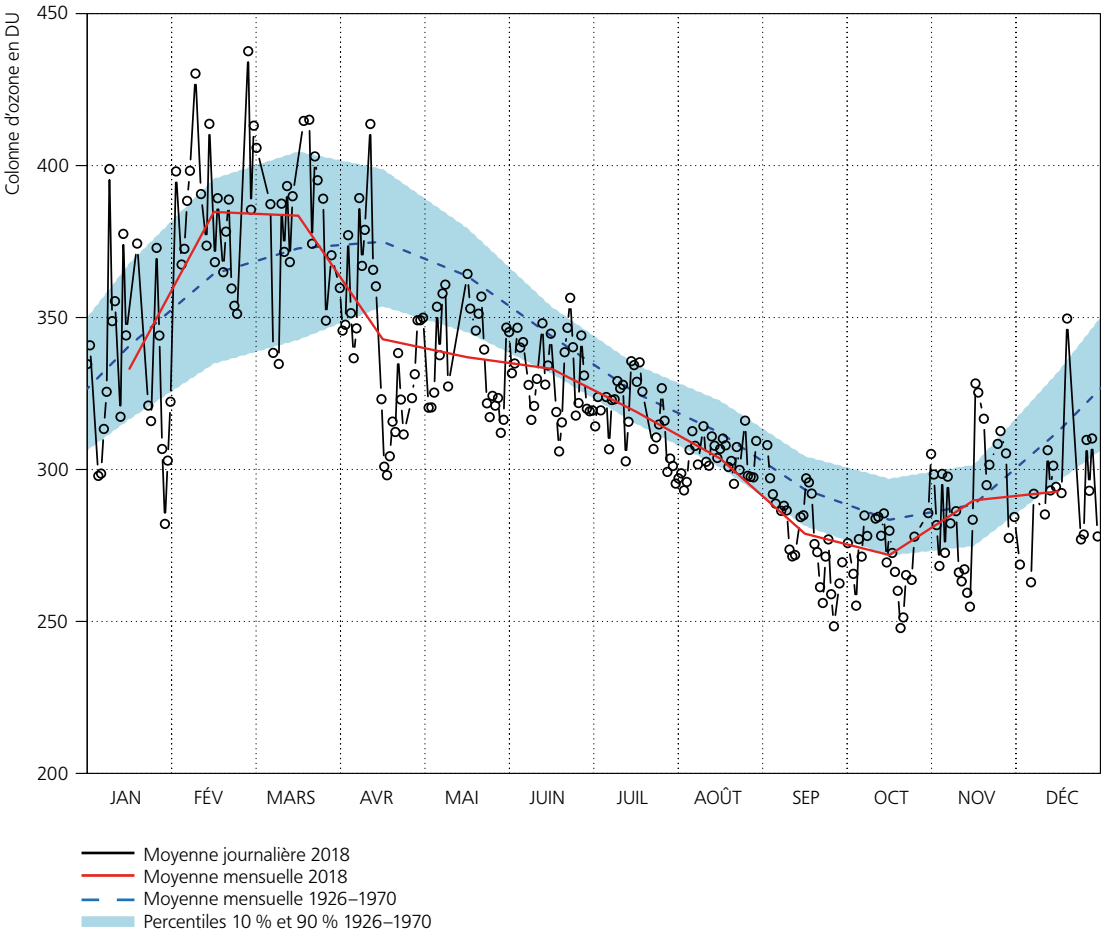
L'évolution annuelle de la colonne totale d'ozone sur Arosa (Figure 2.9) montre la fluctuation annuelle typique, avec les valeurs élevées en hiver et au printemps et les valeurs plus basses en automne. L'évolution annuelle de la colonne totale d'ozone est dominée par le transport d'ozone à partir des régions 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 1926–1969 correspond à l'état de la couche d'ozone avant la perturbation d'origine anthropique.

La baisse continue de l'ozone total mesurée depuis Arosa a débuté vers 1970, époque à laquelle les émissions de substances responsable de la destruction de la couche d'ozone ont fortement augmenté. A partir des années 2000, on observe une stabilisation de la colonne d'ozone en dessus de la Suisse.

En 2018, les valeurs d'ozone n'ont été significativement inférieures à celles de la période de référence que sur la période mi-avril à mai et légèrement inférieures pendant les mois de septembre et octobre.

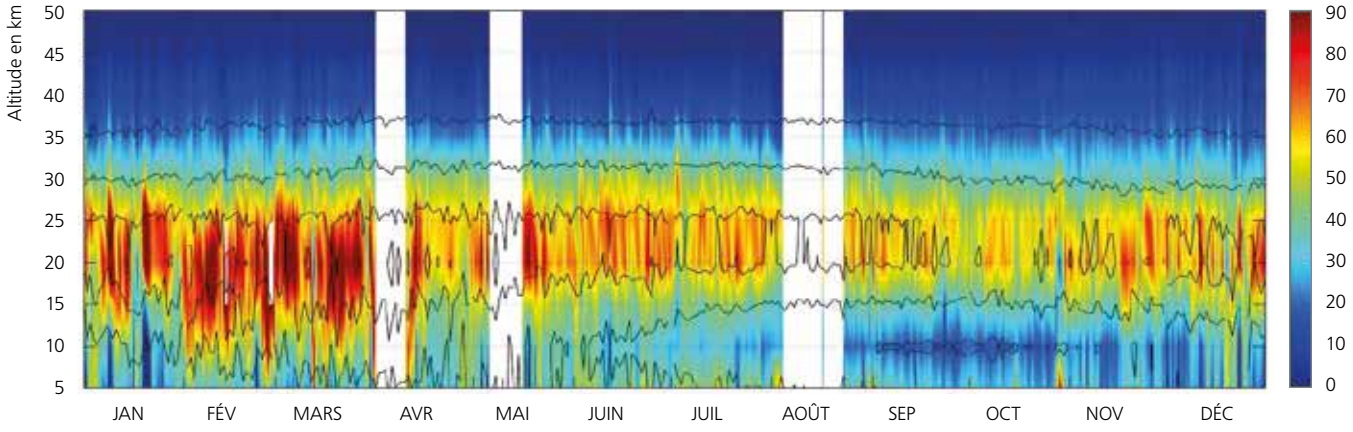
Figure 2.9
Evolution annuelle de la colonne totale d'ozone sur Arosa en 2018. Courbe noire: moyennes journalières. Courbe rouge: moyennes mensuelles. La courbe bleue montre l'évolution annuelle moyenne au cours de la période 1926–1969, avant que ne survienne le problème de la destruction de la couche d'ozone. Le 80 % des variations autour de la courbe moyenne à long terme (1926–1969) se situent dans la bande bleue.



Les profils d'ozone sont mesurés par un spectrophotomètre Dobson depuis 1956 à Arosa, ce qui constitue la plus longue série temporelle au monde. La variation annuelle d'ozone en DU pour 2018 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 Arosa en 2018. 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 2018 est représentée en couleur dans le graphique suivant (Figure 2.11) et la variation annuelle pour 2017 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.

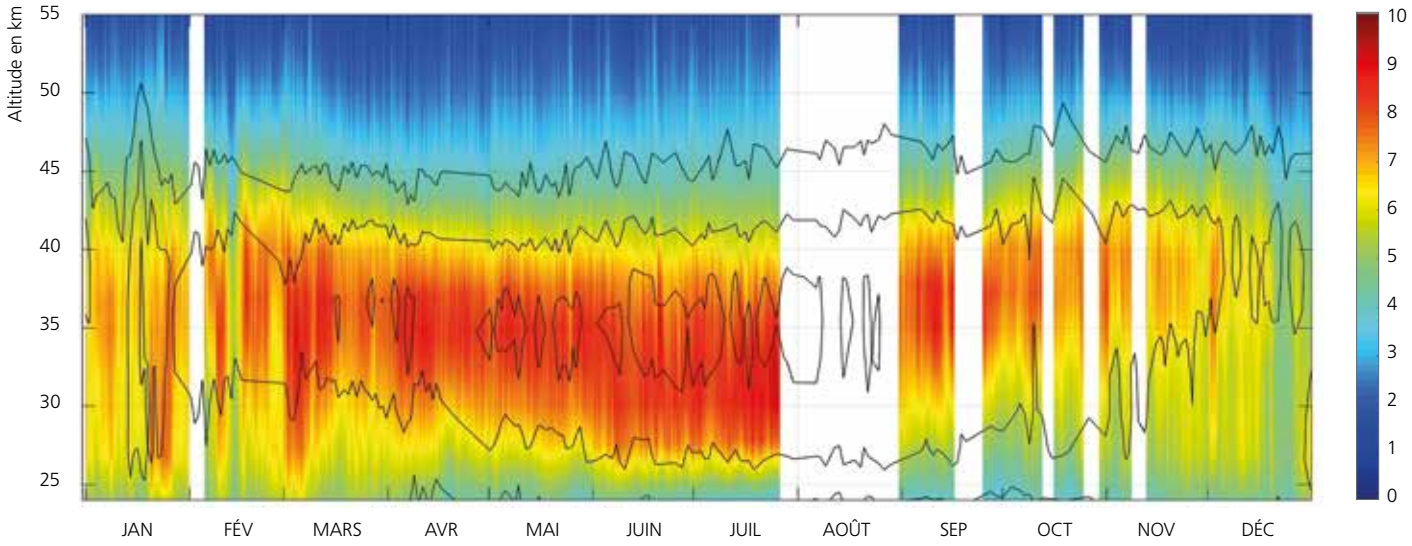


Figure 2.11

Les profils d'ozone mesurés par un radiomètre micro-onde à Payerne en 2018. Le graphique montre la concentration volumique relative (VMR) en parties par million (ppm) d'ozone (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 2018 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 courant 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

Evolution de la concentration d'ozone (pression partielle en nanobars) en 2018 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 d'Arosa (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 limite planétaire, couche basse de l'atmosphère, haute typiquement de 0,5 à quelques km selon la saison.

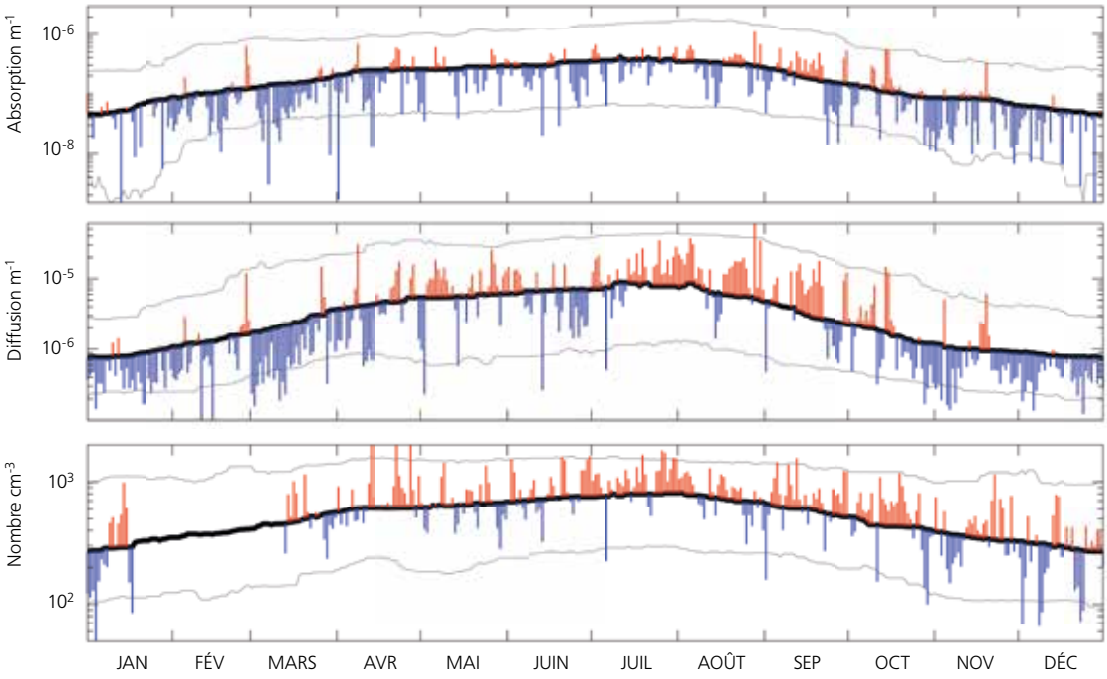
L'été, le réchauffement du sol entraîne une convection thermique qui permet le transport des aérosols à des altitudes plus élevées; le Jungfraujoch est alors davantage dans la zone d'influence de la couche limite planétaire.

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 2018, les températures élevées et le manque de précipitations de l'été et de l'automne ont contribué à augmenter la concentration d'aérosols au Jungfraujoch. Cette augmentation est bien visible sur les mesures de diffusion de la lumière par les aérosols ainsi que sur le nombre de particules.

Figure 2.13

Evolution en 2018 des coefficients d'absorption à 880 nm et de diffusion à 550 nm ainsi que de la concentration en nombre des aérosols au Jungfraujoch. La courbe noire correspond à la climatologie de la période 1995–2017, et les courbes grises aux 5 et 95ème percentiles.



Développement de la végétation

Le développement de la végétation en 2018 a été très précoce au cours de tous les mois, sauf en février et en mars. Les phases particulièrement précoces ont été la floraison du noisetier en janvier, le déploiement des feuilles des arbres en altitude et surtout les phases estivales comme la floraison du sureau noir, ainsi que celle du tilleul à larges et petites feuilles. Cette dernière phase s'est déroulée avec une avance de 9 à 21 jours sur la moyenne de la période 1981–2010. La floraison du tilleul à petites feuilles et les vendanges n'ont jamais été observées aussi tôt que cette année. La maturation des baies du sureau rouge et noir à partir de juillet a également montré de nouveaux records dans de nombreuses stations d'observations. Le stress dû à la sécheresse a entraîné une coloration très précoce des feuilles des arbres à partir de la fin juillet déjà, mais seule une faible proportion des arbres observés a été affectée. En général, la coloration des feuilles a eu lieu à une date nomale.

Printemps

Le début de la floraison des noisetiers a été observé sporadiquement fin décembre puis de plus en plus à partir de début janvier. En moyenne, le début de la floraison a eu lieu le 23 janvier, soit 18 jours plus tôt que la moyenne depuis le début des observations en 1996. Ce n'est qu'en 2016 et 2007 que la floraison des noisetiers a commencé encore plus tôt. Les premiers signalements de floraison générale de noisetiers (observés depuis 1951) sont arrivés le 10 janvier, également avec une forte avance. En janvier, l'avance sur la moyenne 1981–2010 a été de 26 à 39 jours. Dans 11 stations avec des mesures depuis plus de 25 ans, la floraison générale du noisetier n'a jamais eu lieu aussi tôt que cette année. En moyenne sur l'ensemble des stations, la quatrième floraison la plus précoce a pu être observée, après les années 2016, 1994 et 2007.

Après cette floraison très précoce des premiers noisetiers, la végétation s'est à peine développée en février, car les températures sont restées trop basses. En mars, lorsque le pas-d'âne et l'anémone des bois ont fleuri, la végétation a perdu toute son avance et les deux espèces ont fleuri à un moment normal. Comme le mois de mars a également été trop froid, la végétation au début du mois d'avril a continué à se développer à un niveau proche de la moyenne de la période de comparaison. Le printemps n'est vraiment arrivé qu'en avril, qui a été le deuxième le plus chaud depuis le début des mesures, et à une très grande vitesse.

A partir du 10 avril, on a pu observer des pissenlits, des cardamines des prés et, à partir de la mi-avril, des arbres fruitiers en fleurs. Normalement, les poiriers fleurissent en dessous de 1000 mètres environ une semaine après les cerisiers et les pommiers environ 5 jours après les poiriers. Cette année, les dates moyennes de pleine floraison ont été très proches: le 18 avril pour les cerisiers, le 20 avril pour les poiriers et le 24 avril pour les pommiers. L'avance moyenne de la floraison du cerisier a été de 6 jours par rapport à la moyenne 1981–2010, celle des poiriers de 7 jours et celle des pommiers de 9 jours.

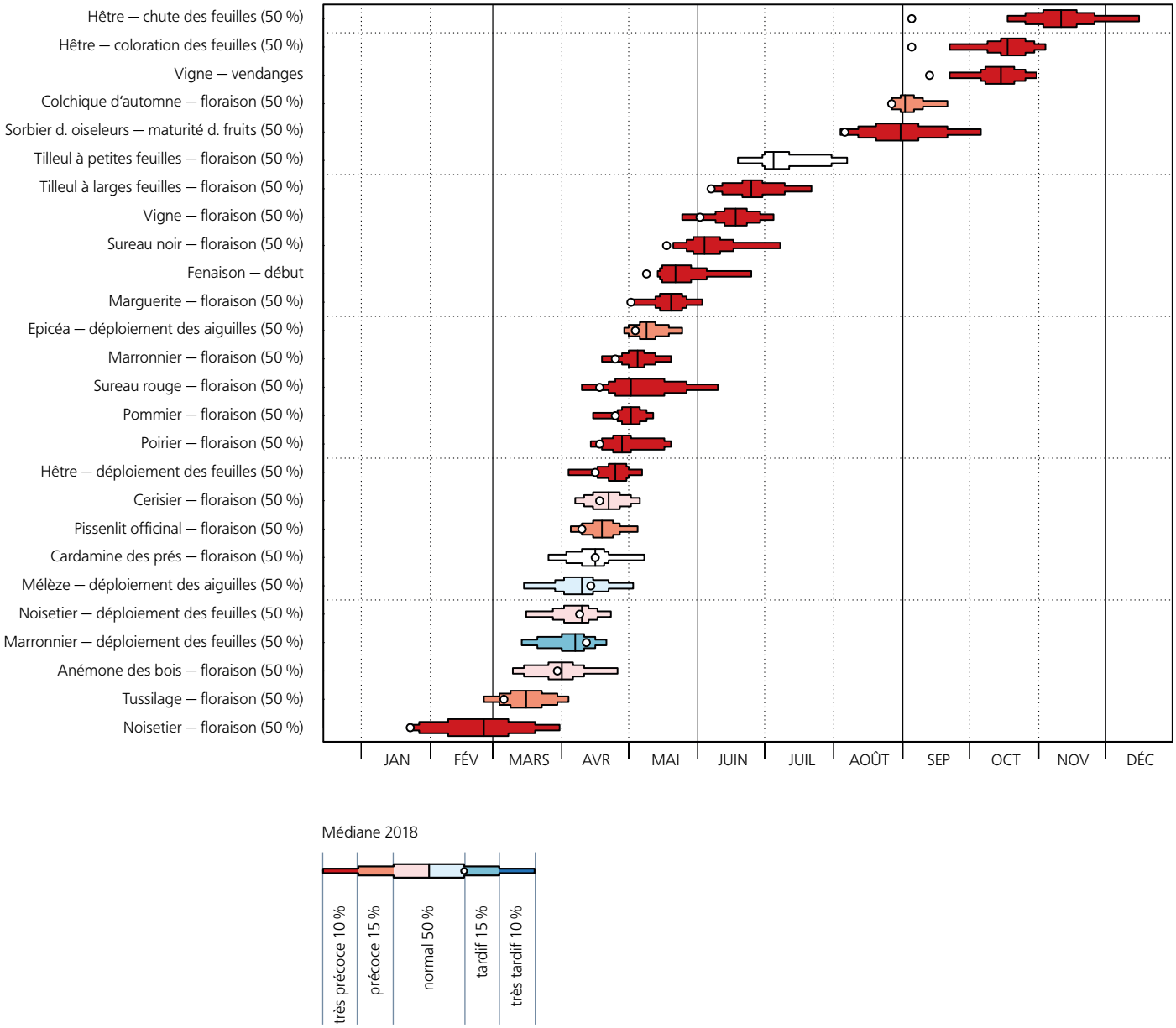
A partir de la mi-avril, les forêts sont devenues très rapidement vertes. Alors qu'en dessous de 600 mètres, le déploiement des feuilles de noisetier, de bouleau, de marronnier, de hêtre, ainsi que celui des aiguilles de mélèze a eu lieu conformément à normale jusqu'à un maximum de 6 jours en avance sur la moyenne, cette phase est devenue de plus en plus prématurée à mesure que l'altitude augmentait. A basse altitude, des hêtres verts ont été observés à partir de la mi-avril. Dès le 21 avril, ils ont été observés à plus de 1000 mètres.

L'avance du déploiement des feuilles du hêtre a été de 6 jours en dessous de 600 mètres, de 10 jours entre 600 et 1000 mètres et de 14 jours au-dessus de 1000 mètres. Ainsi, le gradient d'altitude, c'est-à-dire la progression du développement avec l'augmentation de l'altitude, a été de 1 jour/100 mètres, alors qu'il est normalement de 2,1 jours/100 mètres pour le hêtre.

Cette accélération avec l'augmentation de l'altitude a été visible pour toutes les phases phénologiques en avril. Dans l'ensemble, le déploiement des feuilles du hêtre a été de 5 à 12 jours en avance sur la moyenne de la période 1981–2010, et dans 78 % de toutes les stations, il a été classé «précoce ou «très précoce». Les marronniers ont fleuri à partir du 21 avril et les marguerites à partir de la fin avril. Les deux ont connu une avance moyenne de 6 à 15 jours. Pour ces deux espèces également, la floraison a été classée comme «précoce» ou «très précoce» dans 76–78 % de toutes les stations. Au Tessin, par contre, la végétation a été retardée dans la première moitié du mois d'avril et n'a pas rattrapé son retard avant la fin du mois d'avril. A basse altitude, les arbres fruitiers ont fleuri au-dessous de 800 mètres avec un retard d'une à deux semaines.

Figure 2.14

Calendrier phénologique 2018 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 2018 ou si elle se situe précisément dans la médiane, la période de comparaison reste blanche. L'année actuelle est comparée à la période 1981–2010. 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 2018 (c'est-à-dire pour les quantiles 25 % et 75 %) ou pour la médiane. Certaines phases phénologiques n'ont été observées que depuis 1996. Pour ces phases, l'écart par rapport à l'ensemble de la période 1996–2017 est donné.



Eté

La température en mai et en juillet a été la cinquième la plus élevée, en juin la quatrième la plus élevée depuis le début des mesures. Avec le deuxième mois d'avril le plus chaud depuis le début des mesures, les conditions ont été parfaites pour un développement très rapide de la végétation. Dès le début du mois de mai, on a pu observer la floraison du sureau noir. La période de floraison du sureau a été de 9 à 18 jours en avance sur la moyenne.

Les vignes ont fleuri 8 à 20 jours plus tôt, les tilleuls à larges feuilles 9 à 19 jours et les tilleuls à petites feuilles 9 à 21 jours plus tôt que la moyenne. Pour toutes ces espèces de plantes, 78–83 % de toutes les stations ont signalé une entrée «précoce» ou «très précoce». La floraison du sureau noir a été la troisième la plus précoce après 2007 et 2011, la floraison du tilleul à larges feuilles la deuxième la plus précoce après 2011 et la floraison du tilleul à petites feuilles la plus précoce depuis le début des observations en 1951.

De nouveaux records ont été enregistrés dans plusieurs stations, la plupart pour le tilleul à larges feuilles, où 28 % des stations n'avaient jamais observé une floraison aussi précoce. La maturation des fruits du sorbier des oiseleurs a été observée de juillet à la mi-septembre, avec une avance jusqu'à 27 jours. Il s'agit de la troisième maturation des fruits la plus précoce après 2011 et 2003. 18 % des stations ont observé de nouveaux records. La maturité des fruits du sureau rouge et du sureau noir n'est observée que depuis 1996. Leur avance sur la moyenne pour la période 1996–2017 a été de 6 à 21 jours. 23 %, respectivement 28 % de toutes les stations n'ont jamais signalé une maturation des fruits aussi précoce que cette année. Depuis 1996, les deux phases n'ont jamais eu lieu aussi tôt qu'en 2018.

Automne

Tout le semestre d'été, d'avril à septembre, a été le plus chaud depuis le début des mesures en 1864 et l'été 2018 a été très sec. Ce stress dû à la sécheresse en été a entraîné une coloration prématurée des feuilles ou leur perte dans de nombreux arbres. Les hêtres ont souffert le plus de la sécheresse, surtout dans les endroits où les sols sont pauvres ou perméables. A partir de la fin juillet, on a pu observer un dépérissement précoce des feuilles de hêtre et d'autres feuillus dans différentes régions. Pour le hêtre, 18 % des stations ont signalé une coloration très précoce des feuilles, c'est-à-dire entre juillet et début octobre, avec une avance moyenne de 23 jours.

Cependant, moyennée sur l'ensemble des stations, la coloration des feuilles du hêtre a été assez proche de la moyenne de la période 1981–2010, avec seulement un jour d'avance. La variation des dates sur la coloration des feuilles cette année a été très large, puisqu'on a observé des hêtres avec une coloration des feuilles très précoce mais aussi des hêtres avec une coloration des feuilles tardive ou très tardive dans 30 % des stations. Cela signifie que seule une petite partie des arbres observés dans le réseau phénologique a réagi avec une coloration des feuilles très précoce due à la sécheresse. Certains arbres ont même profité de la persistance de températures élevées et ont conservé les feuilles vertes beaucoup plus longtemps que la moyenne.

Ce même schéma a également été observé pour d'autres arbres tels que les tilleuls, les bouleaux, les marronniers, les sorbiers des oiseleurs et les mélèzes. Contrairement à l'été caniculaire de 2003, il n'y a eu que quelques nouveaux records de coloration précoce des feuilles cette année. Il est intéressant de noter que la plage des données a été un peu plus large durant l'été caniculaire de 2003 qu'en 2018, mais beaucoup plus étroite durant l'été caniculaire de 2015. La chute des feuilles de certains hêtres a également eu lieu en septembre, mais en moyenne le 30 octobre, soit 3 jours seulement plus tôt que la moyenne de la période de comparaison. Les aiguilles de mélèze sont tombées au-dessus de 1000 m d'altitude le 9 novembre et au-dessous de 1000 mètres le 20 novembre. Dans 43 % des stations, cette date peut être classée comme «tardive» ou «très tardive».

Dans 37 stations phénologiques, les vendanges n'ont jamais été observées aussi tôt que cette année depuis le début des observations en 1951. Elles ont eu lieu autour du 18 septembre, soit 25 jours plus tôt que la moyenne. Cette date est 4 jours plus tôt qu'en 2003, la deuxième année la plus précoce.

Saison pollinique

L'intensité de la saison pollinique de nombreux arbres et arbustes a été extrême en 2018. L'intensité de la saison pollinique pour le noisetier, l'aune, le bouleau, le frêne et le chêne a fait l'objet de nombreux nouveaux records. La saison pollinique a commencé très tôt et de fortes concentrations de pollen de noisetier et d'aune ont déjà été mesurées en janvier. La saison des pollens de graminées au Nord des Alpes s'est terminée plus tôt que d'habitude, peut-être en raison de la sécheresse. La saison pollinique 2018 est comparée à la moyenne sur 20 ans 1997–2016.

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.

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

Début de la saison pollinique

Les premiers pollens de noisetier ont été mesurés début janvier. Les charges ont été modérées à partir du 5 janvier à Genève, du 9 janvier à Münsterlingen et Lucerne et jusqu'au 15 janvier dans les autres stations de mesures. Pour le Nord des Alpes, c'est 18 jours plus tôt, pour le Tessin 3 jours plus tôt que la moyenne de la période de comparaison sur 20 ans 1997–2016. Les premiers pollens d'aune ont également été mesurés au début du mois de janvier. Dans la plupart des stations, l'augmentation de la charge à modérée n'a eu lieu qu'entre le 15 et le 24 janvier, soit 16 jours plus tôt qu'en moyenne au Nord des Alpes et 3 jours plus tôt au Tessin. Au cours de la dernière semaine de janvier, de fortes concentrations ont été mesurées.

A Genève et à Lausanne, cette date avec le passage à de fortes concentrations de pollen d'aune a été la plus précoce de toute la période de mesures, à Lucerne la deuxième la plus précoce et dans les autres stations, la troisième ou quatrième la plus précoce. En février et mars, le développement de la végétation a été ralenti par les basses températures, de sorte que les bouleaux et les frênes n'ont commencé à fleurir que tardivement. La saison pollinique du frêne a commencé fin mars, environ 12 jours plus tard au Tessin et 6–12 jours plus tard que la moyenne au Nord des Alpes. Le premier jour avec un fort vol de pollen de bouleau a été enregistré du 5 au 8 avril, ce qui correspond à 7–8 jours de retard au Tessin et 2–6 jours de retard au Nord des Alpes. En avril, la végétation a rapidement rattrapé son retard et la saison des pollens de graminées a commencé 1–3 jours plus tôt que la moyenne en Suisse romande, 3–6 jours plus tôt au Tessin et même 10 jours plus tôt au Nord des Alpes. L'augmentation à de fortes concentrations de pollen de graminées a commencé très rapidement, sous l'effet des températures élevées de la deuxième moitié d'avril et du début du mois de mai.

A Lugano, Buchs SG et Münsterlingen, de fortes concentrations de pollen de graminées ont déjà été mesurées pour la première fois à la fin du mois d'avril, alors que cela a été le cas dans les autres stations de plaine durant la première semaine de mai. Les stations au Nord des Alpes ont enregistré cette augmentation 10 jours plus tôt que la moyenne. A Münsterlingen, il s'agit de l'augmentation la plus précoce jamais mesurée (depuis 1987). La deuxième ou troisième augmentation la plus précoce depuis le début des mesures a également été enregistrée à Berne, La Chaux-de-Fonds, Lucerne, Neuchâtel et Zurich. Au Tessin, cependant, la hausse n'a pas été parmi les plus précoces.

Le début de la saison pollinique de l'armoise et de l'ambroisie ne varie pas beaucoup, car la date est également déterminée par la durée de la journée. Cette année, la saison de l'armoise à Viège a commencé presque une semaine plus tôt que la moyenne.

Durée de la saison pollinique

La saison du pollen du noisetier et de l'aune a duré très longtemps parce qu'un début précoce et une fin tardive (dans certaines stations seulement vers mi-mars à fin mars) ont été constatés. Entre le premier et le dernier jour avec de fortes concentrations polliniques, la saison du pollen du noisetier a duré pendant 53 jours au Nord des Alpes et même 71 jours au Tessin. Ce sont 31 jours de plus que la moyenne de la période de comparaison 1997–2016. Il n'est donc pas surprenant que dans 8 stations, il s'agisse de la plus longue saison de pollen de noisetier depuis le début des mesures. En raison d'un démarrage tardif et d'une très forte floraison simultanée des bouleaux et des frênes, la saison pollinique de ces espèces a été plus courte que la moyenne.

Pour le frêne, la principale saison pollinique s'est concentrée sur près de 3 semaines, pour le bouleau sur 29–42 jours. La saison pollinique du bouleau à Viège et au Tessin a été considérablement plus courte que la moyenne avec respectivement 32–36 jours et 16–22 jours. La raison en est que les bouleaux se sont développés très rapidement dans les montagnes et ont fleuri une à deux semaines plus tôt que la normale. En Valais et au Tessin, il n'y a donc pas eu cette année d'événements de transport de pollen de bouleau en provenance des montagnes, qui se produisent normalement clairement après la floraison dans la vallée et assurent ainsi une longue saison pollinique.

Dans le cas des pollens de graminées, le dernier jour avec de fortes concentrations a été mesuré dans la dernière décade de juin ou début juillet, au Tessin plus tard que la normale et au Nord des Alpes presque deux semaines plus tôt la normale. Les exceptions ont été Buchs SG et Lucerne, où le fort vol de pollen de graminées a duré jusqu'à fin juillet ou même début août. La fin précoce du fort vol de pollen peut être attribuée à la sécheresse. Une fin aussi précoce avait aussi été observée au cours de l'été caniculaire de 2003.

Intensité des pollens

L'année pollinique 2018 a été l'une des plus fortes jamais mesurées pour les arbres et arbustes. Le mois d'avril a été particulièrement intense en pollen, avec des concentrations de pollen très élevées pour plusieurs espèces. La combinaison de longues phases avec des conditions de vol pollinique très favorables (janvier, avril, début mai) et un grand nombre de fleurs a conduit à cette charge pollinique très élevée. Les saisons de pollen de noisetier et d'aune ont déjà été très fortes. Au Tessin, 28–34 jours ont été mesurés avec un fort vol de pollen de noisetier et 26–33 jours avec un fort vol de pollen d'aune. Pour le noisetier, cela a été la saison pollinique la plus forte jamais mesurée à Locarno et à Lugano. Pour l'aune, il s'agit de la saison la plus forte jamais mesurée à Locarno.

Au Nord des Alpes, la saison du pollen de noisetier a également été l'une des plus intenses, tandis que la saison du pollen d'aune a été en moyenne la quatrième la plus intense de la période de comparaison. Pendant la floraison du bouleau en avril, le pollen n'a presque jamais été éliminé de l'air par les précipitations et est resté longtemps dans l'air, ce qui explique pourquoi les concentrations quotidiennes de pollen sont restées très élevées. A Bâle, La Chaux-de-Fonds, Genève, Lausanne, Lausanne, Lucerne et Neuchâtel, le nombre de jours avec de fortes concentrations polliniques de bouleau n'a jamais été aussi élevé que cette année. Un total de 16–24 jours de fortes concentrations a été mesuré, dont 8–16 jours avec de très fortes concentrations. La quantité totale de pollen a été la plus élevée depuis le début des mesures en Suisse romande (à l'exception de Neuchâtel), à Berne, Lucerne et Locarno, la deuxième ou la troisième la plus élevée depuis le début des mesures à Neuchâtel, Lugano et Zurich.

En Suisse septentrionale et orientale, la saison du pollen de bouleau a également été une des années avec une très grande quantité de pollen, mais elle n'a pas atteint un nouveau record. À Viège, l'intensité de la saison du pollen de bouleau a été à peu près dans la moyenne de la période de comparaison. Comme pour le bouleau, le nombre de jours avec de très fortes concentrations polliniques de frêne a été significativement plus élevé que la moyenne. La saison pollinique du frêne en Suisse romande a été la plus forte depuis le début des mesures. A Genève et à La Chaux-de-Fonds, 3220 pollen/m^3 et 1785 pollen/m^3 ont respectivement été enregistrés, soit la concentration quotidienne moyenne de pollen la plus élevée depuis le début des mesures.

En Suisse alémanique et au Tessin, la saison pollinique du frêne a également été plus forte que la normale, mais moins extrême. En avril, des charmes, des hêtres, des chênes et des platanes ont également fleuri. Dans de nombreuses stations de Suisse alémanique, en particulier, le pollen de chêne a atteint des valeurs jamais vues depuis le début des mesures. En Suisse romande et au Tessin, la saison pollinique du chêne a été forte, mais pas extrême. Pour le charme, le hêtre et le platane, la quantité de pollen a été légèrement supérieure à la moyenne. La forte floraison des conifères est restée dans la mémoire. Le pollen est si gros qu'on le voit bien. Fin avril, des nuages de pollen jaune ont été observés à de nombreux endroits au-dessus des forêts. Cependant, le pollen de conifères ne provoque pas d'allergies chez l'homme.

A Berne et à Zurich, la concentration maximale quotidienne de pollen de l'épicéa a été de 700–800 pollen/m^3. Elle a été la plus élevée à Berne et la troisième la plus élevée à Zurich depuis le début des mesures. L'intensité de la saison des pollens de graminées a considérablement varié d'une région à l'autre. De fortes concentrations polliniques ont été enregistrées à Buchs SG et à Lucerne avec respectivement 65 et 54 jours. A Buchs SG, cela a été 26 jours et à Lucerne 21 jours de plus que la moyenne. Dans les deux stations, le vol de pollen de graminées augmente depuis plusieurs années, bien que la raison n'en soit pas encore connue et que la culture joue probablement un rôle.

A Berne également, la saison pollinique des graminées a été plus intense que d'habitude. En revanche, la saison pollinique à Genève et à Neuchâtel a été très faible. A Genève, il y a eu 25 jours avec de fortes concentrations de pollen (10 jours de moins) et à Neuchâtel 15 jours (16 jours de moins que la normale). Dans toutes les autres stations, l'intensité de la saison pollinique a été moyenne, légèrement supérieure à la moyenne en Suisse alémanique et légèrement inférieure à la moyenne en Suisse romande et en Valais.

Au Tessin, la saison des pollens de graminées a été un peu plus forte que la normale, bien que la saison soit généralement beaucoup plus faible qu'au Nord des Alpes. La saison pollinique de l'armoise a été moyenne, avec de fortes concentrations de pollen seulement à Viège. Le vol de pollen d'ambroisie a de nouveau été très faible au Tessin. A Lugano et Locarno, cela a été la saison la plus faible de la période de comparaison. La raison de cette faiblesse persistante de concentrations

polliniques d'ambroisie depuis 2013 provient de la présence d'un coléoptère (Ophraella communa) au nord de l'Italie et au Tessin qui nuit très fortement les plantes d'ambroisie et réduit ainsi le vol du pollen.

En France et en Suisse romande, ce coléoptère n'est pas présent, c'est pourquoi les concentrations de pollen y restent élevées. Dans les stations de mesures de Genève et Lausanne, la quantité totale de pollen d'ambroisie a été dans la moyenne de la période de comparaison sur 20 ans 1996–2015. A Genève, 7 jours avec de fortes concentrations ont été mesurés et 3 jours à Lausanne. A Meyrin, une station supplémentaire pour la surveillance de l'ambroisie, les concentrations de pollen ont été significativement plus élevées que les années précédentes et 12 jours avec de fortes concentrations ont été mesurés. Plusieurs champs couverts de plantes d'ambroisie ont été découverts près du piège à pollen.

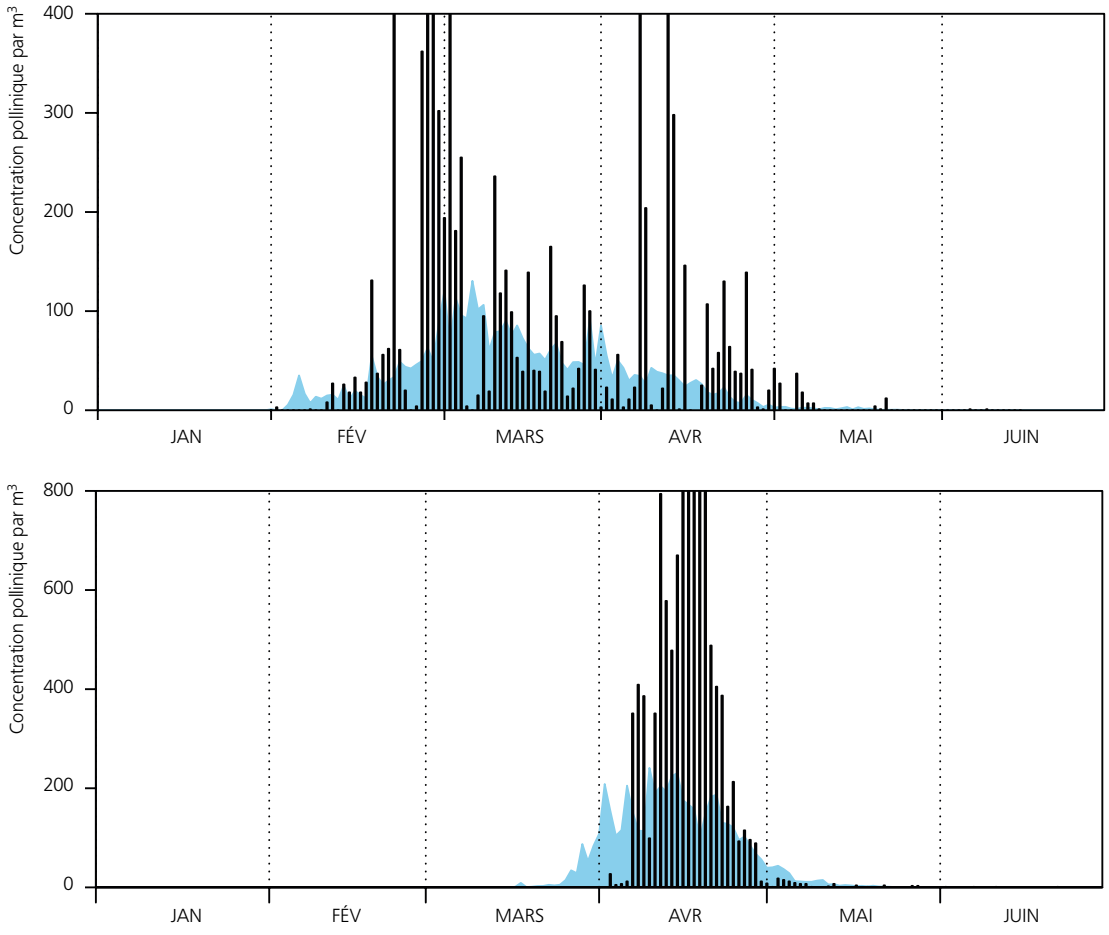


Figure 2.15

Evolution de la saison pollinique en 2018 des noisetiers à Locarno (en haut) et des bouleaux à Lausanne (en bas) en comparaison à la moyenne sur 20 ans 1997–2016 (en bleu). La saison pollinique des noisetiers à Locarno a duré très longtemps et a montré 28 jours avec de fortes concentrations. La saison pollinique des bouleaux à Lausanne a débuté tardivement en avril et il a été comptabilisé 23 journées consécutives avec de fortes ou de très fortes concentrations polliniques.

3| Particularités de l'année 2018

3.1
Année 2018 avec une chaleur record

Avec 6,9 °C, la température annuelle a atteint sa valeur la plus élevée depuis le début des mesures en 1864. L'année météorologique de décembre 2017 à novembre 2018 a également enregistré un nouveau record de chaleur avec une valeur de 6,7 °C. 2018 est la quatrième année de la décennie avec une température bien au-dessus de la moyenne. Avec les années record précédentes de 2015 affichant une température de 6,6 °C, de 2014 avec 6,5 °C et de 2011 avec 6,6 °C, l'année 2018 se distingue nettement de toutes les autres années depuis le début des mesures en 1864.

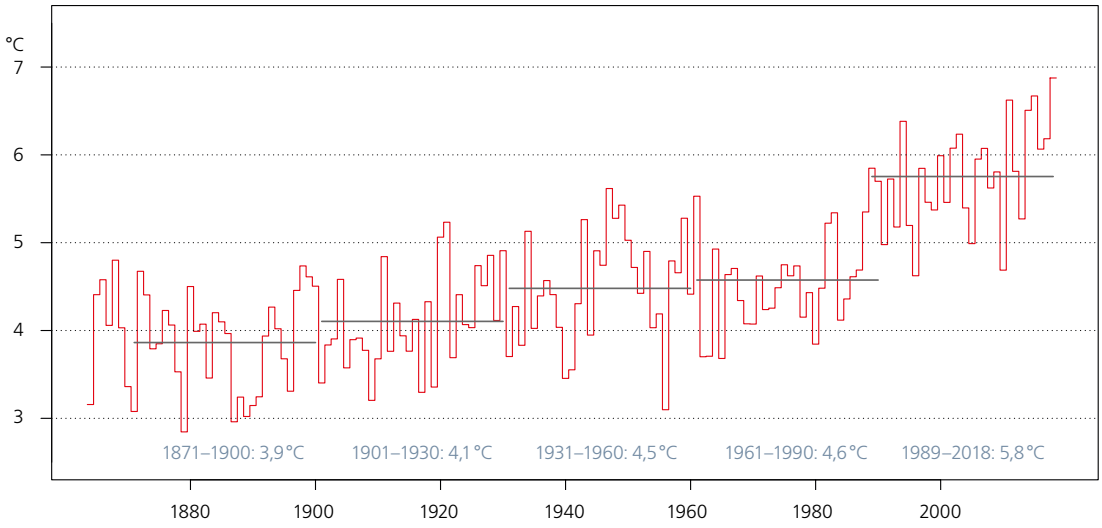


Figure 3.1
Température annuelle moyenne nationale (janvier à décembre) depuis le début des mesures en 1864. L'année 2018 a atteint 6,9 °C. Les lignes grises montrent les périodes climatologiques standards de 30 ans, 1871–1900, 1901–1930, 1931–1960 et 1961–1990, ainsi que la norme de la température des 30 dernières années (1989–2018).

Nouvelle dimension de température

Au cours des 30 dernières années, entre 1989 et 2018, la température annuelle moyenne en Suisse a été de 5,8 °C. Auparavant, une température annuelle de 5,8 °C signifiait quelque chose d'extraordinaire. Au cours de la longue période de mesures allant de 1864 à 1988, même les années les plus extrêmes n'ont jamais atteint cette valeur. De nos jours, ce qui n'était pas atteint auparavant est devenu la norme.

Dans le même temps, les années très fraîches avec une température moyenne d'environ 4 °C ou moins étaient fréquentes. Elles ont disparu du climat actuel de la Suisse. Au cours des 30 dernières années, même lors des années fraîches, la température annuelle à l'échelle du pays ne s'est plus abaissée jusqu'au niveau de la précédente norme 1961–1990.

De la période de référence préindustrielle 1871–1900 à la période climatique 1989–2018, la température annuelle en Suisse a augmenté de 1,9 °C. L'augmentation massive de la norme des températures et la disparition des années vraiment fraîches sont des signes impressionnants du changement climatique en cours.

La chaleur sans fin de l'année 2018

Dix mois de l'année 2018 ont connu des températures supérieures à la moyenne, dont six se situant dans la fourchette extrême. La Suisse a enregistré le mois de janvier le plus doux depuis le début des mesures en 1864, tandis que les mois d'avril à août ont systématiquement été parmi les cinq les plus chauds au moins. La température en décembre a également été supérieure à la norme. Le semestre d'été 2018 d'avril à septembre a enregistré une chaleur record.

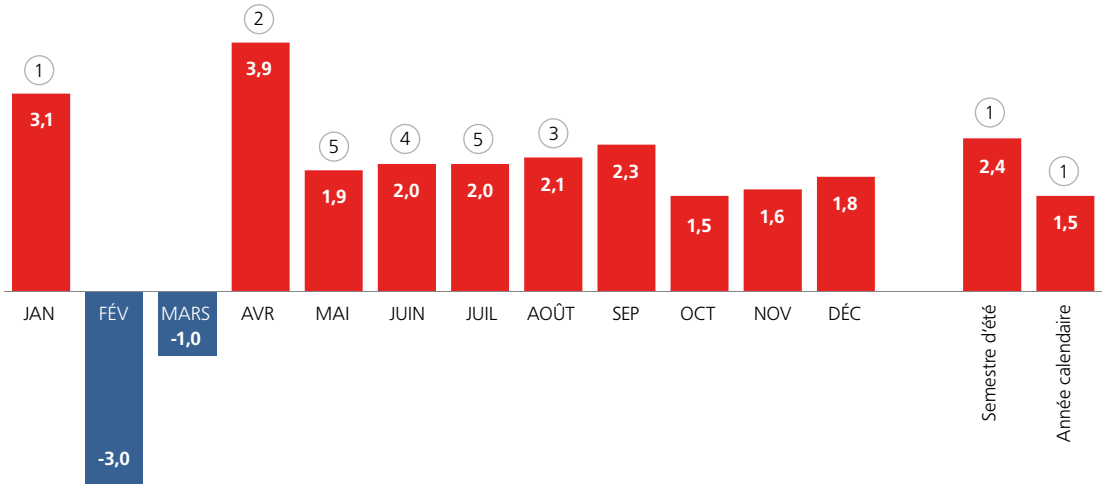


Figure 3.2
L'année 2018 en un coup d'œil: écart à la norme 1981–2010 de la température moyenne nationale (en °C) pour chaque mois, pour le semestre d'été (avril à septembre) et pour l'année calendaire. Les rangs entre 1 et 5 sont indiqués par des chiffres entourés.

3.2
Tempête hivernale Burglind/Eléanor

Du 1er au 5 janvier 2018, un fort courant d'ouest a dirigé de l'air humide et doux de l'Atlantique vers la Suisse. Il a souvent plu à basse altitude, neigé au-dessus de 1000 mètres. En matinée du 3 janvier 2018, entraînée au sein de ce courant d'ouest, la forte tempête Burglind (ou Eléanor pour les Français) a balayé la Suisse. Il s'agit de la plus forte tempête hivernale depuis Lothar en 1999. Burglind a provoqué des vents exceptionnellement forts, notamment dans le Jura et sur les régions de plaine du Nord des Alpes. Le rapport technique de MétéoSuisse n°238 traite en détail de la tempête Burglind [6].

Localement de nouveaux records de vent

Sur le Plateau, les pointes de vent pendant la tempête Burglind ont généralement atteint entre 80 et 125 km/h. Sur quatre sites, des valeurs supérieures à 130 km/h ont été mesurées. La station de mesures de Wädenswil au bord du lac de Zurich a établi un nouveau record étonnant avec 151 km/h. En effet, un tel pic de vent sur le site de mesures de Wädenswil n'est attendu que tous les 100 ans, voire plus rarement encore. Sur les autres sites du Plateau, les rafales de vent mesurées pendant la tempête Burglind sont attendues tous les 20 ans environ ou plus fréquemment. Lors de la tempête du siècle Lothar du 26 décembre 1999, la station de mesures de Wädenswil a enregistré une pointe de vent de 131 km/h. La même vitesse a été mesurée pendant la tempête Wilma du 26 janvier 1995.

Sur les crêtes, le vent a soufflé en pointe entre 150 et 200 km/h au cours de la tempête Burglind. Un nouveau record étonnamment élevé a été mesuré au Pilate avec 195 km/h. Le précédent record du 5 janvier 2012 avait atteint 168 km/h. La série de mesures de vent du Pilate n'est pas adaptée pour les périodes de retour.

Un autre record inhabituellement élevé a été mesuré à Zermatt avec 145 km/h. Ici aussi, on peut s'attendre à ce qu'un tel événement ne se produise que tous les 100 ans ou plus rarement encore.

Lothar et Vivian nettement plus violents que Burglind

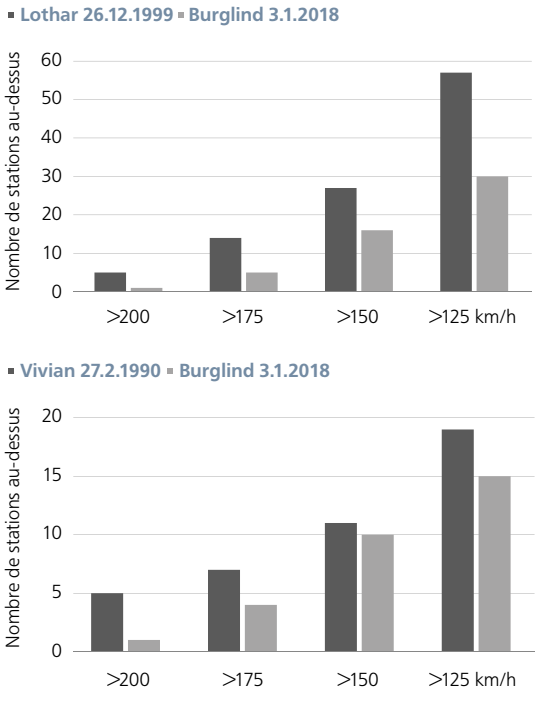
La tempête hivernale Burglind (ou Eléanor) du 3 janvier 2018 n'a pas été une des tempêtes hivernales les plus violentes. Les tempêtes Lothar du 26 décembre 1999 et Vivian du 27 février 1990 ont provoqué des pointes de vent nettement plus élevées dans toute la Suisse.

Pour 89 sites de mesures, les pointes de vents ont atteint des valeurs tempétueuses (≥ 75 km/h) aussi bien pour Lothar que Burglind. Pour Lothar, 57 stations ont mesuré des rafales supérieures à 125 km/h, contre 30 pour Burglind. Des rafales supérieures à 150 km/h ont été mesurées dans 27 stations pour Lothar contre 16 pour Burglind. Des pointes supérieures à 175 km/h ont été enregistrées dans 14 stations pendant Lothar contre 5 pendant Burglind. Des valeurs supérieures à 200 km/h ont été mesurées dans 5 stations pendant Lothar: au Säntis (229,7 km/h), au Hörnli (208,1 km/h), au Jungfraujoch (203,8 km/h), au Gornergrat (203,4 km/h) et La Dôle (201,2 km/h). Pendant la tempête Burglind, seule la station du Gütsch a dépassé cette valeur avec 200,5 km/h.

Au cours de la tempête hivernale Vivian du 27 février 1990, le réseau de mesures du vent en Suisse était moins dense. Seules 53 stations ont mesuré des valeurs tempétueuses (≥75 km/h) aussi bien pour Vivian que pour Burglind. Particulièrement dans les régions montagneuses, où Vivian a fait rage, il y avait peu de stations de mesures par rapport à aujourd'hui. Ceci influence l'analyse du nombre de stations de mesures avec des vitesses de vent élevées. Néanmoins, on peut voir que Vivian a apporté des vitesses de vent élevées sur un plus grand nombre de sites de mesures que Burglind. Ceci correspond avec les dégâts forestiers importants que Vivian a engendrés en montagne.

Figure 3.3

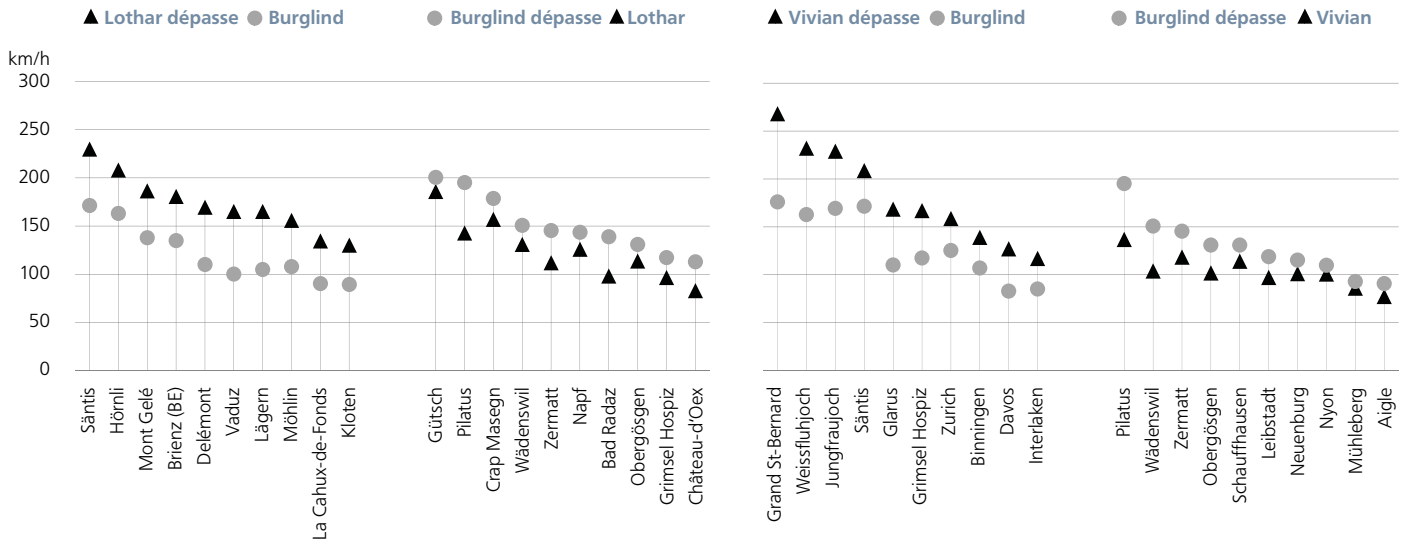
Lothar et Vivian, en comparaison avec Burglind, ont atteint des rafales de vent très élevées dans davantage de stations de mesures.



Les pointes de vent pendant Lothar et Vivian ont été significativement plus élevées sur de nombreux sites de mesures que pendant Burglind. Les dix plus grandes différences se situent généralement entre 30 et 70 km/h, comme le montre le graphique suivant. Au Grand-Saint-Bernard, Vivian a même soufflé plus de 90 km/h plus violemment que pendant Burglind. Burglind a surpassé Lothar et Vivian à certains endroits également. Les dix plus grandes différences, cependant, se situent le plus souvent entre 10 et 40 km/h. Seuls le Pilate a connu des rafales 50 à 60 km/h plus fortes que pendant Lothar et Vivian, et Wädenswil avec des valeurs de près de 50 km/h plus fortes que pendant Vivian.

Figure 3.4

Les 10 stations ayant enregistré les plus grands écarts en matière de rafales de vent entre Lothar et Burglind/Eléanor à gauche) et Vivian et Burglind/Eléanor (à droite). Lothar et Vivian sont représentés par un triangle noir, Burglind/Eléanor par un cercle gris.



Lothar et Vivian plus rares que Burglind

On peut s'attendre à ce que les rafales de vent enregistrées pendant Burglind se produisent dans la plupart des sites de mesures où l'on dispose de statistiques sur les valeurs extrêmes environ tous les 10 ans ou plus. Des rafales de vent avec des périodes de récurrence plus élevées n'ont eu lieu que de façon sporadique.

Pendant Lothar, 24 sites ont mesuré des rafales de vent avec des périodes de retour de 20 ans ou plus. En outre, la force de la tempête Lothar ne peut être attendue que tous les 50 ans ou plus rarement encore dans certaines régions. Vivian a livré des pointes de vent avec des périodes de retour de 20 ans ou plus sur 17 sites de mesures. Régionalement, Vivian a aussi été un événement ne se produisant que tous les 50 ans ou plus rarement encore.

3.3
Eté caniculaire

Comme sur une grande partie de l'Europe, la Suisse a connu des températures élevées à très élevés à partir d'avril. Le semestre d'été d'avril à septembre a été le plus chaud depuis le début des mesures avec une moyenne nationale de 12,8 °C. Entre fin juillet et début août, le Nord des Alpes a été affecté par une canicule de 10 jours et le Sud des Alpes par une canicule de 18 jours avec une température journalière maximale supérieure à 30 °C. Un aperçu climatologique de la chaleur et la sécheresse pendant le semestre d'été se trouve dans le rapport technique de MétéoSuisse n°272 [7].

Dix jours de canicule au Nord

Au Nord des Alpes, une forte chaleur estivale s'est installée depuis le 30 juillet avec des valeurs maximales quotidiennement supérieures à 30 °C. La vague de chaleur de 10 jours a provoqué une température maximale moyenne de 32 à 34 °C sur les régions de plaine du Nord des Alpes. Régionalement, il s'agit de la troisième ou quatrième vague de chaleur sur 10 jours la plus intense depuis le début des mesures, comme à Bâle, Zurich et Lucerne. La dernière fois qu'il avait fait encore plus chaud pendant 10 jours sur ces sites de mesures était lors de l'été caniculaire 2003 avec des valeurs record de 34 à 37 °C.

A Genève, la température maximale la plus élevée moyennée sur 10 jours a atteint 33,1 °C. Il s'agit de la sixième valeur la plus élevée depuis le début des mesures en 1864. Pendant l'été 2015, la valeur avait été la deuxième la plus élevée avec 34,5 °C. La chaleur record sur 10 jours pendant l'été 2003 avait atteint une valeur de 36,5 °C.

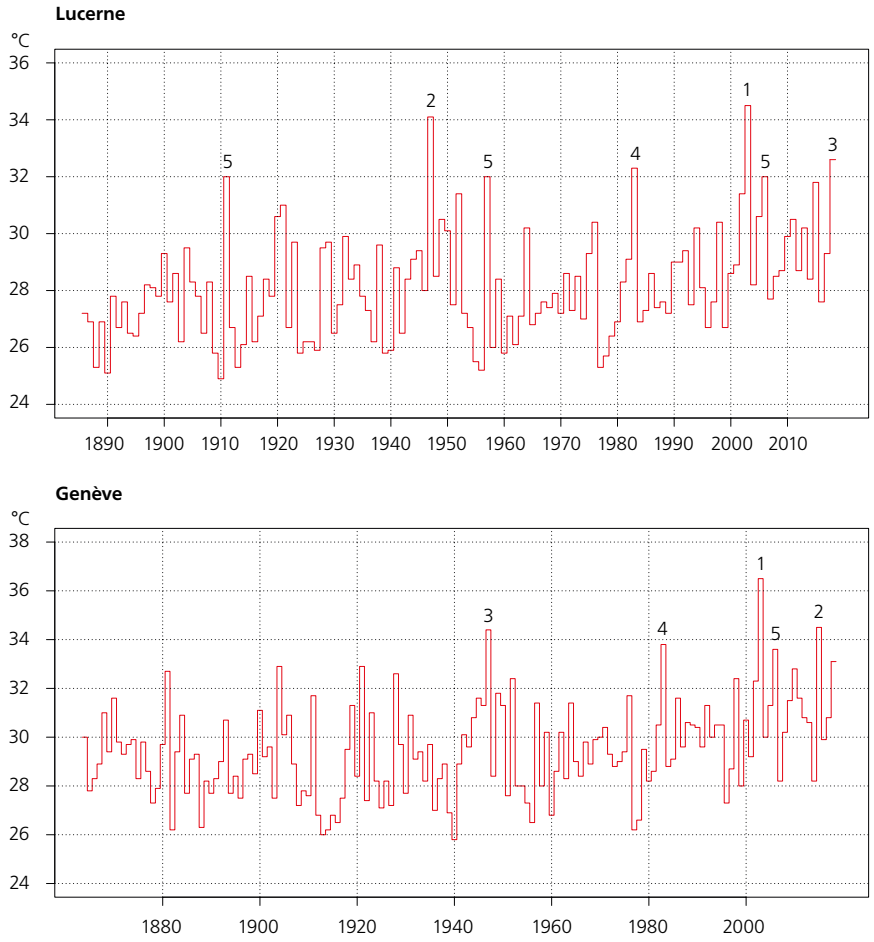


Figure 3.5
Périodes chaudes sur 10 jours les plus intenses par année depuis le début des mesures à Lucerne et à Genève. Les chiffres 1 à 5 indiquent les cinq périodes de chaleur les plus intenses sur 10 jours.

Sud des Alpes avec un stress thermique prolongé

Au Sud des Alpes, la température journalière maximale a régulièrement dépassé les 30 °C localement à partir du 22 juillet déjà. La période caniculaire a duré 18 jours. Locarno-Monti a enregistré la troisième période de chaleur la plus intense sur 18 jours depuis le début des mesures en 1935. La température maximale moyenne pendant cette phase a été de 32,6 °C. C'est comparable à la période de chaleur la plus intense sur 18 jours de l'été 2003 (32,8 °C). La période de chaleur la plus intense sur 18 jours jusqu'à présent s'est produite durant l'été 2015, mais elle n'a été que légèrement plus chaude avec 33,1 °C.

A Lugano, la vague de chaleur la plus intense sur 18 jours a atteint 30,7 °C, ce qui correspond au sixième rang depuis le début des mesures en 1864. En comparaison, la période de chaleur la plus intense sur 18 jours avait connu une température de 31,7 °C en été 2015 (3ème rang) et de plus de 32 °C en été 2003 (1er rang).

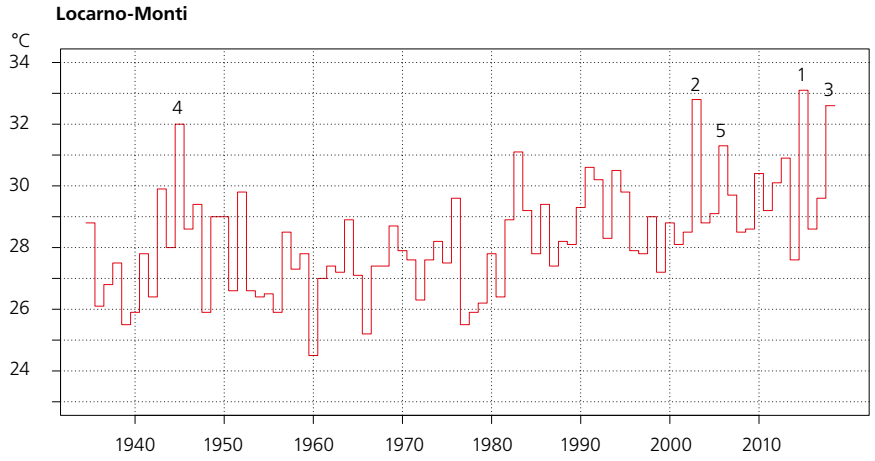


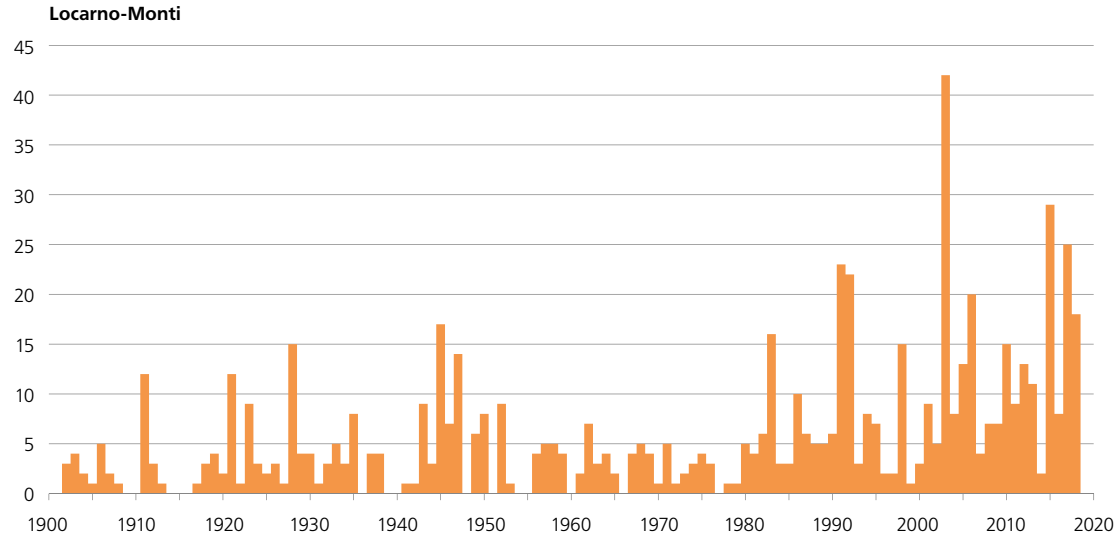
Figure 3.6
Périodes chaudes sur 18 jours les plus intenses par année depuis le début des mesures à Locarno-Monti. Les chiffres 1 à 5 indiquent les cinq périodes de chaleur les plus intenses sur 18 jours.

Le changement climatique apporte plus de nuits pénibles

L'augmentation des phases de chaleur a également un effet sur le bien-être. Depuis les années 1990, on observe une accumulation notable de nuits dites tropicales, en particulier au Sud des Alpes. En plus de l'augmentation des températures estivales, il s'agit là d'un signal impressionnant du changement climatique.

Pendant une nuit tropicale, la température ne descend pas en dessous de 20 °C. Dans de telles conditions, de nombreuses personnes ne dorment pas bien et récupèrent moins bien. La chaleur devient également un fardeau la nuit. L'été 2018 a apporté 18 nuits tropicales à Locarno-Monti. Le centre-ville de Zurich a enregistré un total de 15 nuits tropicales au cours de l'été 2018. Dans les années extrêmes 2003 et 2015, il y a eu respectivement 26 et 27 nuits tropicales (données pour le centre-ville de Zurich: réseau de mesures NABEL).

Figure 3.7
Nombre annuel de nuits tropicales sur le site de mesures de Locarno-Monti (1901–2018). Au cours d'une nuit tropicale, la température ne descend pas en dessous de 20 °C.



Les vagues de chaleur deviennent plus fréquentes

Les vagues de chaleur intense d'une semaine sont devenues plus fréquentes au cours des dernières décennies. Dans les régions qui ont été touchées à maintes reprises, comme la Suisse romande, elles se produisent maintenant à des intervalles de plus en plus courts. Les régions qui, par le passé, n'ont pratiquement jamais connu de telles vagues de chaleur doivent dorénavant s'y attendre plus ou moins régulièrement.

Selon les derniers scénarios climatiques, l'augmentation du réchauffement estival se poursuivra. Si les émissions de gaz à effet de serre continuent d'augmenter, la température en saison chaude au milieu du 21ème siècle pourra être jusqu'à 4,5 °C plus élevée qu'aujourd'hui. Les températures maximales augmentent encore plus fortement que les températures moyennes saisonnières. Les jours d'été les plus chauds en 2060 pourront être jusqu'à 5,5 °C plus chauds qu'aujourd'hui dans un été moyen. Les étés caniculaires comme celui de 2003 deviendront la norme [8].

Sans une protection efficace du climat, le nombre de jours tropicaux à Genève passera de 15 aujourd'hui à 30–40 d'ici 2060, et à Bâle de 11 aujourd'hui à 20–28 jours. Lugano, au Sud des Alpes, enregistre aujourd'hui en moyenne un peu moins de 10 jours tropicaux par an. En 2060, Lugano aura aussi 20–30 jours tropicaux [8].

3.4
Manque extrême de précipitations au cours du semestre d'été

La Suisse orientale entre le Walensee, le lac de Constance et le Nord et le Centre des Grisons a vécu en 2018 les plus faibles précipitations du semestre d'été depuis le début des mesures en 1864, avec une moyenne de seulement 57 % des précipitations normales au cours des six mois d'avril à septembre. Il a manqué l'équivalent de 3 mois de pluie en été. Toutes les autres périodes de sécheresse du semestre d'été avaient au moins fourni plus de 60 % de la norme pour cette région.

Localement, le record de manque de précipitations a été encore plus prononcé. Sur les sites de mesures de Weesen, Altstätten, Klosters et Tschiertschen, tous disposant d'une série de mesures centenaire, le semestre d'été n'a apporté que l'équivalent de 40 à 50 % de la norme 1981–2010.

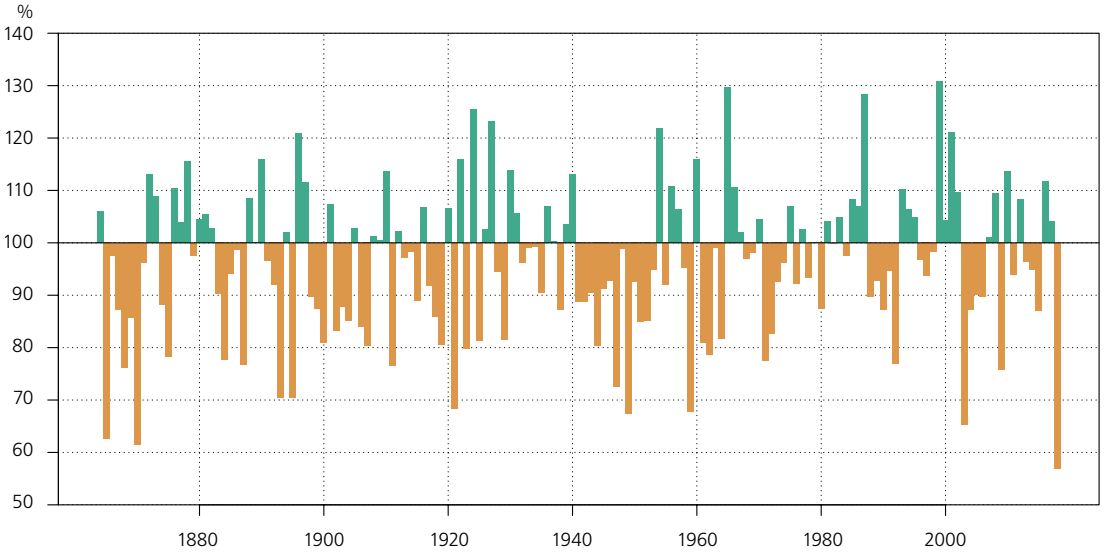


Figure 3.8
Evolution de la somme des précipitations d'avril à septembre moyennée pour la Suisse orientale, entre le Walensee, le lac de Constance et le Nord et le Centre des Grisons. L'écart à la norme 1981–2010 est représenté (en %). Une saison plus humide apparaît en vert, une saison plus sèche apparaît en brun.

Manque de précipitations à l'échelle nationale

L'absence massive de précipitations au cours du semestre d'été 2018 a touché l'ensemble de la Suisse. En moyenne nationale, les précipitations n'ont représenté que 69 % de la norme 1981–2010. Le semestre d'été le plus sec au niveau national a été celui de 1962 avec l'équivalent de 67 % de la norme. En moyenne nationale, le semestre d'été 2018 figure parmi les dix semestres d'été les plus secs depuis le début des mesures en 1864 [7].

Pas de tendance à la diminution des précipitations

Le manque de pluie au cours du semestre d'été 2018 ne s'inscrit pas dans une tendance climatique en cours. Le semestre d'été, d'avril à septembre, ne montre pas, dans l'évolution à long terme, de tendance à la baisse ou à la hausse des précipitations moyennes aussi bien au Nord qu'au Sud des Alpes. Le régime des précipitations estivales est donc très stable depuis le début des mesures en termes de sommes pluviométriques, mais présente une forte variabilité d'une année à une autre.

Le changement climatique entraîne plus d'évaporation

Même sans modifier les précipitations moyennes, la quantité d'eau disponible a diminué. La température estivale, qui a nettement augmenté depuis les années 1990, a renforcé l'évaporation. Par conséquent, on peut s'attendre à une sécheresse estivale plus fréquente aujourd'hui que par le passé. Avec le réchauffement estival prévu, la sécheresse estivale deviendra de plus en plus aiguë au cours des prochaines décennies, même si les sommes pluviométriques estivales ne changent pas. Celles-ci diminueront à partir des années 2060 et renforceront davantage la sécheresse estivale.

Etés devenant subtropicaux en Suisse

La diminution des précipitations estivales est liée au développement à grande échelle en Europe. Au fur et à mesure que le changement climatique progresse, les modèles climatiques montrent une tendance à l'augmentation des précipitations en Europe du Nord et à la diminution des précipitations en Europe du Sud. Ce schéma change avec les saisons. En été, la Suisse est sous l'influence de la baisse des précipitations dans la région méditerranéenne. Cette diminution des précipitations peut à son tour s'expliquer par un changement à grande échelle de la circulation méridionale, des tropiques vers les zones subtropicales. La zone subtropicale se déplacera plus au nord, vers l'Europe du Sud et l'Europe centrale.

4| Climat global et événements météorologiques

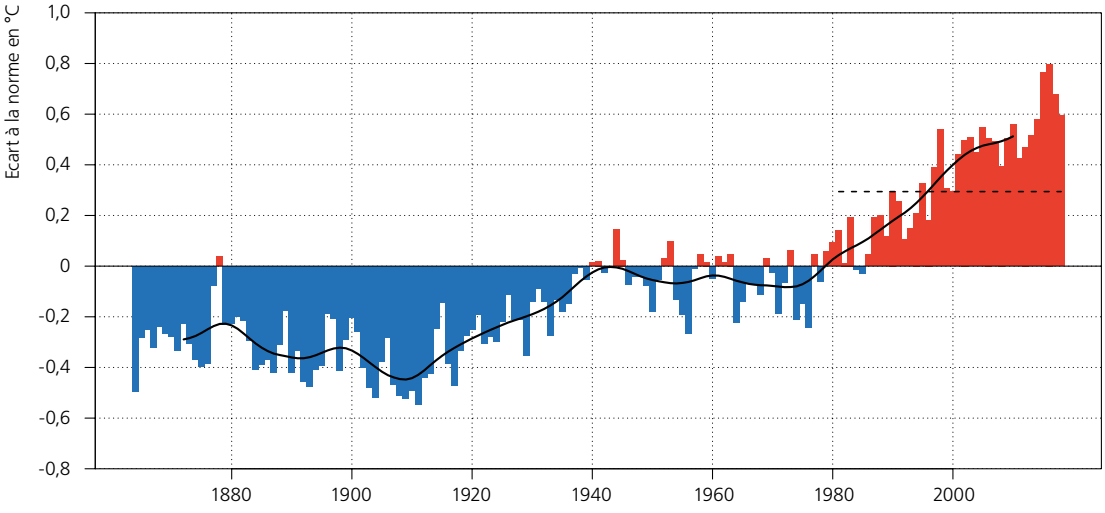
L'année 2018 forme, avec les années précédentes de 2014 à 2017, le quintette des cinq années les plus chauds en moyennes mondiale depuis le début des relevés vers 1850. Elle figure au quatrième rang des années les plus chaudes. Comme en 2017, il n'y a pas eu un événement El Niño classique en 2018. L'excédent de température par rapport à la norme 1961–1990 s'est élevé à 0,6 °C. La situation décrite ci-dessous se fonde principalement sur la Déclaration annuelle de l'Organisation météorologique mondiale (OMM) sur l'état du climat mondial et sur le rapport climatique global de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) [10].

4.1 Plus chaud que la normale dans de nombreuses régions

Selon le jeu des données globales anglaises (University of East Anglia), avec une température dépassant la norme 1961–1990 de 0,6 °C, 2018 est la sixième année consécutive avec une température dépassant la normale de plus de 0,5 °C. 2018 est la quatrième année la plus chaude depuis le début des mesures en 1850. Par rapport à la norme 1981–2010, l'excédent thermique a été de 0,3 °C, identique au réchauffement déjà observé entre les deux périodes standard 1961–1990 et 1981–2010 (Figure 4.1). Les années depuis 2014 ont été les plus chaudes de toutes.

Une température moyenne annuelle élevée a été enregistrée sur presque tous les continents en 2018. Une grande partie du Canada, du sud de la Russie et de l'Ukraine ont fait exception. Des températures annuelles légèrement inférieures ou conformes à la normale ont également été enregistrées au-dessus des océans sur les côtes occidentales de l'Amérique du Sud, de l'Afrique et de l'Océanie. Il a fait extrêmement chaud, avec un excès d'environ 2 °C par rapport à la moyenne de la période 1981–2010, en Europe centrale, dans les pays au sud de la mer Noire, en Alaska et en Sibérie. Dans l'ouest des États-Unis, en Afrique du Nord, dans les États du Golfe, en Chine et en Australie, des anomalies supérieures à 1 °C par rapport à la moyenne 1981–2010 ont été enregistrées.

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 1981–2010.



Données: University of East Anglia, 2019 [11], nouveau record HadCRUT4.6.0.0.

Le Tableau 4.1 indique les tendances de la température annuelle mondiale. La modification totale de la température globale (terres émergées et océans) de 1864 à 2018 s'élève à +0,88 °C. La température moyenne globale se situe aux alentours de 14 °C. Pour la période 1961–2018, la plus forte tendance au réchauffement est de 0,15 °C/100 ans. Ce taux est presque deux fois plus élevé que celui de la période 1901–2018. Le schéma de l'évolution à long terme de la température globale, avec une accumulation d'années très chaudes récemment, se retrouve aussi dans la série de températures en Suisse (Figure 5.1). Le changement de température en Suisse est donc cohérent par rapport aux autres continents.

Tableau 4.1

Tendances de la température annuelle globale au cours des périodes 1864–2018, 1900–2018 et 1961–2018, calculée pour les terres émergées et les océans globalement.

Période	°C/10 ans	°C/100 ans
1864–2018	+0,06	+0,57
1901–2018	+0,08	+0,81
1961–2018	+0,15	

Données de base: University of East Anglia, 2019 [11], nouveau record CRUTEM4.6.0.0.

4.2
El Niño et La Niña

Comme en 2017, 2018 a été une année très chaude malgré l'absence de conditions El Niño classiques. Des épisodes El Niño et La Niña alternent avec une périodicité moyenne de quatre à sept 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 El Niño sont souvent plus chaudes à l'échelle mondiale et les années La Niña ont tendance à être plus fraîches.

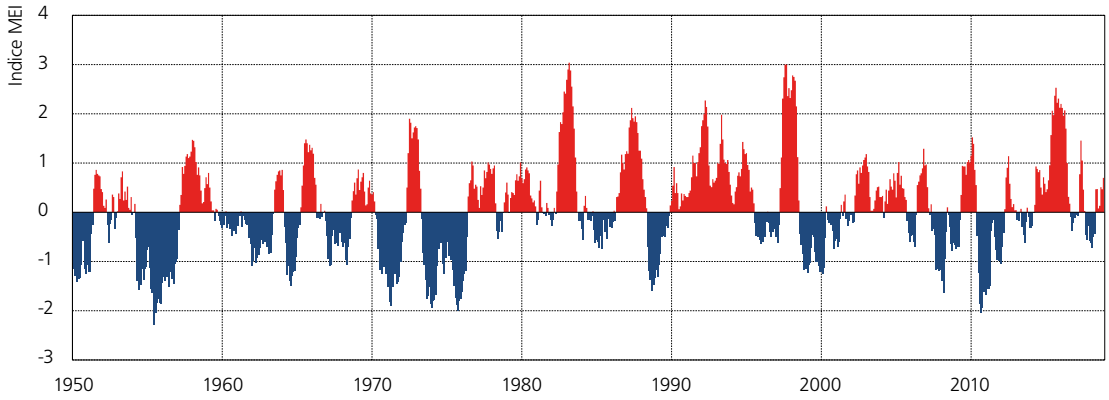


Figure 4.2

Indice multivarié d'El Niño Southern Oscillation (MEI) 1950–2018. 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
Evénements particuliers

Ce n'est pas seulement en Suisse que l'année 2018 a été la plus chaude depuis le début des mesures. Une chaleur annuelle moyenne record a également été enregistrée dans d'autres pays européens, comme en France et en Allemagne. Les Pays-Bas et le Danemark ont enregistré la deuxième année la plus chaude depuis le début des relevés. La Grande-Bretagne a connu l'année la plus ensoleillée depuis le début des mesures.

À certains endroits, de nouveaux records de chaleur ont été établis en 2018. A Ouargla, en Algérie, le thermomètre a atteint 51,3 °C le 5 juillet. De nouveaux records mensuels ont été établis en mars 2018 en Irak, aux Emirats Arabes Unis, au Qatar, au Turkménistan, au Pakistan, en Ouzbékistan et au Tadjikistan. La température maximale moyenne au Pakistan en mars a même atteint 45,5 °C, un nouveau record asiatique pour ce mois.

Bien que la Californie ait connu, pendant des semaines, les incendies de forêt les plus graves de son histoire, 2018 a été une année très pluvieuse pour les États-Unis. Seulement deux années dans le passé ont été encore plus humides (1973 et 1983). A Hawaii, il a plu 1262 mm en une journée, ce qui est un nouveau record pour les Etats-Unis. Cela correspond à la quantité de précipitations sur le Plateau suisse sur une année entière environ. Des précipitations extrêmes ont également été enregistrées en 2018 au Brésil, en Iran, au Maroc, en Tunisie et au Nigeria. Des chutes de neige exceptionnelles ont été enregistrées en Russie et en Pologne, et même en Algérie au cours d'une phase froide dans les montagnes de l'Atlas. L'Inde, l'Indonésie et l'Afrique occidentale ont connu des inondations en 2018.

Divers ouragans et typhons ont causé des dégâts importants. Les ouragans Michael (du 7 au 12 octobre, vitesse maximale du vent de 250 km/h) et Florence (du 31 août au 17 septembre, vitesse maximale du vent de 220 km/h) ont été parmi les plus intenses de ces dernières années en termes de force du vent et de précipitations lors de leur impact sur les terres. Le typhon Yutu (du 21 octobre au 2 novembre) a même atteint une vitesse maximale de vent de 285 km/h et est considéré comme le typhon le plus violent à avoir frappé les îles Mariannes.

4.4
Glaces marines arctiques et antarctiques

Selon l'OMM, l'étendue de la banquise arctique en 2018 a été bien inférieure à la moyenne de la période 1981–2010 et a même atteint un record minimal au cours des deux premiers mois de l'année. La superficie maximale de la banquise arctique s'est produite à la mi-mars avec 14,48 millions de km^2, soit environ 7 % de moins que la norme. Il s'agit de la troisième étendue la plus faible depuis le début des mesures satellite en 1979. Le minimum estival a été atteint en septembre avec 5,45 millions de km^2, ce qui correspond à un déficit de 28 % par rapport à la norme.

La banquise antarctique a également été nettement inférieure à la moyenne. Le maximum annuel a été atteint fin septembre avec 17,82 millions de km^2, soit 4 % de moins que la normale. La superficie annuelle minimale de 2,28 millions de km^2 a correspondu à un déficit de 33 % par rapport à la norme.

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 structurée 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 de mesures classiques de 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 $P > 95$ 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. des jours consécutifs sans précipitations (OMM)	Nombre maximum de jours consécutifs dans l'année civile où les précipitations journalières sont inférieures à $P < 1$ mm	Période ininterrompue de jours consécutifs sans précipitations (moins de 1 mm de précipitations).
Indice de sécheresse	SPEI (standardized precipitation evapotranspiration index); Ecart par rapport au bilan hydrique moyen (différence entre les précipitations et l'évaporation potentielle)	La valeur indicielle d'un mois déterminé indique le déficit d'eau accumulé/l'excédent d'eau accumulé au cours de la période qui précède par rapport à la norme.
Somme de neige fraîche	Somme de neige fraîche des mois d'octobre à mars (semestre d'hiver)	Les quantités de neige et les chutes de neige fraîche dépendent – dans un rapport complexe – de la température et des précipitations. Elles réagissent donc de manière très sensible aux changements climatiques à long terme [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 annuelles (nombre de jours de gel par an par exemple), étant entendu que l'on se réfère toujours à l'année civile (du 1 janvier au 31 décembre).

Sur le site internet de MétéoSuisse, vous trouverez des informations complémentaires sur les indicateurs climatiques:

www.meteosuisse.admin.ch/home/climat/le-climat-suisse-en-detail/indicateurs-de-climat.html

Température

Avec un écart de 2,3 °C par rapport à la norme 1961–1990, 2018 est l'année la plus chaude en moyenne nationale depuis le début des mesures en 1864. Toutes les températures moyennes saisonnières ont été supérieures à la norme 1961–1990.

Après un hiver 2017/18 que légèrement supérieur à la moyenne, la Suisse a enregistré le quatrième printemps le plus chaud depuis le début des relevés (+2,7 °C par rapport à la moyenne 1961–1990), même si seul avril a été extrêmement ensoleillé et sec. Depuis 1988, c'est-à-dire depuis exactement 30 ans, il n'y a pas eu de température printanière inférieure à la norme 1961–1990.

Le quatrième printemps le plus chaud a été suivi du troisième été le plus chaud en moyenne suisse et du troisième automne le plus chaud depuis le début des mesures. Les mois de juin, juillet et août ont atteint un écart saisonnier de température de +3,2 °C par rapport à la norme 1961–1990, ce qui signifie que seuls les étés caniculaires de 2003 (+4,8 °C) et de 2015 (+3,5 °C) ont encore été plus chauds. La température en automne a été de 2,2 °C supérieure à la norme de 1961–1990 (Figure 5.2). Cela signifie que 2018 a été le semestre d'été (avril à septembre) le plus chaud depuis le début des mesures en 1864, avec un écart de +3,4 °C.

Pour l'ensemble de la Suisse, la tendance à long terme de la température annuelle se situe à +1,3 °C/100 ans, ce qui correspond à un changement total de +2,1 °C (1864 à 2018). Le Tableau 5.3 donne une vue d'ensemble des tendances en matière de température.

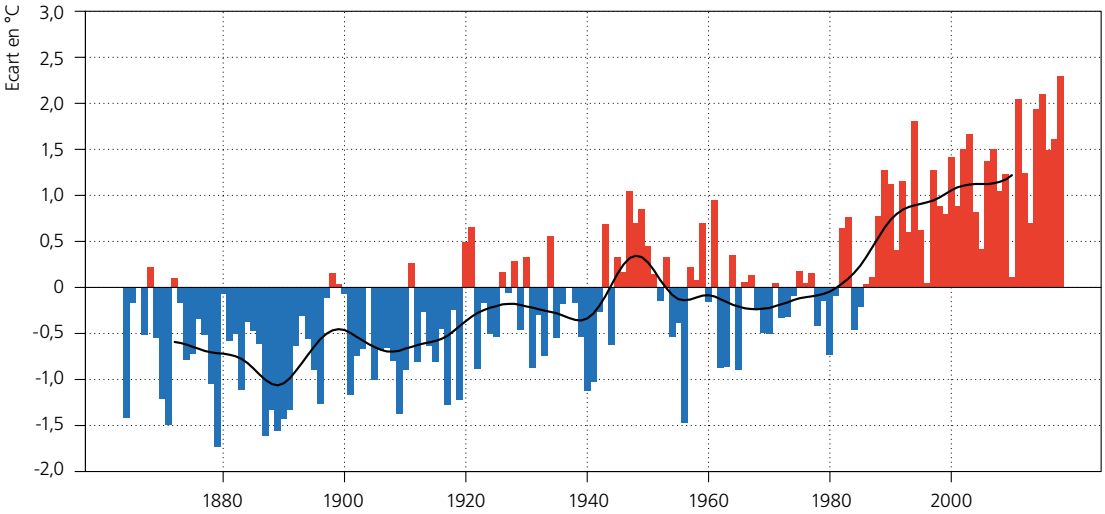


Figure 5.1
Evolution à long terme de la température annuelle moyenne pour l'ensemble de la Suisse. Le graphique indique l'écart annuel de la température à la norme 1961–1990 (rouge = écarts positifs, bleu = écarts négatifs). La courbe noire indique la moyenne pondérée sur 20 ans. 12 séries de mesures homogènes de la Suisse servent de base de données.

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.

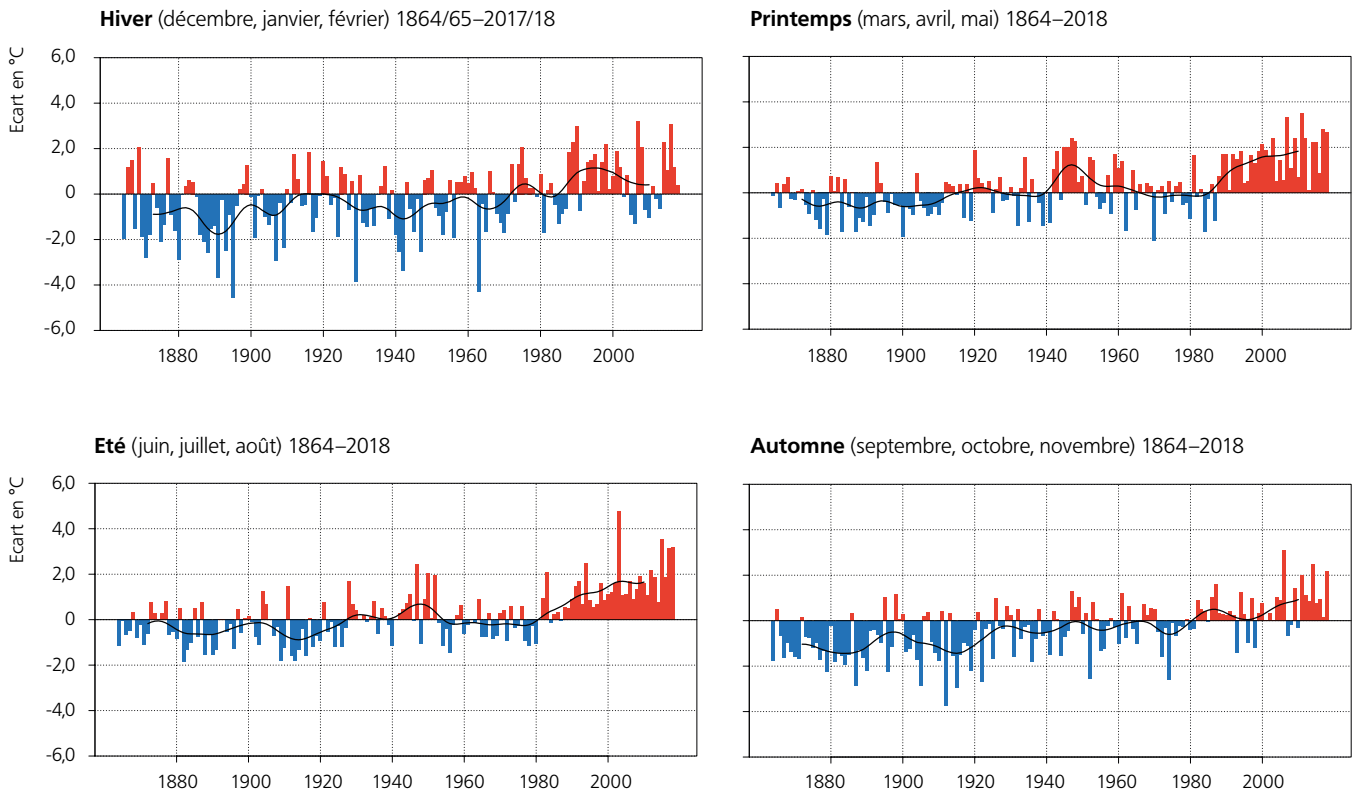


Tableau 5.3

Tendances des températures saisonnières et annuelles en °C par tranches de 10 ans au cours des périodes 1864–2018, 1901–2018 et 1961–2018, (valeurs moyennes pour toute la Suisse). Les données de signification sont expliquées dans la section température sous 5.3 origine des données et méthodes.

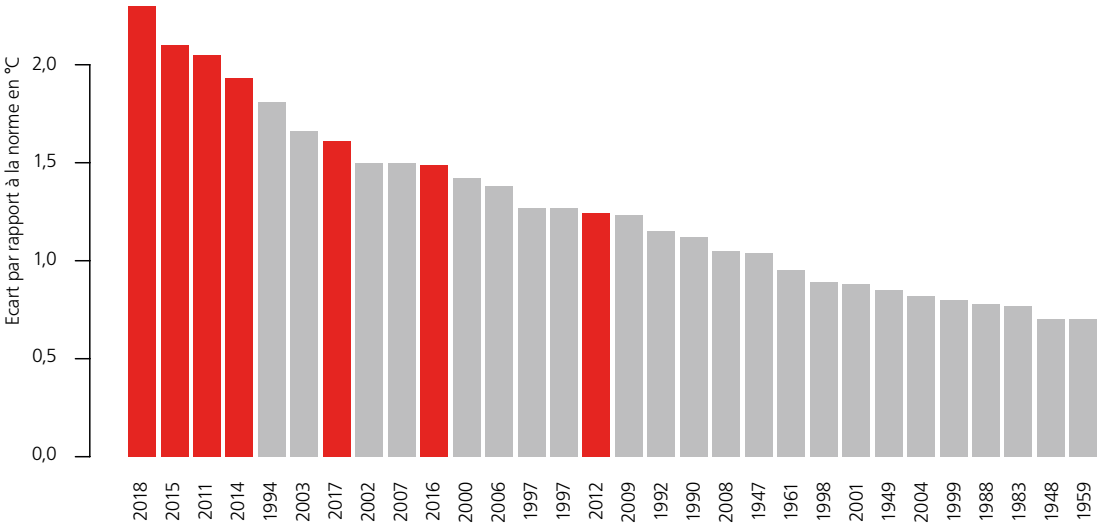
Période	Printemps mars–mai en °C/10 ans	Eté juin–août en °C/10 ans	Automne septembre–novembre en °C/10 ans	Hiver décembre–février en °C/10 ans	Année janvier–décembre en °C/10 ans
1864–2018	+0,13 fortement significatif	+0,14 fortement significatif	+0,14 fortement significatif	+0,12 fortement significatif	+0,13 fortement significatif
1901–2018	+0,17 fortement significatif	+0,20 fortement significatif	+0,18 fortement significatif	+0,14 fortement significatif	+0,17 fortement significatif
1961–2018	+0,49 fortement significatif	+0,52 fortement significatif	+0,25 fortement significatif	+0,31 significatif	+0,39 fortement significatif

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 quatre premières années ayant toutes eu lieu après 2010 (Figure 5.3). L'évolution à long terme de la température en Suisse avec une accumulation d'années très chaudes récemment se retrouve également dans la série des températures globales (Figure 4.1). L'évolution de la température en Suisse est donc essentiellement parallèle à l'évolution de la température globale.

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 21ème 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 au cas où les émissions mondiales de gaz à effet de serre continueraient comme avant [8].

Figure 5.3

Classement des 20 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 de chaleurs record depuis 2010 sont représentées en rouge.



Sur le site internet de MétéoSuisse, vous trouverez des informations complémentaires sur l'évolution de la température en Suisse:
www.meteosuisse.admin.ch/home/climat/changement-climatique-suisse/evolution-de-la-temperature-et-des-precipitations.html
www.meteosuisse.admin.ch/home/climat/le-climat-suisse-en-detail/tendances-observees-aux-stations.html
www.nccs.admin.ch/nccs/fr/home/changement-climatique-et-impacts/scenarios-climatiques-suisses/commander-la-brochure-ch2018.html
www.nccs.admin.ch/nccs/fr/home/bibliotheque-de-donnees-et-de-medias/daten/atlas-web-ch2018.html

Jours de gel

En raison d'un hiver plutôt doux et d'un printemps et d'un automne chauds, le nombre de jours de gel en 2018 a été inférieur à la moyenne dans tous les sites de mesures énumérés ici. A Davos, un nouveau minimum de 161 jours de gel a été atteint (norme 210). A Berne, il y a eu 30 jours de gel de moins que dans la norme 1961–1990 (85 au lieu de 115), à Sion 73 (norme 97) et à Lugano un peu plus du tiers de la normale (12, norme 35).

Suite au net réchauffement des hivers des dernières décennies, on constate une diminution significative des jours de gel dans les séries de mesures de Berne, Davos et Lugano. Par décennie, on y dénombre environ 4 à 7 jours de gel de moins. Pour la série de Sion, on n'observe pas de changement significatif dans le nombre de jours de gel.

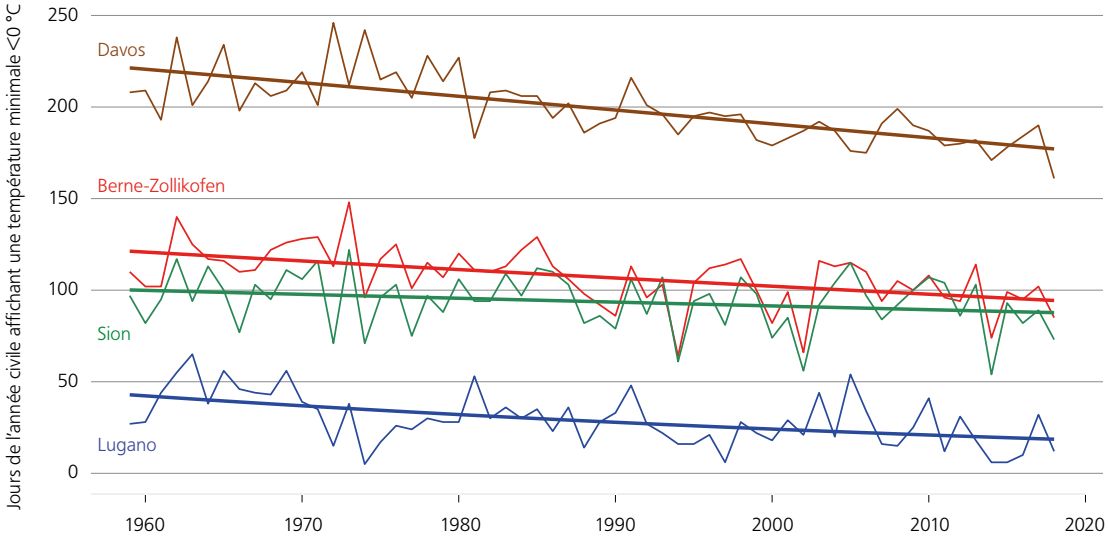


Figure 5.4
Evolution dans le temps des jours de gel (jours de l'année civile affichant une température minimale <0 °C) pour les stations de Berne, Sion, Davos et Lugano.

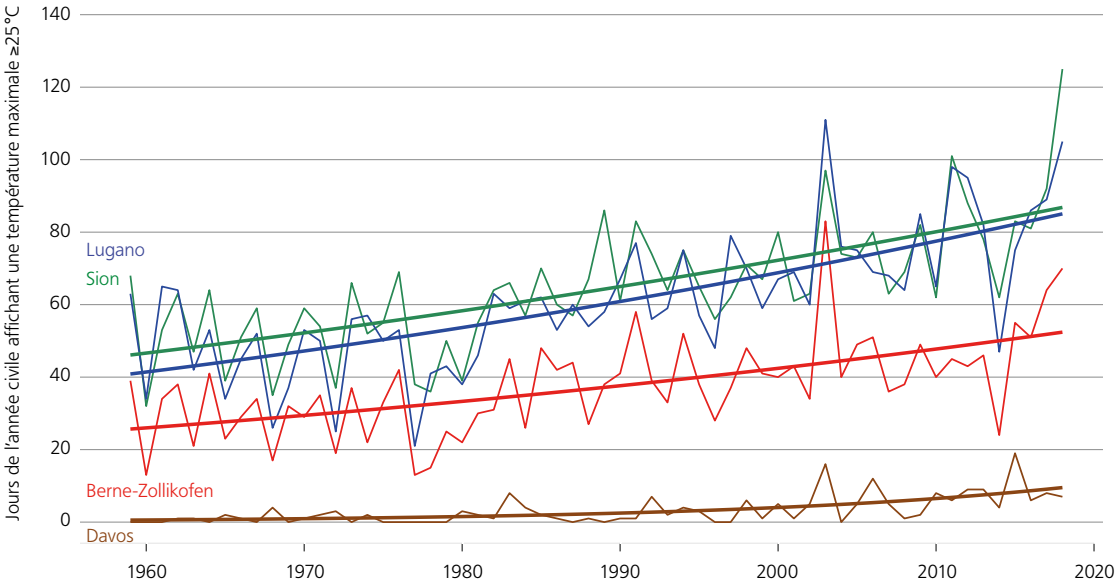
Selon les nouveaux scénarios climatiques CH2018 [8], le nombre de jours de gel à Lugano devrait tomber à 5–14 jours par année d'ici 2060 si les émissions de gaz à effet de serre ne diminuent pas. A Berne, 53–69 jours de gel par année sont encore attendus.

Journées d'été

Le semestre d'été le plus chaud depuis le début des mesures en 1864 a apporté à la Suisse un nombre exceptionnellement élevé de journées d'été en 2018. Il y a eu un nouveau record de journées d'été par an à Sion (125, norme 55). A Berne et à Lugano, il s'agit du deuxième nombre le plus élevé avec plus de deux fois plus de journées d'été par an que dans la norme 1961–1990 (Berne: 70, norme 31; Lugano: 105, norme 50). A Davos, il y a eu 7 journées à plus de 25 °C (norme 1). Cela montre clairement que les jours d'été sont également devenus un phénomène récurrent à des altitudes plus élevées.

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 5 journées d'été de plus, Sion 7 et Lugano 8 de plus. A Davos, à 1600 mètres, la hausse est de 2 journées d'été par décennie.

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.



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].

Limite du zéro degré

La limite du zéro degré climatologique, calculée ici par des stations de mesures au sol (voir annexe), se situe dans la moyenne des années 1961 à 2018 vers 775 m en hiver, aux alentours de 1955 m au printemps, à environ 3365 m en été et à environ 2430 m en automne.

La limite du zéro degré a significativement grimpé au cours de la période 1961–2018 et pour toutes les saisons. Selon la saison, la limite augmente de 39 m (automne) à 76 m environ (printemps et été) tous les 10 ans. De manière générale, ces valeurs correspondent à une élévation de la limite du zéro degré de 150 à 200 m environ par degré de réchauffement.

Durant l'hiver 2017/2018, la limite du zéro degré a été d'environ 850 mètres, soit près de 100 m au-dessous de la tendance linéaire 1961–2018, mais toujours nettement supérieure à la moyenne 1961–2018. Au printemps (limite du zéro degré vers 2265 mètres), en été (limite du zéro degré vers 3650 mètres) et en automne 2018 (limite du zéro degré vers 2800 mètres), la quatrième valeur la plus élevée depuis 1961 a été atteinte pour chaque saison et toutes les valeurs ont dépassé la tendance linéaire 1961–2018.

En 2018 également, l'altitude saisonnière de la limite du zéro degré a bien suivi les températures moyennes des saisons: un hiver normal (norme 1981–2010), le quatrième printemps le plus chaud, le troisième été le plus chaud et le troisième automne le plus chaud depuis le début des mesures en 1864.

Selon les nouveaux scénarios climatiques, la limite du zéro degré en hiver pourrait encore augmenter de 800 à 1200 mètres si aucun effort global n'est fait pour réduire les émissions de gaz à effet de serre [8].

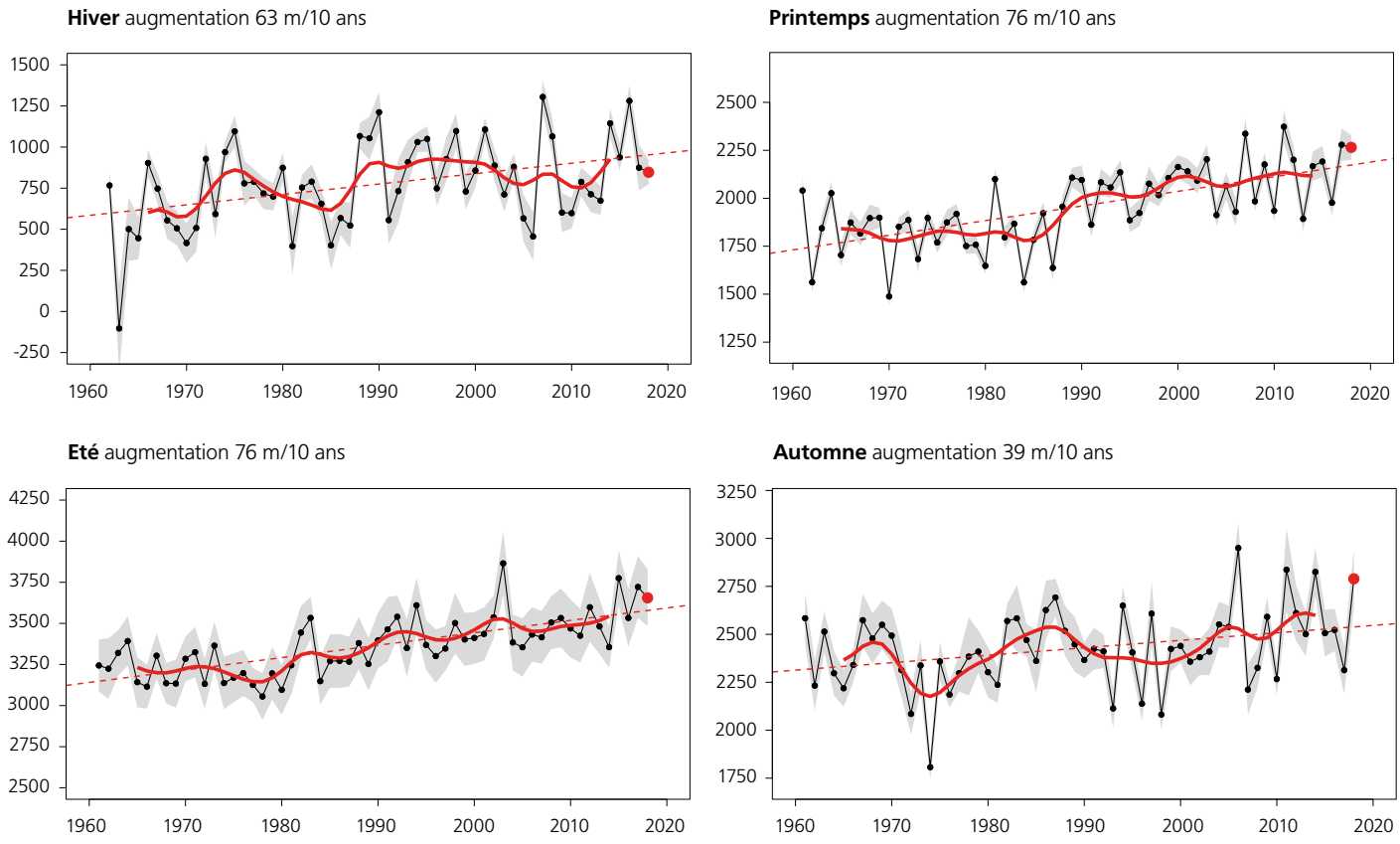


Figure 5.6

Evolution de la limite saisonnière du zéro degré (ligne noire et points noirs en mètres d'altitude) avec la tendance linéaire (ligne rouge interrompue), la moyenne pondérée sur 20 ans (ligne rouge grasse) et les données de la tendance (modification et importance). La zone grise montre l'incertitude de l'estimation de la limite du zéro degré.

Précipitations

En 2018, les précipitations sur le Plateau ont atteint 88 % de la normale, une valeur similaire à celle de l'année précédente (Figure 5.7). Alors que l'hiver 2017/2018, avec 148 % de la norme, a été nettement trop pluvieux (le 10ème hiver le plus humide), les autres saisons ont toutes été plus sèches que la norme 1961–1990 (Figure 5.8). En automne 2018, seulement 52 % des précipitations normales ont été mesurées sur le Plateau.

Dans le Sud de la Suisse, les précipitations ont été de 87 % en 2018, soit bien en dessous de la norme, comme au Nord des Alpes. Contrairement au Plateau, au Sud des Alpes, seul l'été a été nettement trop sec avec 62 % des précipitations normales. Les autres saisons ont connu des précipitations proches de la normale (Figure 5.9).

Sur le Plateau, on observe une tendance à long terme (1864–2018) des précipitations annuelles à la hausse de +0,6 %/10 ans. Sur le plan saisonnier, cependant, une tendance significative n'apparaît toutefois qu'en hiver (+2,1 %/10 ans). Au printemps, en été et en automne, il n'y a pas de tendance significative vers des précipitations plus ou moins importantes. Le Sud de la Suisse ne présente aucune tendance significative, 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.

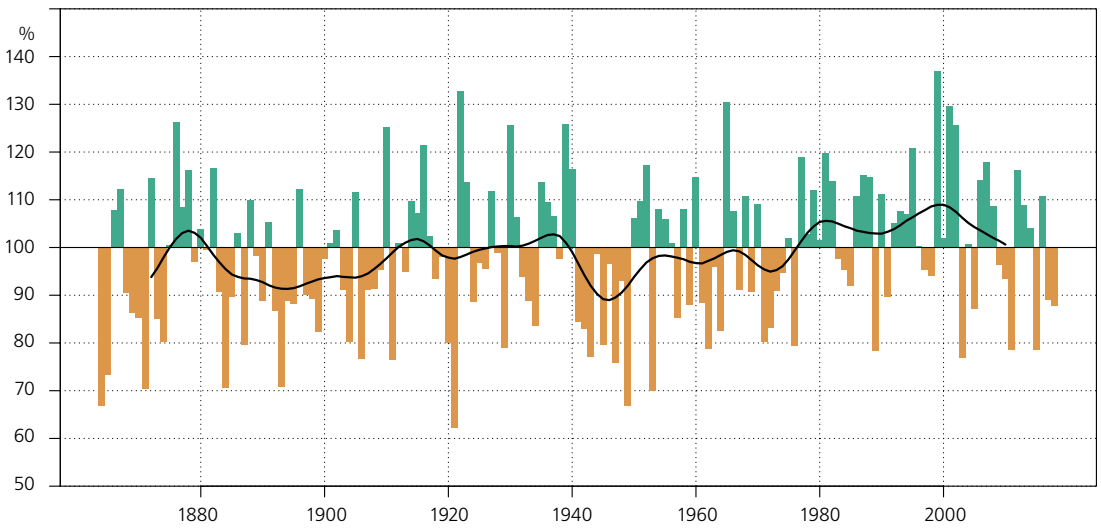


Figure 5.7

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.

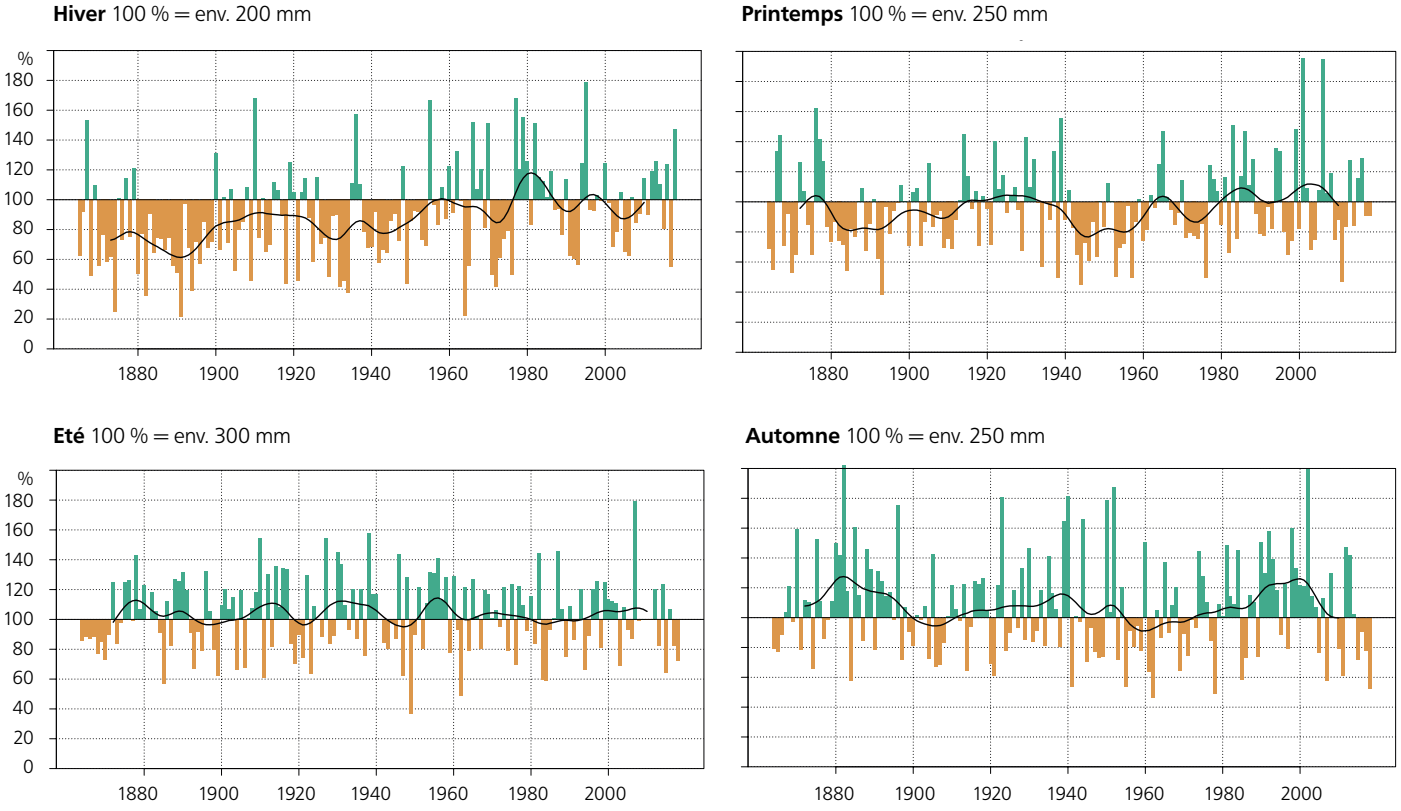


Figure 5.8

Evolution à long terme des sommes des précipitations saisonnières moyennes sur le Plateau. Le rapport des sommes des précipitations saisonnières à la norme 1961–1990 est représenté (vert = écarts positifs, brun = écarts négatifs). Les séries de mesures 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 à 2011 ont produit 100 % de précipitations, d'où les colonnes «manquantes» dans le graphique.

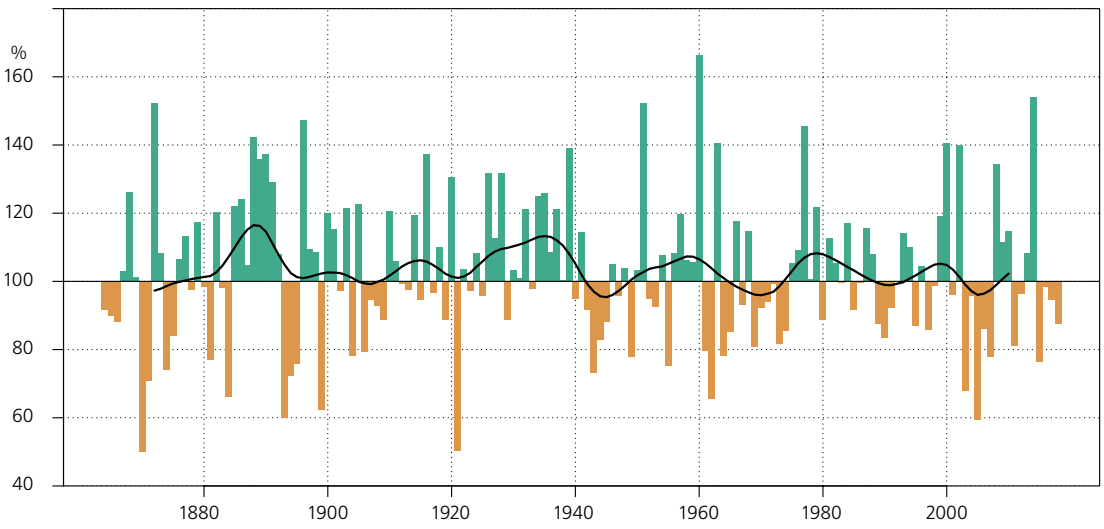


Figure 5.9

Evolution à long terme des sommes des précipitations annuelles moyennes en Suisse méridionale. Le rapport des sommes des précipitations annuelles à la norme 1961–1990 est représenté (vert = écarts positifs, brun = écarts négatifs). Les séries de mesures homogènes de Lugano et Locarno-Monti servent de base de données. La courbe noire indique la moyenne pondérée sur 20 ans.

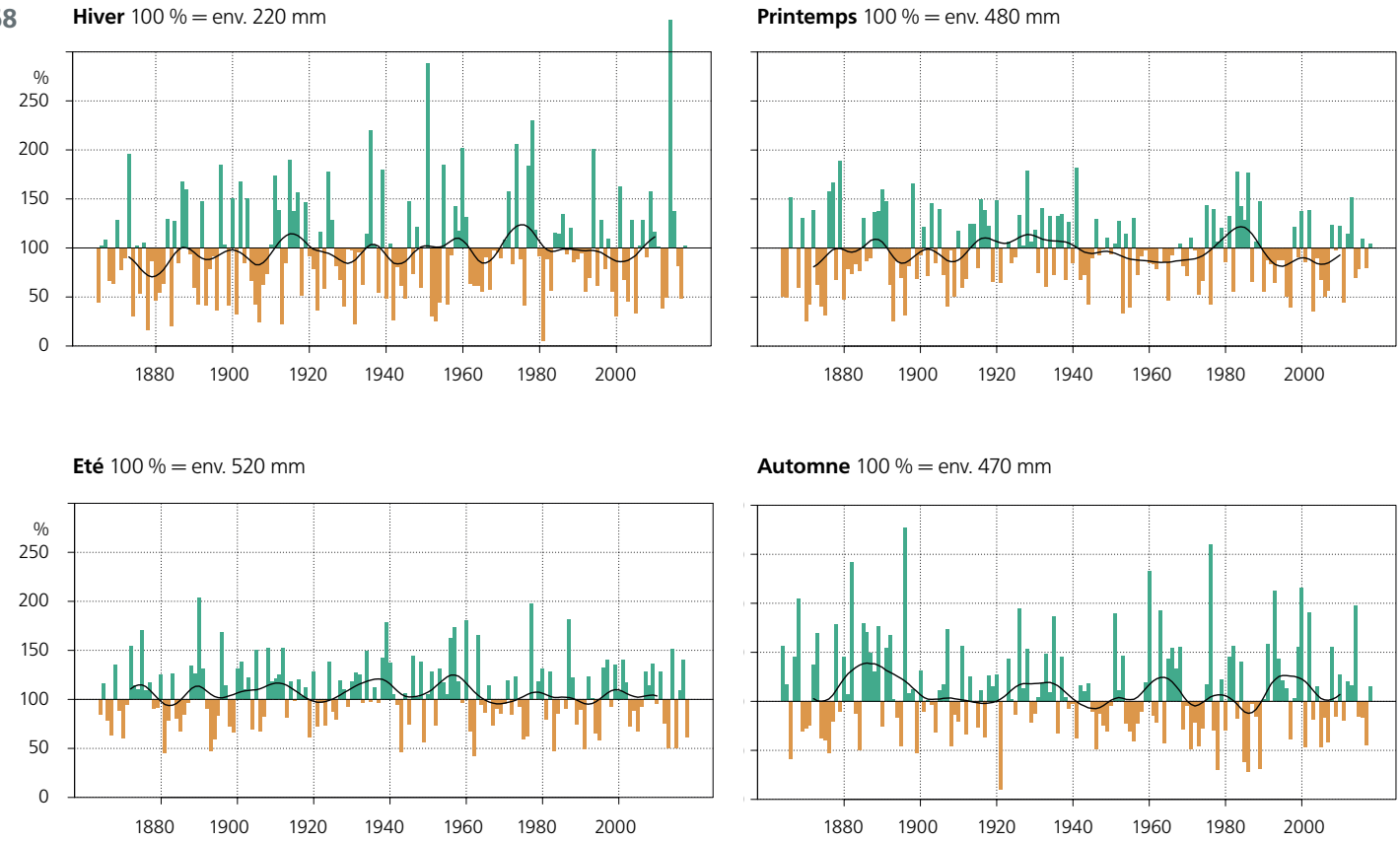


Figure 5.10

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

Période	Printemps mars–mai en %/10 ans	Eté juin–août en %/10 ans	Automne septembre–novembre en %/10 ans	Hiver décembre–février en %/10 ans	Année janvier–décembre en %/10 ans
1864–2018	+0,8 non significatif	0,0 non significatif	-0,3 non significatif	+2,1 fortement significatif	+0,6 significatif
1901–2018	+0,5 non significatif	-0,5 non significatif	+0,4 non significatif	+1,7 fortement significatif	+0,5 non significatif
1961–2018	+1,0 non significatif	+0,2 non significatif	+1,6 non significatif	+0,8 non significatif	+0,9 non significatif

Tableau 5.4

Tendances de précipitations saisonnières et annuelles en % par tranche de 10 ans au cours de périodes 1864–2017, 1901–2017 et 1961–2017, 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 en %/10 ans	Eté juin–août en %/10 ans	Automne septembre–novembre en %/10 ans	Hiver décembre–février en %/10 ans	Année janvier–décembre en %/10 ans
1864–2018	0,0 non significatif	-0,2 non significatif	-0,7 non significatif	+1,2 non significatif	-0,1 non significatif
1901–2018	-0,9 non significatif	-1,1 non significatif	+0,5 non significatif	+0,6 non significatif	-0,4 non significatif
1961–2018	+0,2 non significatif	+1,2 non significatif	+0,4 non significatif	+2,8 non significatif	+0,7 non significatif

Tableau 5.5

Tendances de précipitations saisonnières et annuelles en % par tranche de 10 ans au cours de périodes 1864–2017, 1901–2017 et 1961–2017, calculées pour la Suisse méridionale. Les données de signification sont expliquées dans la section précipitations sous 5.3 origine des données et méthodes.

Sans mesures efficaces d'intervention à l'échelle mondiale, une diminution des précipitations est attendue en été. Selon les scénarios climatiques actuels, 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].

Sur le site internet de MétéoSuisse, vous trouverez des informations complémentaires sur l'évolution des précipitations en Suisse:
www.meteosuisse.admin.ch/home/climat/changement-climatique-suisse/evolution-de-la-temperature-et-des-precipitations.html
www.meteosuisse.admin.ch/home/climat/le-climat-suisse-en-detail/tendances-observees-aux-stations.html
www.nccs.admin.ch/nccs/fr/home/changement-climatique-et-impacts/scenarios-climatiques-suisses/commander-la-brochure-ch2018.html
www.nccs.admin.ch/nccs/fr/home/bibliotheque-de-donnees-et-de-medias/daten/atlas-web-ch2018.html

Jours de fortes précipitations

Malgré des précipitations plus faibles en 2018, le nombre de jours de fortes précipitations est resté dans la normale. A Berne, il y a eu 11 jours avec plus de 20 mm de précipitations (norme 10), à Sion 6 jours (norme 5), à Davos 13 jours (norme 10) et à Lugano 25 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 sur les sites de mesures énumérés ici pour la période considérée à partir de 1959. En revanche, 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 une augmentation des précipitations extrêmes et fortes. Les plus fortes précipitations sur une journée par an devraient augmenter de 10 % d'ici 2060 [8].

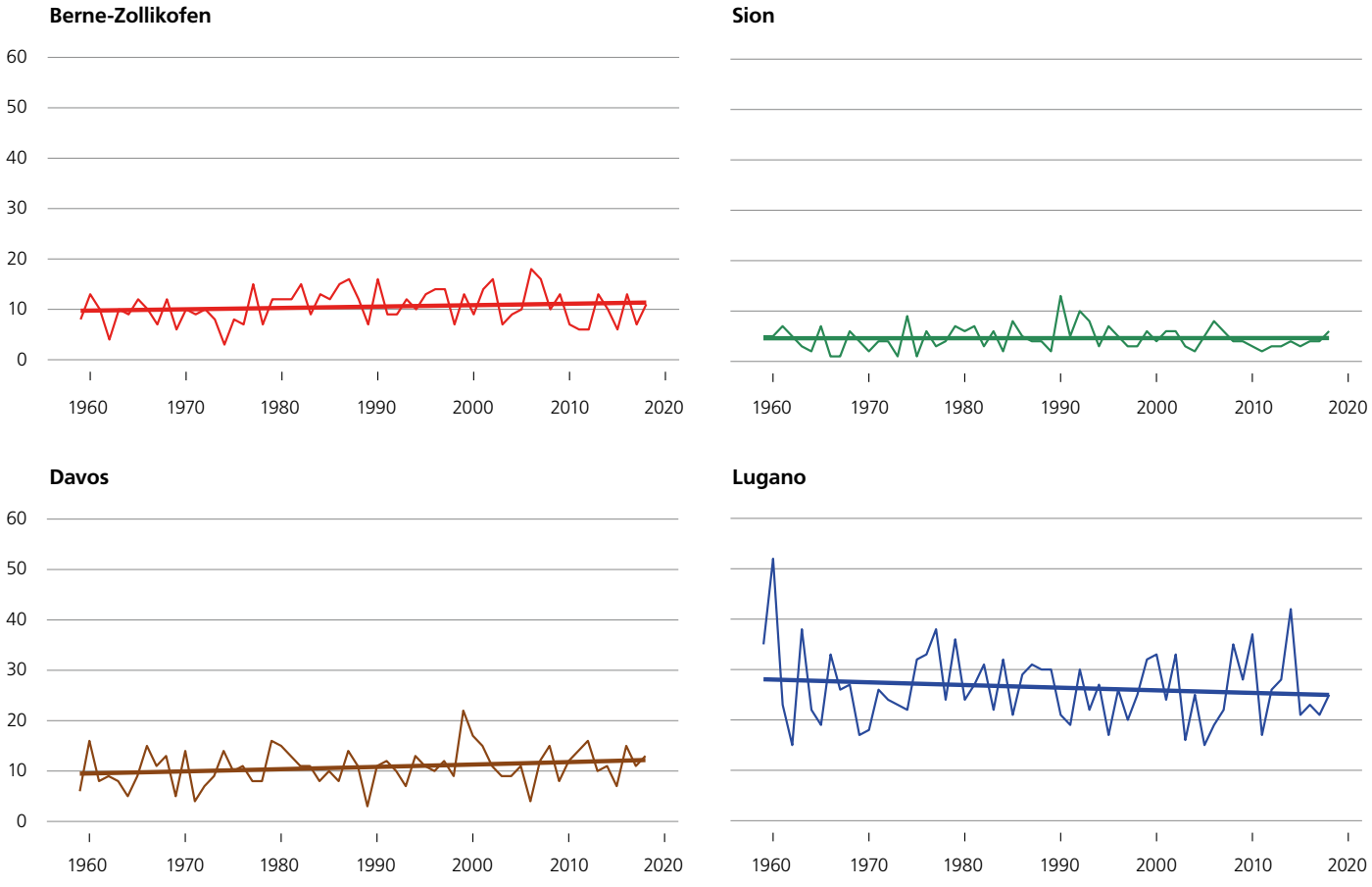


Figure 5.11

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

Précipitations des journées très humides

La somme des précipitations des journées très humides dans cette année 2018 a été nettement au-dessous de la norme sur le site de mesures de Berne avec 103 mm (norme 216 mm). Sur les sites de mesures de Sion et Davos, le cumul des précipitations des journées très humides a atteint des valeurs supérieures à la moyenne (Sion 168 mm/norme 98 mm, Davos 416 mm/norme 214 mm). A Lugano, la somme est restée légèrement inférieure à la norme: 724 mm contre 858 mm. Dans l'évolution à long terme, les sites de Berne, Sion et Lugano ne montrent aucune tendance significative. Une augmentation significative de 16 mm par décennie peut être observée dans la série de mesures de Davos.

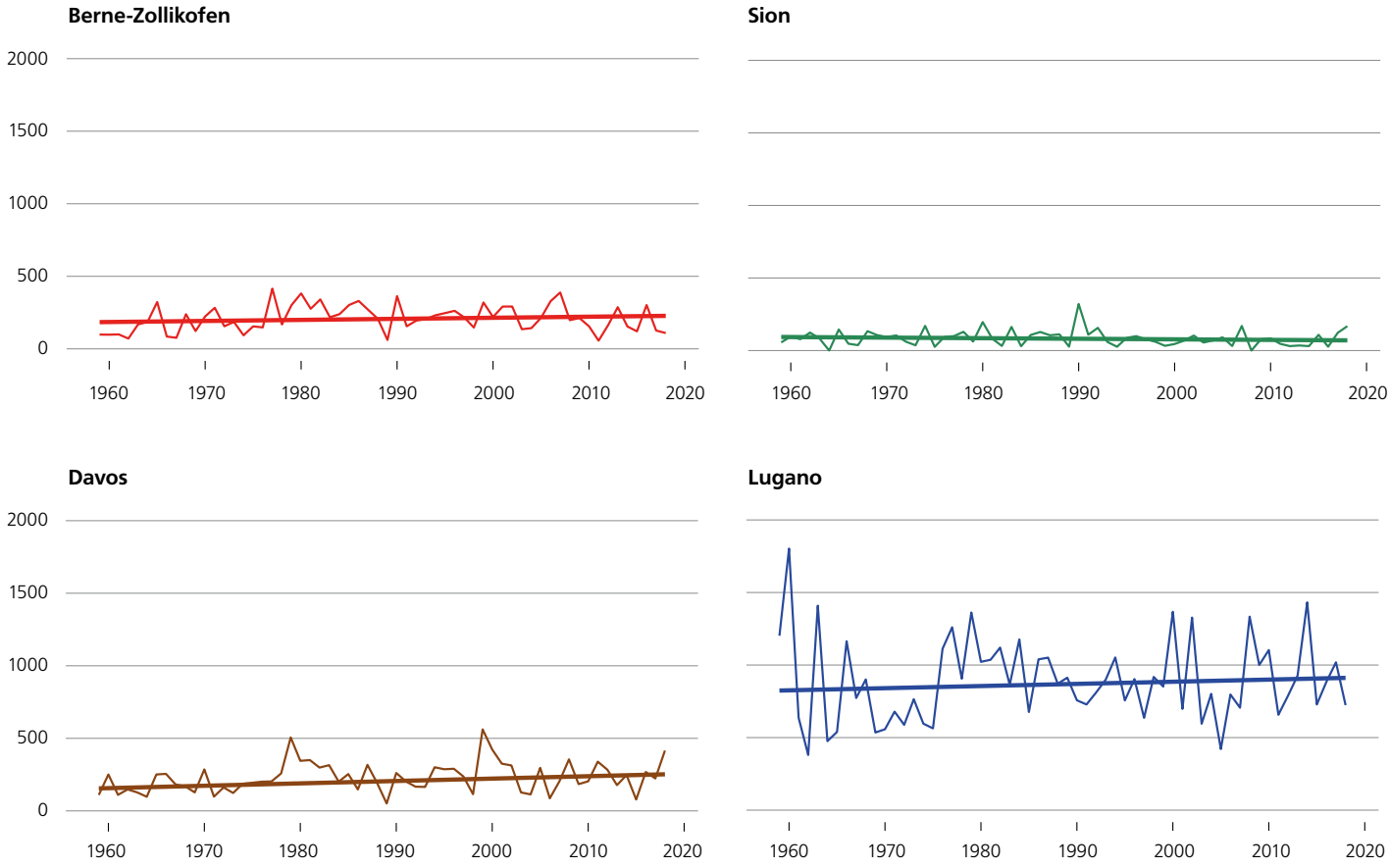


Figure 5.12

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

Périodes de sécheresse

En 2018, les nombreux mois secs qui ont suivi le mois d'avril ont été interrompus à plusieurs reprises par de courtes périodes de précipitations, par exemple des orages. Par conséquent, aucune période de sécheresse anormalement longue n'a été enregistrée. Sur les sites de mesures de Berne, Sion et Davos, les périodes sèches les plus longues n'ont été que légèrement différentes de la norme (Berne 26 jours/norme 22, Sion 31 jours/norme 30, Davos 22 jours/norme 22). A Lugano, la période sèche la plus longue n'a duré que 19 jours (norme 33). 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 actuels, 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].

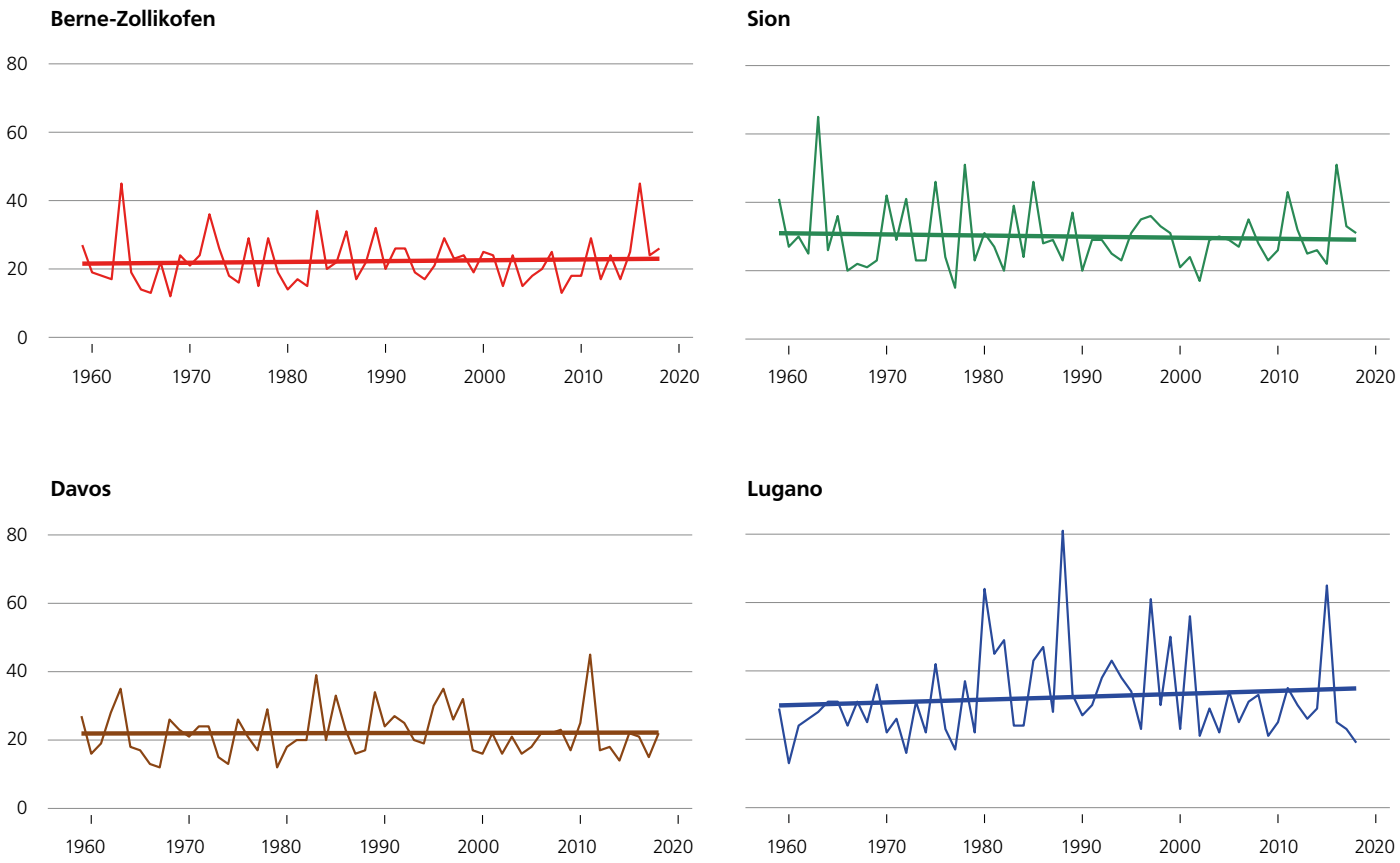


Figure 5.13

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

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 données actuelles de la station de Berne montrent que les dernières années ont été plus sèches que la moyenne à long terme (médiane) pendant la période de végétation. A cet égard, l'été 2018 est l'un des plus secs depuis le début des mesures [1]. Les autres années où les valeurs du SPEI ont été très faibles (1947, 1865, 2003, 1949, 1893, 1911) correspondent exactement aux années au cours desquelles l'agriculture a subi les dégâts les plus importants en raison de la sécheresse. Les périodes très prononcées de SPEI négatif correspondent bien aux sécheresses répertoriées au cours des 150 dernières années [23], [24].

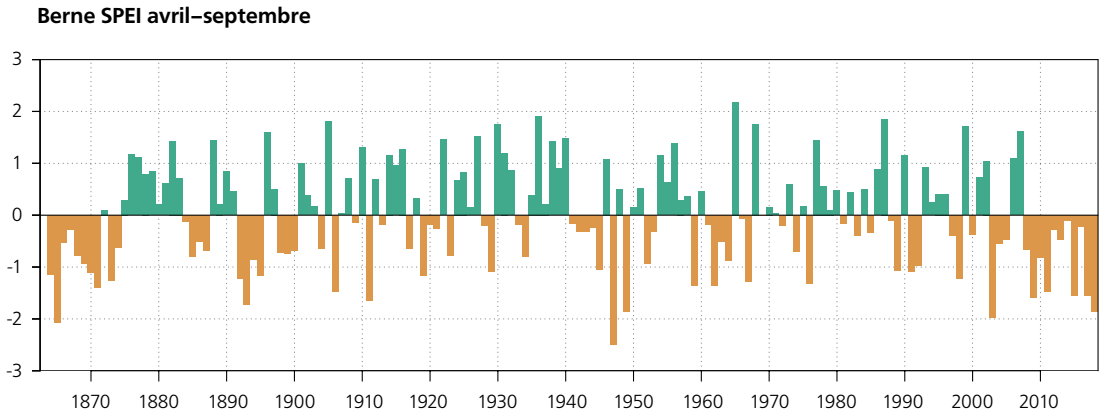


Figure 5.14
SPEI durant toute la période de végétation (6 mois, d'avril à septembre) à la station de mesures de Berne. Les valeurs positives indiquent des conditions plus humides que la médiane (1864–2018), les valeurs négatives, des conditions plus sèches.

5.1.2
Atmosphère libre

Limite du zéro degré

La limite du zéro degré en atmosphère libre est déterminée grâce aux ballons-sondes lâchés quotidiennement depuis Payerne. L'altitude médiane relevée en 2018 est de 2950 m, une valeur sensiblement plus élevée (370 m) que l'année précédente. Le graphique illustre tant la variabilité interannuelle de la limite du zéro degré que la tendance à l'augmentation de l'altitude de zéro degré (75 m/10 ans), particulièrement depuis les années 1980. Dans ce cadre de forte augmentation, l'année 2018 marque le record de toute la série temporelle (supérieur de 482 m à la médiane 1959–2018) depuis 1959. A noter qu'au cours des 20 dernières années (à l'exception de l'année 2010), les limites du zéro degré sont systématiquement au-dessus de la valeur médiane 1959–2018.

L'évolution de la limite du zéro degré suit de près l'évolution de la température moyenne annuelle en Suisse. Le changement rapide qui s'opère depuis la fin des années 1980 est frappant. La médiane annuelle de la limite du zéro degré en atmosphère libre a augmenté de manière significative au cours de la période 1959–2018, une tendance qui se recoupe avec les tendances saisonnières de la limite du zéro degré fournies par les stations de mesures au sol (chapitre 5.1.1).

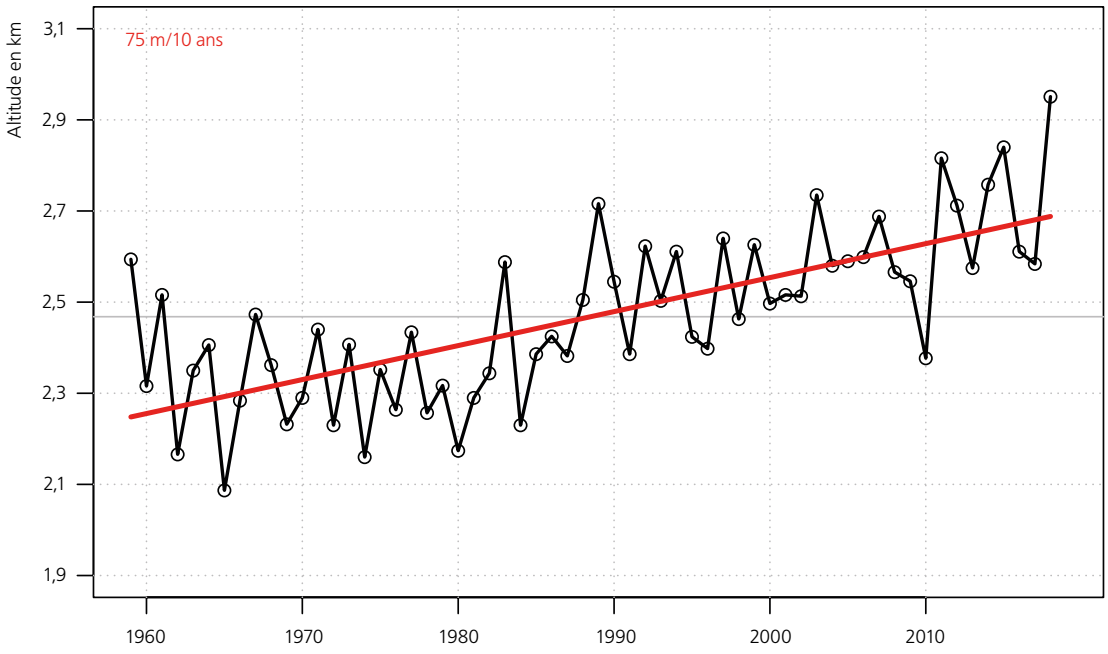


Figure 5.15
Médiane annuelle de la limite du zéro degré, 1959–2018, obtenue par les lâchers quotidiens de ballons-sondes à la station aérologique de Payerne. La ligne grise indique la médiane 1959–2018 (2470 m).

Altitude de la tropopause

La tropopause a atteint en 2018 une altitude médiane de 11480 m, soit 160 m de moins que l'année précédente. L'augmentation de l'altitude de la tropopause se confirme, malgré une grande variabilité d'une année à une autre, comme par exemple en 2010. Sa médiane annuelle a ainsi augmenté de manière significative au cours de la période 1959–2018 avec une hausse de 61 m tous les 10 ans. De manière générale, cette tendance est en accord avec l'évolution de l'altitude de zéro degré (Figure 5.14).

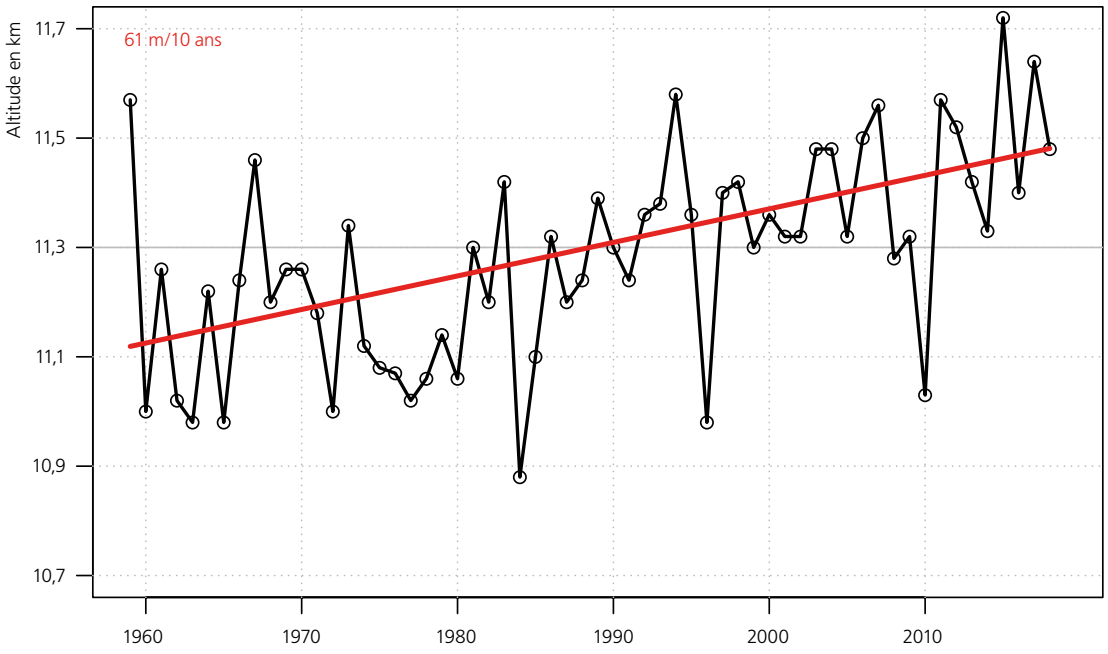


Figure 5.16
Médiane annuelle de l'altitude de la tropopause 1959–2018 obtenue grâce aux lâchers quotidiens de ballons-sondes à la station aérologique de Payerne. La ligne grise indique la médiane 1959–2018 (11300 m).

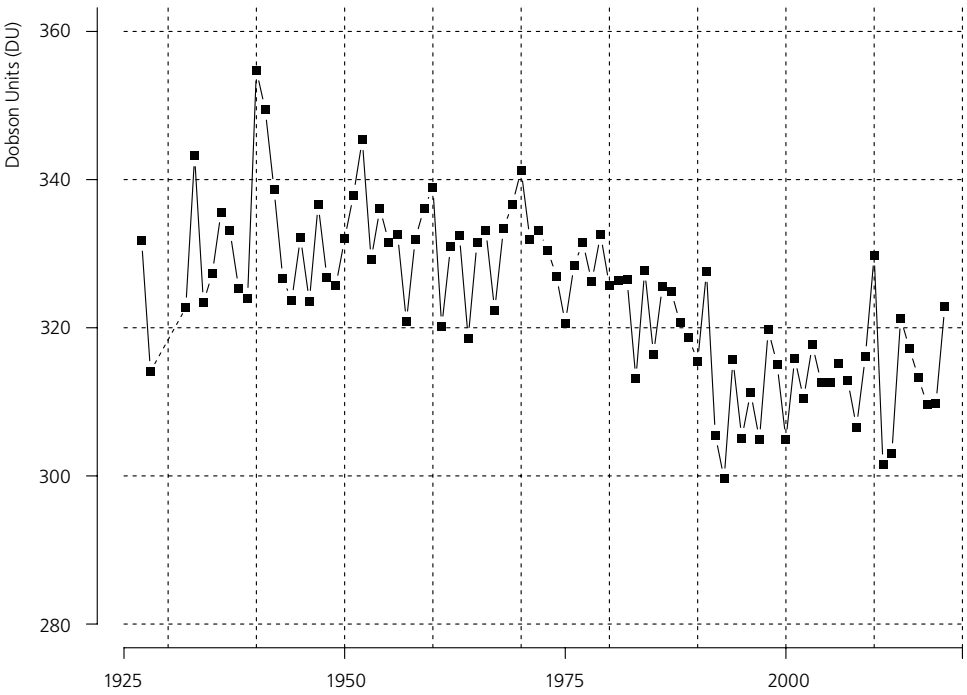
5.1.3
Composition de l'atmosphère

Série de mesures de l'ozone d'Arosa

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.

Cependant, si les années 2010 et 2013 présentent des moyennes annuelles relativement élevées (resp. 330 et 321 DU), celles des années 2011 et 2012 sont proches de 300 DU (resp. 301 et 303 DU). Ceci démontre la grande variabilité de l'ozone total selon les années. La valeur de 2018 est de nouveau supérieure à 320 DU.

Figure 5.17
Moyennes annuelle de la colonne d'ozone à Arosa au cours de la période 1926–2018. 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 Zurich. Cette série ininterrompue de mesures permet de déterminer l'évolution temporelle de la quantité d'ozone dans les différentes couches de l'atmosphère. Sur la figure suivante, trois niveaux d'altitudes (3, 22 et 27 km) sont illustrés à titre d'exemple.

Comme le 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).

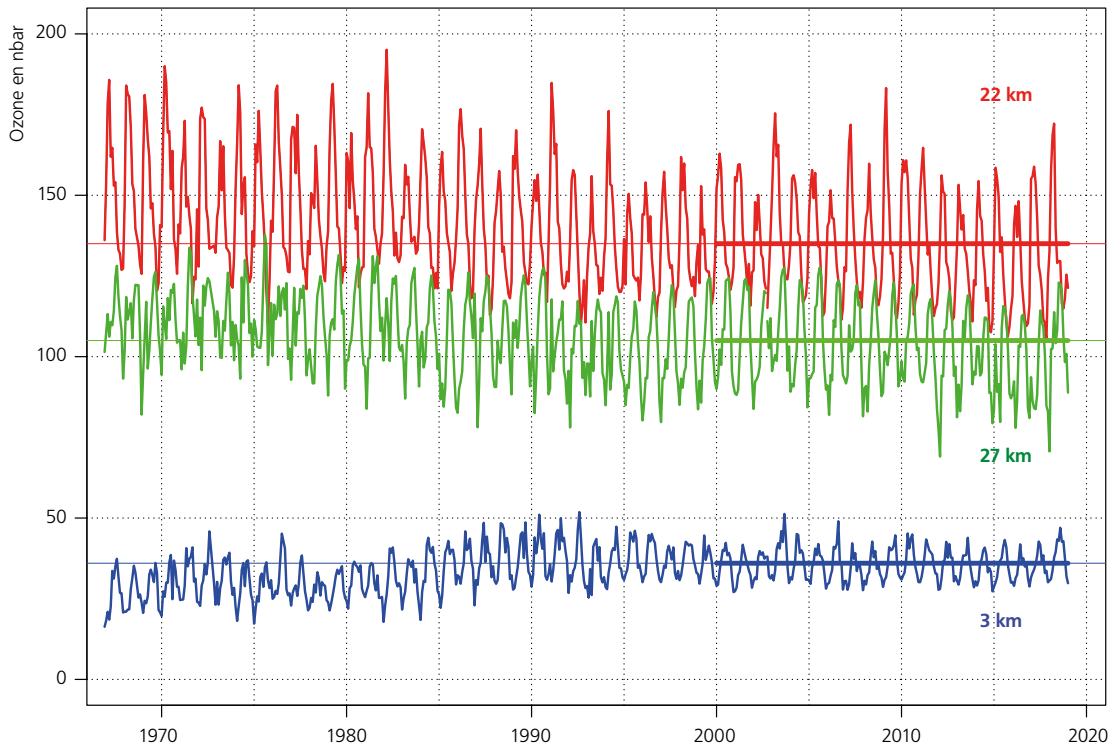


Figure 5.18
Concentration mensuelle d'ozone à trois altitudes durant la période 1967–2018.

Rouge: 22 km
Vert: 27 km
Bleu: 3 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.

Dans de nombreuses stations de mesures, la saison 2018 du pollen de bouleau a été la plus forte jamais enregistrée, en particulier au Tessin et en Suisse occidentale (voir chapitre 2). Un grand nombre de chatons de bouleau et des conditions de vol idéales en avril ont conduit à cette charge intense de pollen de bouleau. Le rythme de floraison bisannuel du bouleau est très visible au Tessin. L'intensité de la saison des pollens de graminées a varié selon les régions et les stations. Elle a été très faible à Neuchâtel et à Genève, alors qu'elle a été supérieure à la moyenne en Suisse alémanique et au Tessin. Les valeurs absolues sont nettement plus faibles au Tessin qu'au Nord des Alpes.

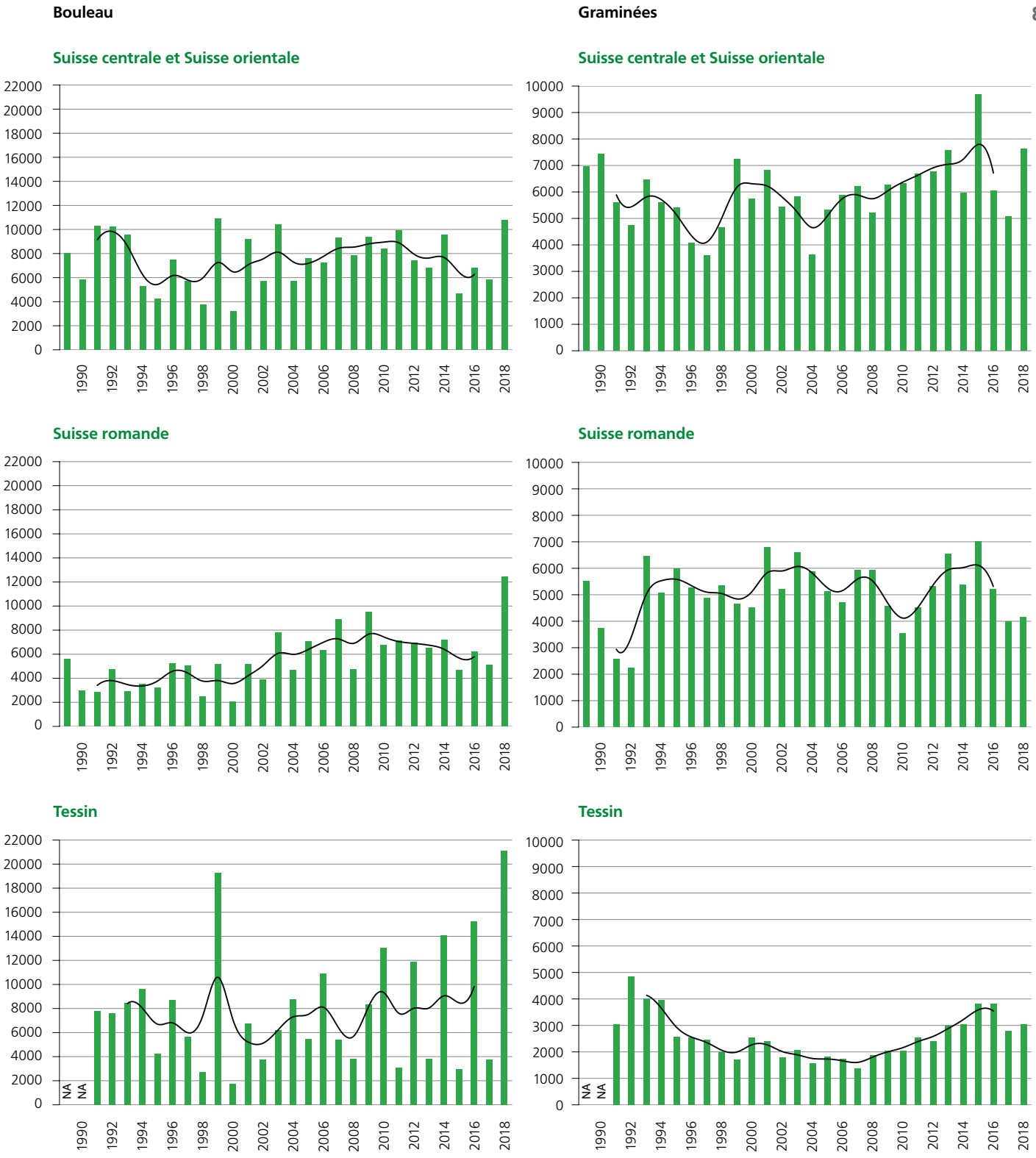


Figure 5.19

Intensité de la dispersion des pollens de bouleau (à gauche) et de graminées (à droite) dans les régions au Nord des Alpes entre 1989–2018 et au Tessin entre 1991–2018. 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 et journées de neige fraîche

L'hiver 2017/18 a été l'un des plus humides dans certaines régions depuis le début des mesures, ce qui a eu un effet sur la quantité de neige fraîche à haute altitude. Sur le site de mesures d'Arosa, le dernier hiver avec encore plus de neige fraîche remonte à plus de 30 ans. En hiver 2017/18, il est tombé encore plus de neige fraîche (8,35 m) que lors de l'hiver 1998/99, qui était entré dans l'histoire comme «l'hiver avalancheux». La dernière fois qu'il y a eu encore plus de neige fraîche à Arosa, c'était lors de l'hiver 1981/82 avec 9 m (norme 6,31 m). Sur le site de mesures de Segl-Maria, la quantité totale de neige fraîche pendant le semestre d'hiver d'octobre à mars a atteint 3,25 m (norme 3,12 m). Il n'a été mesuré que 1,86 m à Einsiedeln (norme 3,41 m) et 62 cm à Lucerne (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 2,5 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.

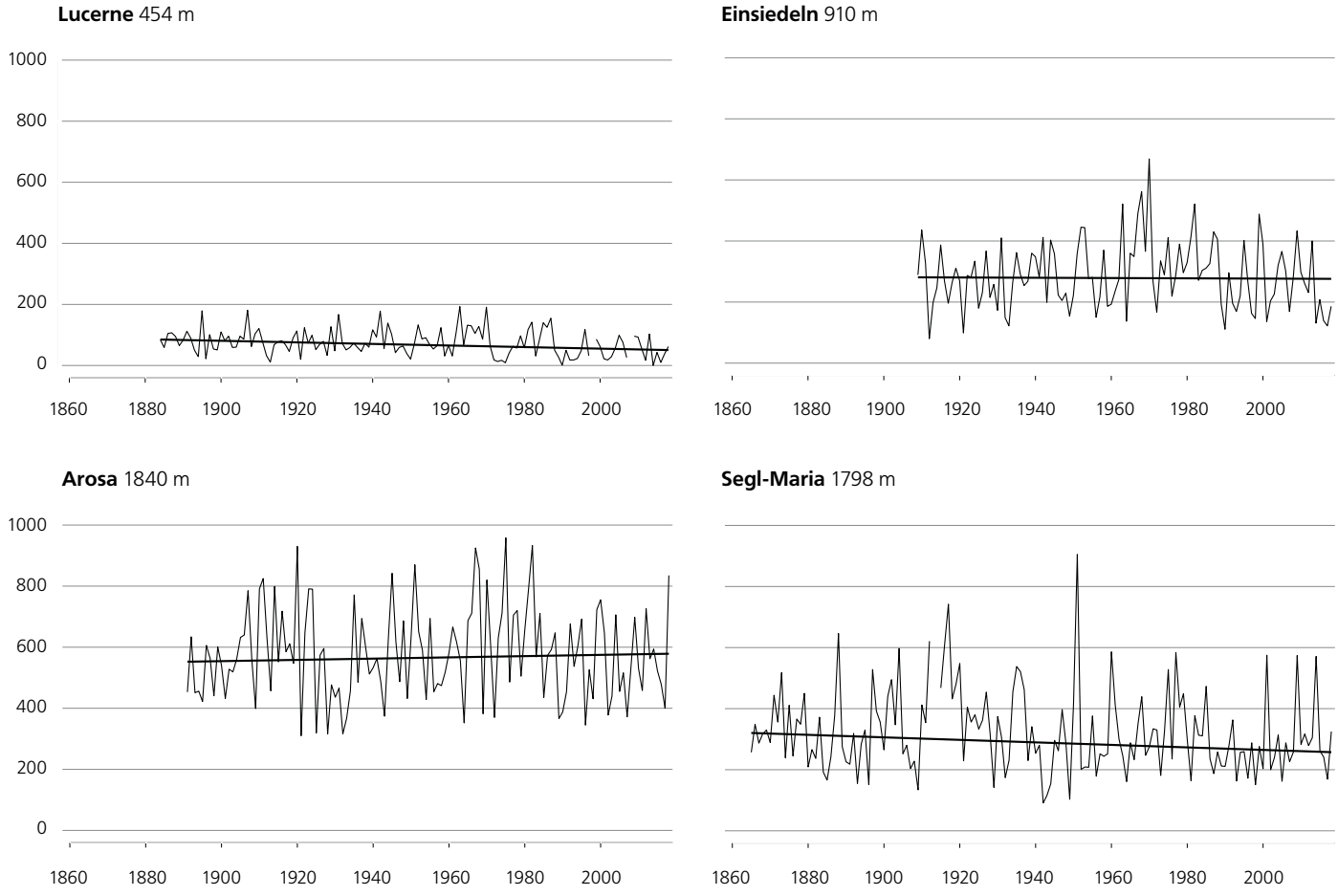


Figure 5.20

Sommes de neige fraîche en cm durant le semestre d'hiver depuis le début des mesures jusqu'en 2018 dans les stations de mesures de Lucerne, d'Einsiedeln, d'Arosa et de Segl-Maria.

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

Journées de neige fraîche

Le nombre de jours de neige fraîche en hiver 2017/18 a été proche ou supérieur à la norme, selon les sites de mesures. Au cours du semestre d'hiver d'octobre à mars, 84 jours de neige fraîche (norme 71 jours) ont été enregistrés à Arosa. A Segl-Maria en Haute-Engadine, 51 jours ont été enregistrés (norme 42 jours). A Lucerne, il y a eu 7 jours avec de la neige fraîche mesurable (norme 18 jours). Einsiedeln a enregistré 43 jours avec de la neige fraîche (norme 46).

La série de mesures d'Arosa indique une tendance significative à l'augmentation du nombre de jours avec neige fraîche. Ce nombre est de l'ordre de presque +1,6 jour par décennie. En revanche, Lucerne montre un nombre de jours avec neige fraîche un peu plus faible de -0,4 jour par décennie et il s'agit d'une tendance significative. 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.

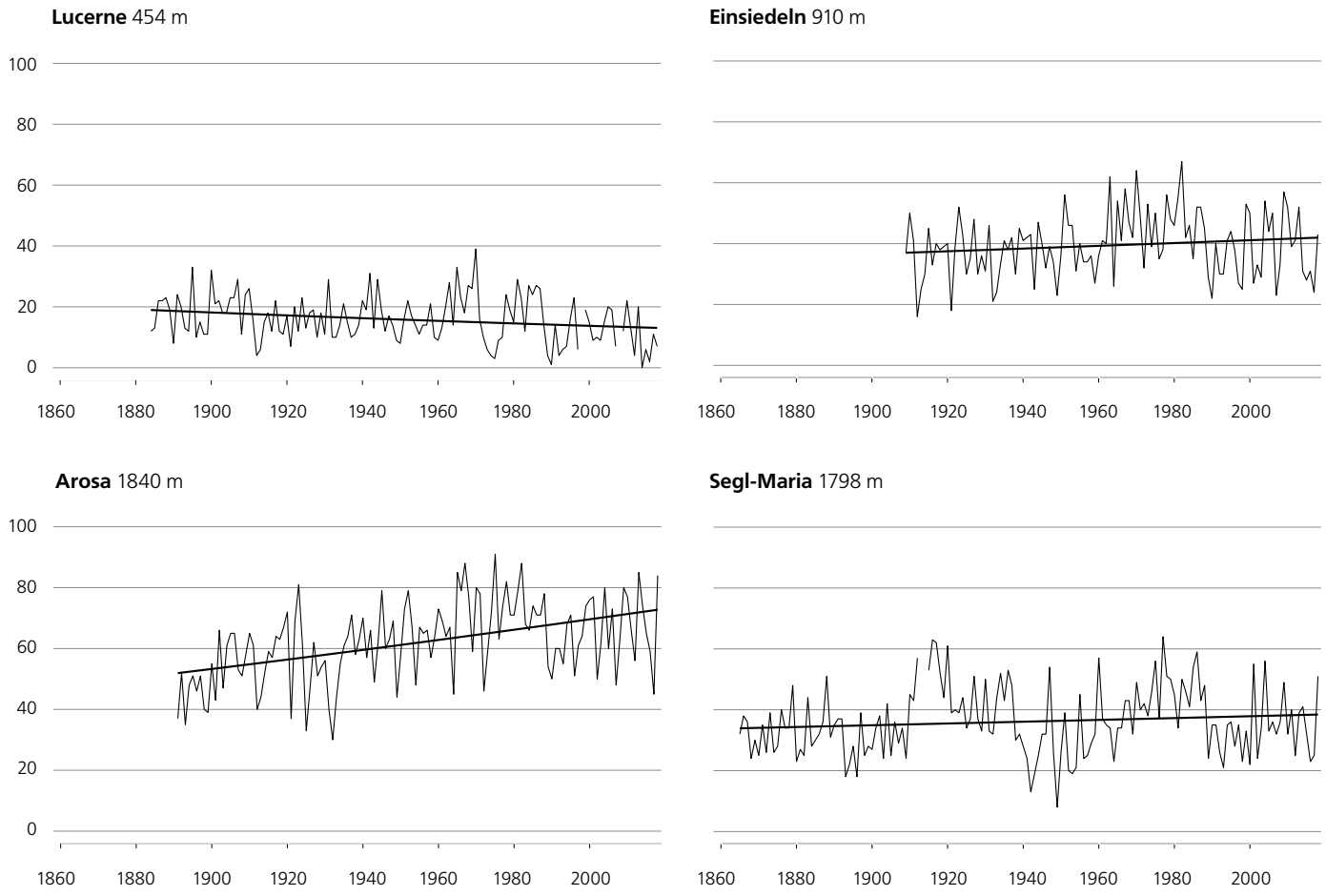


Figure 5.21

Nombre de jours de neige fraîche au semestre d'hiver depuis le début des mesures jusqu'en 2018 dans les stations de mesures de Lucerne, d'Einsiedeln, d'Arosa et de Segl-Maria.

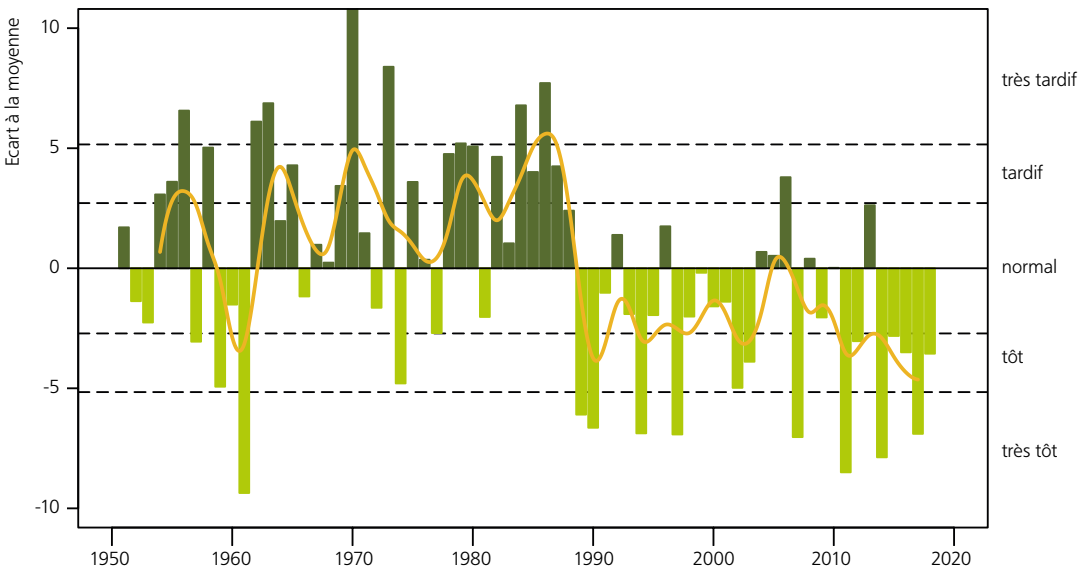
Source pour Arosa: MétéoSuisse/Institut pour l'étude de la neige et des avalanches SLF, Davos.

Indice du printemps

L'indice du printemps est une valeur permettant de caractériser le développement de la végétation au printemps par rapport aux années précédentes et à la moyenne pluriannuelle. Le développement de la végétation au printemps dépend essentiellement des températures relevées au cours de l'hiver et au printemps [26]. En 2018, la végétation s'est développée au printemps plus tôt qu'au cours de la période moyenne 1981–2010. En janvier, la floraison des noisetiers a eu en moyenne environ un mois d'avance. Les basses températures en février et mars ont ralenti le développement, de sorte que les pas-d'âne et les anémones des bois ont fleuri conformément à la normale. Pendant le mois d'avril très chaud, le développement de la végétation s'est accéléré de jour en jour et de nombreuses phases phénologiques printanières ont pu être observées presque simultanément. L'avance de la végétation a augmenté à 9 jours en avril. En mai, le sureau noir a même fleuri avec une avance de près de 2 semaines.

Parallèlement aux températures plus élevées relevées 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 5.22
Etat annuel du développement de la végétation en Suisse (indice du printemps) 1951–2018 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.

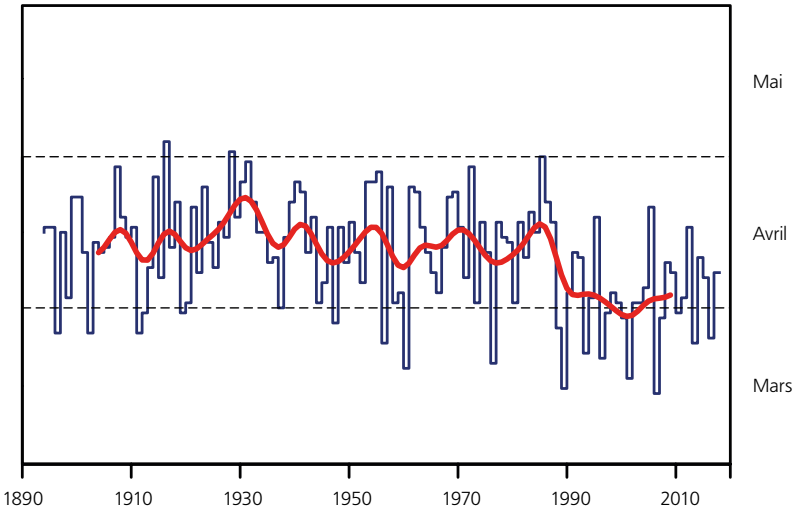


Floraison des cerisiers près de Liestal et apparition de la première feuille du marronnier à Genève

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 8 avril 2018 a été en retard de 3 jours par rapport à la moyenne de la période 1981–2010, en raison des basses températures en février et mars. Par rapport à l'ensemble de la période de mesures, la date a été de 3 jours en avance sur la moyenne.

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 2018, l'apparition de la première feuille du marronnier s'est produite le 24 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 ces dernières années n'est pas encore connue.

Cerisier



Marronnier

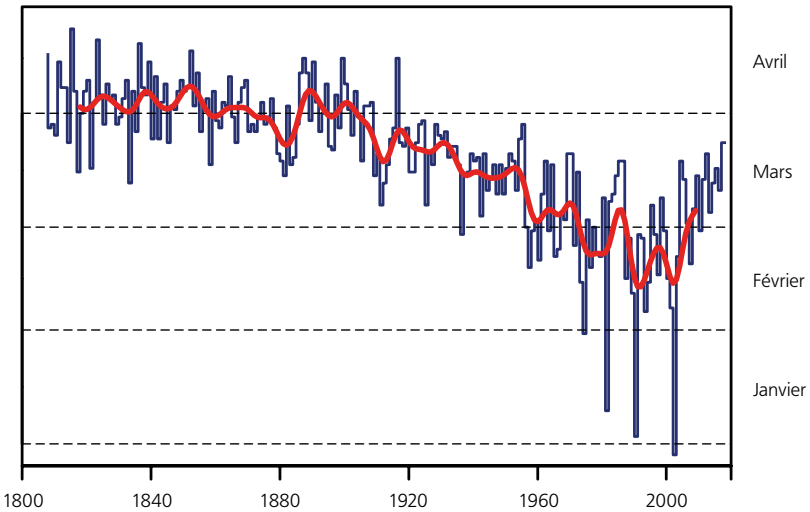


Figure 5.23

Ci-dessus: floraison des cerisiers près de Liestal durant la période 1894–2018 (source: Landw. Zentrum Ebenrain, Sissach et MétéoSuisse).

Ci-dessous: apparition de la première feuille du marronnier à Genève au cours de la période 1808–2018 (source: Grand Conseil de la République et canton de Genève).

5.3 Origine des données et méthodes

Indicateurs climatiques selon l'OMM

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

www.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 $p = 0{,}05$).

Limite du zéro degré déterminée par des stations de mesures au sol

La méthode suivante est utilisée pour calculer la limite du zéro degré: pour chaque moment (saisonnier ici, donc l'hiver 1962 p. ex.), la limite du zéro degré est déterminée par régression linéaire entre les températures moyennes homogénéisées et l'altitude (avec une évaluation de la marge d'erreur). La variation dans le temps de la limite du zéro degré est calculée sur la base des différentes valeurs annuelles (tendance en m/10 ans). L'ensemble des 29 stations du réseau suisse de mesures climatiques (Swiss NBCN) sont mises à contribution [2]. Il est à noter que la marge d'erreur dans le calcul de la limite du zéro degré varie fortement en fonction de la saison (barre d'erreur grise dans le graphique). Au printemps et en automne, il est possible de calculer la limite du zéro degré avec une relative précision, étant donné qu'il existe d'assez bons rapports linéaires entre la température et l'altitude et que la limite du zéro degré se situe encore à des altitudes où l'on trouve des stations de mesures. L'hiver et davantage encore l'été, le calcul est plus incertain, pour des raisons différentes néanmoins. En hiver, la détermination est difficile car les lacs d'air froid et le brouillard ainsi que les passages frontaux brouillent fortement la relation entre la température et l'altitude et il n'y a pas de bonne relation linéaire entre la température et l'altitude. En été, la relation est plutôt linéaire, mais l'altitude de la limite du zéro degré est bien au-dessus des stations disponibles. Ainsi, les plus petites incertitudes de la relation température-altitude ont un impact important sur la plage d'erreur de la limite du zéro degré.

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 [2] 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:

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

Indice de sécheresse

Les indices SPI (standardized precipitation index [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 à 48 mois) et se calcule à partir des sommes mensuelles de précipitations. Les précipitations cumulées des derniers (1 à 48) mois sont comparées avec les sommes de précipitations relevées au même moment dans le passé. La distribution de ces sommes de précipitations est transformée en une distribution normale standard autour de zéro. La valeur ainsi transformée d'une somme de précipitations donnée constitue la valeur SPI.

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

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

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

Limite du zéro degré en atmosphère libre

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

Une altitude ou profondeur fictive de la limite du zéro degré située sous la surface de la Terre est calculée à partir de la température au sol indiquée dans le sondage, en supposant un gradient thermique vertical moyen de 0,5 °C par 100 mètres. De la sorte, on obtient des limites du zéro degré qui se situent sous la surface et, en cas de températures au sol de -2,5 °C ou inférieures, même au-dessous du niveau de la mer et sont donc négatives [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 1981–2010. 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 stations individuelles ont des débuts de mesures très différents, de 1969 pour Bâle à 1997 pour Lausanne.

L'indice pollinique est calculé à partir de la concentration journalière des pollens dans l'air. La quantité de pollen par m^3 d'air pour le type de pollen considéré est déterminé quotidiennement. Les chiffres journaliers sont ensuite cumulés pour l'ensemble de l'année.

Stations de mesures polliniques utilisées

Suisse centrale et orientale	Bâle Buchs Lucerne Münsterlingen Zurich
Suisse occidentale	Berne Genève Neuchâtel
Tessin	Locarno Lugano

Somme de neige fraîche et journées de neige fraîche

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

Indice du printemps

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

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

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 [Stocker, T.F., 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., Asmi, A., Baltensperger, U., Bukowiecki, N., Day, D., Fiebig, M., Fjaeraa, A. M., Flentje, H., Hyvärinen, A., Jefferson, A., Jennings, S. G., Kouvarakis, G., Lihavainen, H., Lund Myhre, C., Malm, W. C., Mihapopoulos, N., Molenar, J. V., O'Dowd, C., Ogren, J. A., Schichtel, B. A., Sheridan, P., Virkkula, A., Weingartner, E., Weller, R., and Laj, P. 2013: Aerosol decadal trends – Part 1: In-situ optical measurements at GAW and IMPROVE stations, Atmos. Chem. Phys., 13, 869-894, doi:10.5194/acp-13-869-2013.

[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. www.klimaszenarien.ch

[9] WMO 2018: WMO Statement on the status of the global climate in 2018. https://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 2018, published online January 2019, retrieved on February 14, 2019 from www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201813

[11] University of East Anglia, 2018: Temperature anomaly (from the base period 1961–90) datasets HadCRUT4. www.metoffice.gov.uk/hadobs/hadcrut4/data/current/time_series/

[12] MEI-Daten unter: www.esrl.noaa.gov/psd/people/klaus.wolter/MEI/table.html

[13] Seiz G., Foppa N., 2007: Nationales Klima-Beobachtungssystem (GCOS Schweiz). Publikation von MeteoSchweiz und ProClim, 92 S. www.meteoschweiz.admin.ch/web/de/klima/klima_international/gcos/publikationen/Berichte.Par.0026.DownloadFile.tmp/seiz2007.pdf

[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] www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/CA_3.php
www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/documents/WCDMP_72_TD_1500_en_1.pdf

[16] Wright W., 2012: Discussion paper on the calculation of the standard Climate normals: a proposal for a dual system. www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/GCDS_1.php www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/documents/Rev_discussion_paper_May2012.pdf

[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 Trend-analyse 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: DürreEstate im Schweizer Mittelland seit 1525. Workshopbericht «Trockenheit in der Schweiz», Organe Consultatif sur les Changements Climatiques (OcCC), Bern. 17 S. und 2 Anhänge. www.occc.ch/reports_e.html

[25] Favaro G., Jeannet 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 multivaritae 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).

Adresses
Bundesamt für Meteorologie
und Klimatologie MeteoSchweiz
Operation Center 1
Postfach 257
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

Website
meteosuisse.admin.ch

Contact
servicecient@meteosuisse.ch

printed in switzerland

MIX
Papier aus verantwortungsvollen Quellen
Papier issu de sources responsables
Carta da fonti gestite in maniera responsabile
FSC® C016848

Swiss Climate
Klimaneutral
gedruckt
SC2015051301 • www.swissclimate.ch