

Schweizerische Eidgenossenschaft Confédération suisse Confederazione Svizzera Confederaziun svizra

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

Rapport climatologique 2023



Rapport climatologique 2023

Éditeur

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

serviceclient@meteosuisse.ch



Rédaction

Elias Zubler, Stephan Bader, Thomas Schlegel, Julien Anet

Auteurs

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

Distribution

OFCL, Vente des publications fédérales CH-3303 Berne

bundespublikationen.admin.ch/fr/

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

Impression

CO2-neutre (SC202390501) imprimé en Suisse

swissclimate.ch

Merci de bien vouloir citer le présent rapport comme suit:

MétéoSuisse 2024: Rapport climatologique 2023. Office fédéral de météorologie et de climatologie. MétéoSuisse, Zurich. 100 p.

© MétéoSuisse 2024

Table des matières

	Résumé	4					
	Summary	7					
1	Évolution du climat au cours de l'année 2023	8					
	Température, précipitations et durée d'ensoleillement de l'année 2023	13					
	Température mensuelle 2023 écart à la norme 1991–2020	14					
	Précipitations mensuelles 2023 en % de la norme 1991–2020	15					
	Durée mensuelle d'ensoleillement 2023 en % de la norme 1991–2020	16					
2	Diagrammes représentant l'évolution annuelle	18					
	Température, durée d'ensoleillement et précipitations Berne-Zollikofen	18					
	Température, durée d'ensoleillement et précipitations Lugano	19					
	Évolution annuelle du rayonnement global	20					
	Limite du zéro degré en atmosphère libre	22					
	Altitude de la tropopause	23					
	Fortes précipitations exceptionnelles	24					
	Cycle annuel du rayonnement UV erythémal	25					
	Série de mesures de l'ozone d'Arosa et Davos	26					
	Mesures de l'ozone à Payerne	28					
	Mesures des aérosols au Jungfraujoch						
	Poussières du Sahara						
	Développement de la végétation	32					
	Printemps	32					
	Été	33					
	Automne	34					
	Saison pollinique	35					
3	Particularités de l'année 2023	42					
3.1	Orage dévastateur dans le Jura neuchâtelois	43					
3.2	Vague de chaleur en août	44					
3.3	Fortes précipitations au cours du second semestre	45					
3.4	Nuages stratosphériques polaires dans le Sud de la Suisse	46					
4	Climat global et événements météorologiques	48					
4.1	Une année exceptionnellement chaude à l'échelle de la planète	48					
4.2	El Niño et La Niña	50					
4.3	Événements particuliers	51					
5	Surveillance du climat	54					
5.1	Atmosphère	56					
5.1.1	Mesures au sol	56					
5.1.2	Atmosphère libre	72					
5.1.3	Composition de l'atmosphère	78					
5.2	Terres émergées	82					
5.3	Origine des données et méthodes	88					
	Références	92					

Résumé

En 2023, la température annuelle moyenne en Suisse a atteint 7,2 °C (1,4 °C au-dessus de la norme 1991–2020), soit la deuxième valeur la plus élevée depuis le début des mesures en 1864, après 2022. En certains endroits, 2023 a même été l'année la plus chaude depuis le début des mesures. L'année 2023 s'inscrit ainsi dans la nette tendance au réchauffement des dernières décennies.

L'hiver 2022/2023 a régionalement été l'un des trois à cinq plus doux depuis le début des relevés. Dans tout le pays, les précipitations hivernales ont été inférieures à la norme. C'est surtout dans les régions du sud et du sudest du pays que l'hiver a été peu arrosé, avec 40–65% de la norme 1991–2020. En conséquence, le manteau neigeux a été largement déficitaire.

L'hiver doux et sec a été suivi d'un printemps proche de la norme et humide dans certaines régions, puis du cinquième été le plus chaud depuis le début des mesures en 1864. La température estivale moyenne sur l'ensemble de la Suisse a dépassé la norme 1991–2020 de 1,6 °C. Après un mois de juin peu arrosé, les mois de juillet et août ont été marqués par une alternance de périodes de canicule, de fortes précipitations et d'orages.

L'automne 2023 a atteint de nouveaux records de température dans certaines régions. Avec une moyenne nationale de 2,2 °C au-dessus de la norme, il s'agit du deuxième automne le plus chaud depuis le début des mesures en 1864. Septembre et octobre ont connu des évolutions très similaires, avec beaucoup de soleil et de chaleur dans la première quinzaine du mois et une phase pluvieuse dans la deuxième quinzaine. Enfin, les deux derniers mois de l'année 2023, novembre et décembre, ont été parmi les plus arrosés depuis le début des mesures.

Au niveau mondial, l'année 2023 a été de loin la plus chaude depuis le début des mesures en 1850, avec 1,1 °C de plus que la norme 1961–1990. Le passage de La Niña à El Niño au printemps est considéré comme l'une des raisons de ces températures record. La chaleur a alors dominé sur tous les continents. Les neuf dernières années depuis 2015 ont été les plus chaudes depuis le début des mesures.

Dans l'évolution à long terme des températures en Suisse entre 1864 et 2023, on voit un signal clair du changement climatique global provoqué par l'humanité. L'augmentation à long terme de la température en Suisse depuis la période de référence préindustrielle 1871–1900 jusqu'à aujourd'hui est de 2,8 °C. La dernière décennie (2014–2023) a été la plus chaude depuis le début des mesures. La température augmente à toutes les saisons. En accord avec l'augmentation générale des températures en Suisse, le nombre de jours estivaux a nettement augmenté, tandis que le nombre de jours de gel a diminué. De même, une augmentation de la limite du 0 degré a été observée. Le réchauffement général s'exprime également par un développement plus précoce de la végétation.

L'évolution des précipitations sur la période 1864–2023 est dominée par des variations décadaires et interannuelles, tant sur le Plateau qu'au Sud des Alpes. En hiver, on constate une augmentation à long terme des précipitations. Les autres saisons ne montrent aucun changement à long terme dans les sommes pluviométriques. Toutefois, des études montrent que la fréquence et l'intensité des fortes précipitations quotidiennes ont augmenté. Si l'on considère les 40 dernières années, les étés suisses sont toutefois devenus plus secs en moyenne. Outre une légère diminution des précipitations, l'augmentation de l'évaporation a contribué à ces conditions plus sèches.

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

La situation de l'ozone dans la haute atmosphère au-dessus de la Suisse est restée stable ces dernières années. Cette stabilité fait suite à une diminution de l'ozone total d'environ 6% qui s'est produite entre 1970 et 1995.





Summary

The mean annual temperature in Switzerland reached 7.2 °C in 2023 (1.4 °C above the 1991–2020 norm). It was the second-highest value since measurements began in 1864, after 2022. At some locations, 2023 was even the warmest year since measurements began. Therefore, 2023 is clearly in line with the warming trend seen over recent decades.

Regionally, the winter of 2022/2023 was one of the three to five warmest since records began. The entire country experienced a lack of precipitation during the winter. Particularly in the southern parts of the country, the precipitation sums in winter were low, reaching only 40–65% of the 1991–2020 norm in some areas. As a consequence, snow cover was also low.

The mild and dry winter was followed by a spring with temperatures largely within the normal range and regionally wet conditions, followed by the fifth warmest summer since measurements began in 1864. The average summer temperature across Switzerland was 1.6 °C above the 1991–2020 norm. After June with little precipitation, July and August saw alternating periods of heat, heavy precipitation and thunderstorms.

In autumn 2023, new regional record temperatures were reached. With a national average of 2.2 °C above the norm, it was the second warmest autumn since measurements began in 1864. September and October showed very similar patterns with plenty of sunshine and warmth in the first half of the month and a period of heavy precipitation in the second half. Finally, the last two months of 2023, November and December, were among the wettest since measurements began.

Globally, 2023 was by far the warmest year since measurements began in 1850, exceeding the 1961–1990 norm by 1.1 °C. One reason for the record-high temperatures was the change from La Niña to El Niño conditions in spring. Warmth dominated on all continents. The last nine years since 2015 have been the warmest since records began.

A clear sign of man-made global climate change is reflected in the long-term temperature trend in Switzerland from 1864 to 2023. The temperature increase in Switzerland from the pre-industrial reference period 1871–1900 to the present day amounts to 2.8 °C. The last decade (2014–2023) was the warmest since measurements began. The temperature is increasing in all seasons. In line with the general temperature increase in Switzerland, the number of summer days has risen significantly, while the number of frost days has decreased. A rise of the zero degree level can be observed in agreement with the temperature increase. The general warming is also reflected in an earlier vegetation development.

Precipitation development in the period 1864–2023 is dominated by decadal and year-to-year fluctuations both on the Swiss Plateau and on the southern side of the Alps. A long-term increase in precipitation can be observed in winter. In the other seasons, there is no long-term change in precipitation sums. However, studies show that the frequency and intensity of daily heavy precipitation has increased. On the other hand, looking at the last 40 years, Swiss summers have become drier on average. In addition to slight decreases in precipitation, increasing evaporation has contributed to the drier conditions.

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

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

Évolution du climat au cours de l'année 2023

En Suisse, l'année 2023 a débuté de manière exceptionnellement douce. Au printemps, une humidité record a pu être observée localement. En revanche, le mois de juin a été régionalement très peu arrosé. En juillet et août, des vagues de chaleur et de fortes précipitations ont suivi dans le Sud et l'Est de la Suisse. Septembre et octobre ont été très similaires, avec des records de chaleur durant la première quinzaine du mois et de fortes précipitations dans le Sud et l'Ouest de la Suisse durant la seconde quinzaine. Au Nord des Alpes, les mois de novembre et décembre ont également été très arrosés.

Deuxième année la plus chaude depuis le début des mesures

La moyenne nationale des températures annuelles a atteint 7,2 °C en 2023, soit 1,4 °C au-dessus de la norme 1991–2020. Jusqu'à présent, seule l'année 2022 s'était révélée légèrement plus chaude avec 7,4 °C (1,6 °C au-dessus de la norme 1991–2020). Sur les sites de Bâle-Binningen, Berne-Zollikofen, Samedan et Segl-Maria, 2023 a été l'année la plus chaude depuis le début des mesures en 1864. Samedan et Segl-Maria ont enregistré un net record. A Saint-Gall et Lucerne ainsi que dans la moyenne du nord de la Suisse en dessous de 1000 m, l'année 2023 s'est montrée aussi chaude que l'année record 2022.

L'année 2023 poursuit donc en Suisse la forte tendance au réchauffement de ces dernières années. Entre la période préindustrielle 1871–1900 et aujourd'hui, la température annuelle en Suisse a augmenté de 2,8 °C.

Un hiver doux

L'hiver 2022/2023 a été doux, avec 1,3 °C de plus que la norme 1991–2020. En moyenne nationale, il a été le 8^e le plus doux depuis le début des mesures en 1864. Au Sud des Alpes et en Engadine, l'hiver s'est montré entre le 3^e et le 5^e le plus doux. Au Nord des Alpes, il s'agit localement du 4^e ou 5^e hiver le plus doux depuis le début des mesures il y a 160 ans.

Un changement d'année extrêmement doux

A la fin de l'année 2022, de l'air subtropical chaud a apporté localement des températures maximales de 19 à près de 21 °C au Nord des Alpes. Cette douceur s'est maintenue durant les premiers jours de janvier. Le 1^{er} janvier, on a enregistré 20,2 °C à Delémont et 20,0 °C à Vaduz. Pour le Nord des Alpes, il s'agit de nouveaux records de température maximale la plus élevée pour un mois de janvier depuis le début des mesures.

Régionalement peu de précipitations hivernales

Les sommes de précipitations hivernales ont atteint entre 40–65 % de la norme 1991–2020 au Sud des Alpes, en Engadine ainsi que dans le Nord et le Centre des Grisons. Il s'agit de la poursuite d'un manque marqué de précipitations qui persiste depuis deux ans au Sud. La dernière période avec des cumuls mensuels souvent supérieurs à la moyenne s'est terminée en février 2021 au Sud des Alpes. Dans les autres régions, l'hiver 2022/2023 a généralement donné des cumuls de précipitations entre 70 et 90% de la norme 1991–2020.

Peu de neige

Les conditions douces et les faibles précipitations ont été défavorables au manteau neigeux alpin. A Arosa, à environ 1880 m d'altitude, la hauteur moyenne de neige n'a atteint que 30 cm entre décembre et février. La dernière fois qu'une valeur aussi basse a été enregistrée à Arosa, c'était au cours de l'hiver 2016/2017.

Une fin d'hiver ensoleillée

Au Sud des Alpes, en Engadine et en Valais, le soleil a brillé presque sans interruption du 1^{er} au 21 février. Au Nord des Alpes, l'ensoleillement a été important du 7 au 21 février. En Suisse romande, l'ensoleillement a atteint localement plus de 180 % de la norme 1991–2020. A Genève, avec 191 % de la norme, il s'agit du mois de février le plus ensoleillé depuis le début des mesures en 1897.

Température durant le printemps dans la norme

En moyenne nationale, la température durant le printemps a été supérieure de 0,2 °C à la norme 1991–2020. En revanche, dans les vallées habituellement froides, comme à Andermatt ou à Samedan et Segl-Maria, la température a dépassé la norme de 0,9–1 °C. Dans ces régions, il s'agit de l'un des dix printemps les plus doux depuis le début des mesures en 1864.

Après un mois de mars doux, la température en avril est restée souvent inférieure à la normale. Avril 2023 a été le premier mois depuis 6 mois avec une température inférieure à la moyenne nationale par rapport à la norme 1991–2020. Il fallait remonter jusqu'à septembre 2022 pour retrouver un mois avec une température légèrement inférieure à la moyenne. La température en mai 2023 a été légèrement supérieure à la moyenne nationale.

Un printemps régionalement humide

Un mois de mars et d'avril arrosé a entraîné dans les Alpes et dans le Nord-Est de la Suisse des quantités de précipitations nettement supérieures à la moyenne du printemps dans certaines régions. Vaduz, dans la Principauté du Liechtenstein, a enregistré 430 mm, soit de loin le printemps le plus arrosé depuis le début des mesures en 1961, tandis que le Säntis a enregistré 1077 mm, soit le troisième printemps le plus arrosé depuis le début des mesures en 1883. En revanche, les sommes printanières sont restées inférieures à la moyenne dans certaines régions de l'Ouest et du Sud de la Suisse.

Cinquième été le plus chaud

La température de l'été sur l'ensemble de la Suisse a atteint 1,6 °C de plus que la norme 1991–2020, ce qui correspond au 5° été le plus chaud en Suisse depuis le début des mesures en 1864. Toutefois, les troisième et quatrième étés les plus chauds se sont montrés comparables (2015: 1,8 °C au-dessus de la norme; 2019: 1,7 °C au-dessus de la norme). Seuls les étés 2022 et 2003 ont affiché plus de 2 °C au-dessus de la norme.

Vagues de chaleur

Du 9 au 11 juillet, une première vague de chaleur a touché toute la Suisse, avec des températures maximales journalières de 33–36 °C. Certains sites ont mesuré des records de température maximale la plus élevée pour un mois de juillet depuis le début des mesures. Le Sud des Alpes a connu une deuxième période de chaleur entre le 15 et le 20 juillet. Les valeurs maximales ont de nouveau atteint 32 à un peu plus de 33 °C.

A partir du 12 août, la Suisse a été touchée par une nouvelle période de chaleur, qui s'est intensifiée après le 18 août. La Suisse n'avait encore jamais connu une période de chaleur aussi longue et intense à cette époque de l'année, que ce soit au Nord ou au Sud des Alpes. De nouveaux records de température maximale la plus élevée pour un mois d'août ont été établis en août sur 27 sites disposant de longues séries de mesures. C'est à Genève qu'il a fait le plus chaud en Suisse avec une température de 39,3 °C. Il s'agit de la température la plus élevée jamais mesurée au Nord des Alpes et en Valais au cours d'un mois d'août.

Dans la nuit du 20 au 21 août 2023, l'isotherme du zéro degré a atteint l'altitude record de 5298 m au-dessus de la Suisse. Le précédent record de 5184 m, établi le 25 juillet 2022, a ainsi été largement dépassé.

Orage dévastateur dans le Jura neuchâtelois

Le 24 juillet, des vitesses de vent extrêmes ont été mesurées lors d'un orage à La Chaux-de-Fonds (chapitre 3.1). La rafale maximale a dépassé les 200 km/h. La tempête a fait un mort et 40 blessés. De nombreux bâtiments et véhicules ainsi que des parties de l'infrastructure ferroviaire ont été endommagés. De nombreux arbres se sont brisés ou ont été déracinés.

Juin peu pluvieux, août pluvieux

La pluviométrie estivale de juin à août est restée déficitaire, surtout dans la moitié occidentale de la Suisse. De grandes parties du Valais, du Sud des Alpes et de la Suisse orientale ont reçu des sommes estivales proches de la norme 1991–2020 ou légèrement supérieures.

Durant la première quinzaine de juin, un temps anticyclonique persistant a apporté beaucoup de soleil, surtout au Nord des Alpes. Dans le Nord de la Suisse, cela a conduit localement au mois de juin le plus ensoleillé depuis le début des mesures. Le revers de la médaille de ce temps ensoleillé est que les précipitations en juin sont restées en de nombreux endroits inférieures à 50%, voire à 30% de la norme 1991–2020 dans certaines régions. Sur 85 sites disposant de longues séries de mesures, le mois de juin a été le plus sec depuis le début des mesures. Parmi eux, 11 sites ont des séries de mesures de plus de 100 ans.

En juillet, les sommes mensuelles ont été nettement supérieures à la moyenne dans de nombreuses régions de Suisse. En revanche, en Suisse romande, les valeurs sont restées largement déficitaires. Le 17 juillet 2023, un incendie de forêt s'est déclaré dans le Haut-Valais et s'est rapidement étendu à une grande surface. Les travaux d'extinction, qui ont nécessité l'intervention d'hélicoptères, ont duré plusieurs jours. Le mois d'août a été marqué par une période d'intempéries vers la fin du mois, avec de grandes quantités de précipitations au Sud des Alpes et dans certaines parties de la Suisse orientale. De ce fait, les sommes en août ont largement dépassé la norme 1991–2020 dans certaines régions. Dans certains sites disposant de longues séries de mesures, il s'agit du mois d'août le plus arrosé depuis le début des mesures. En revanche, dans la moitié occidentale de la Suisse, les sommes en août sont souvent restées déficitaires.

Précipitations record en août

Pendant les intempéries du 26 au 29 août, il est parfois tombé au Tessin et dans la Mesolcina des sommes de 200–300 mm en 3 jours. La valeur la plus élevée a été signalée à Biasca avec 387 mm. Dans les régions limitrophes du Nord et du Centre des Grisons, les sommes sur 3 jours ont atteint régionalement 170–270 mm. Dans la région de l'Alpstein, en Suisse orientale, plusieurs sites ont mesuré des sommes sur 3 jours supérieures à 200 mm. Sur quatre sites disposant de mesures de plus de 100 ans et sur quatre sites avec des mesures de plus de 60 ans, il s'agit de la somme de 3 jours la plus élevée depuis le début des mesures.

Ces fortes pluies ont été précédées de violents orages. Le soir du 25 août en particulier, un orage très intense a provoqué une forte chute de grêle dans la région de Locarno, avec des grêlons de 4–7 cm de diamètre. De telles tailles de grêlons ne sont attendues ici que tous les 30–50 ans, voire plus rarement.

Automne régionalement le plus chaud depuis le début des mesures

Au Nord des Alpes, plusieurs stations ont enregistré l'automne le plus chaud depuis le début des mesures en 1864. A Genève, l'automne a dépassé de 2,4 °C la norme 1991–2020. L'automne 2006, le plus chaud jusqu'à présent, y avait été 2 °C au-dessus de la norme. Au Sud des Alpes, Locarno Monti a enregistré 1,7 °C au-dessus de la norme. L'automne record de 2018 s'était révélé tout aussi chaud avec 1,8 °C au-dessus de la norme 1991–2020.

En moyenne nationale, avec 2,2 °C au-dessus de la norme, il s'agit du deuxième automne le plus chaud depuis le début des mesures en 1864. L'automne record de 2006 s'était montré légèrement plus doux avec une moyenne nationale de 2,5 °C au-dessus de la norme 1991–2020.

Douceur extrême et beaucoup de soleil

Une période durablement très douce et ensoleillée durant la première moitié de septembre et la première moitié d'octobre a conduit au mois de septembre le plus chaud et au deuxième mois d'octobre le plus chaud depuis le début des mesures. Dans certaines régions, la période sur 14 jours la plus chaude a été enregistrée aussi bien pour le mois de septembre que pour le mois d'octobre. Localement, les valeurs ont dépassé d'environ 2 °C les valeurs maximales enregistrées jusqu'à présent. En septembre, l'isotherme du zéro degré a atteint 5253 m, soit la deuxième valeur la plus élevée jamais enregistrée.

Grâce à la persistance d'un temps ensoleillé durant la première quinzaine de septembre et celle d'octobre, plusieurs sites au Nord des Alpes disposant de mesures depuis plus de 100 ans ont enregistré l'un des automnes les plus ensoleillés depuis le début des mesures. Lucerne a enregistré l'automne le plus ensoleillé avec 440 heures de soleil. Toutes les valeurs automnales mesurées jusqu'à présent étaient inférieures à 400 heures. Genève et Neuchâtel ont enregistré de justesse un nouveau record d'automne avec 481 et 479 heures d'ensoleillement. Le précédent record était d'environ 470 heures d'ensoleillement pour les deux sites.

Précipitations abondantes

En ce qui concerne l'évolution des précipitations, les deux mois d'automne, septembre et octobre, ont également présenté un schéma similaire. Durant la deuxième moitié du mois, de fortes précipitations ont été enregistrées dans certaines régions. En septembre, ce sont surtout le Sud des Alpes et les régions limitrophes du canton des Grisons qui ont été touchés. Dans la deuxième moitié du mois d'octobre, un courant humide du sud-ouest a provoqué une période de trois jours de fortes précipitations au Sud des Alpes et en Suisse romande.

En novembre, un temps humide persistant a entraîné des sommes de précipitations bien supérieures à la moyenne au Nord des Alpes et en Valais. Dans le Nord et le Nord-Est de la Suisse, il s'agit localement du mois de novembre nettement le plus arrosé depuis le début des mesures.

Les trois mois d'automne réunis ont apporté des quantités de précipitations souvent excédentaires. Dans certaines régions, il est tombé entre 150 et 180 % de la norme 1991–2020. Très localement, il s'agit de l'un des automnes les plus arrosés depuis le début des mesures. Elm (GL) a enregistré 700 mm, soit le deuxième automne le plus pluvieux depuis le début des mesures en 1878. L'automne record de 2002 y avait atteint près de 730 mm.

Première neige à basse altitude

Du 29 au 30 novembre, une offensive hivernale a provoqué des chutes de neige jusqu'à basse altitude au Nord des Alpes. Sur une grande partie du territoire, on a pu mesurer une première couche de neige de 2–5 cm. Dès le 2 décembre, un manteau neigeux s'est de nouveau constitué sur le Nord du Plateau. Les quantités de neige fraîche ont localement été exceptionnelles. A Zurich-Fluntern, il est tombé 26 cm en l'espace d'une journée. Il s'agit de la plus grande quantité de neige fraîche tombée en 24 heures à cet endroit pour la période comprise entre la mi-novembre et la mi-décembre.

Dans les Alpes orientales, entre le 1^{er} et le 3 décembre, il y a eu localement de grandes quantités de neige fraîche en l'espace d'une journée. On a mesuré 30 cm à Saint-Gall, 47 cm à Scuol, 48 cm à Elm et 65 cm à Arosa.

Inondations

Du 8 au 15 décembre, un courant d'ouest à nord-ouest a amené de l'air doux et humide en direction des Alpes. Entre le 9 et le 13 décembre, des quantités considérables de pluie sont tombées sur une grande partie de la Suisse occidentale et centrale. Localement, il y a eu en quatre jours autant de précipitations que ce que l'on peut normalement attendre sur tout un mois de décembre.

Dans l'air doux, la limite des chutes de neige est montée pendant plusieurs jours jusqu'à 1500–2200 m d'altitude. Cela a déclenché, en plus des précipitations parfois importantes, une fonte importante du manteau neigeux. Les grandes quantités d'eau écoulées ont entraîné des crues régionales dans les rivières et les lacs.

Décembre arrosé

Peu avant Noël, le Nord des Alpes a de nouveau reçu de grandes quantités de précipitations. Le temps pluvieux en décembre a finalement conduit à des sommes mensuelles régionalement élevées. Dans les Alpes orientales, elles ont atteint localement près de 300% de la norme 1991–2020. Plusieurs sites ont mesuré l'un des trois mois de décembre les plus arrosés depuis le début des mesures. Elm (GL) a enregistré 287 mm, Thoune 137 mm, soit le mois de décembre le plus arrosé depuis le début des mesures il y a plus de 140 ans.

Records de température au Sud

Alors que l'humidité a dominé au Nord des Alpes en décembre, le foehn du nord a apporté des températures supérieures à 20 °C au Sud des Alpes. Le 23 décembre a été extrêmement doux. A Locarno Monti, la température maximale journalière a atteint le record de décembre de 22,3 °C. Parallèlement, le minimum journalier de 12,6 °C a également atteint un record pour un mois de décembre. Outre Locarno Monti, d'autres sites ont mesuré des records de température maximale la plus élevée pour un mois de décembre.

Bilan annuel

En 2023, la température annuelle a dépassé la norme 1991–2020 de 1,3–1,7 °C dans de nombreuses régions de Suisse. En Valais, au Sud des Alpes et en Engadine, les valeurs ont généralement oscillé entre 1,0 et 1,5 °C au-dessus de la norme. En moyenne nationale, la température annuelle a dépassé de 1,4 °C la norme 1991–2020.

Les précipitations en 2023 ont souvent atteint 90–120% de la norme 1991–2020. Sur la partie orientale des versants nord des Alpes et en Valais, les valeurs ont localement dépassé 130% de la norme. A Elm (GL), avec 2122 mm, l'année 2023 a été la plus arrosée depuis le début des mesures en 1879. A Sion, avec 822 mm, l'année fait partie des 10 plus arrosées (début des mesures en 1865). Avec environ 170% de la norme, Vaduz a enregistré l'année nettement la plus arrosée de la série de mesures qui s'étend sur environ 60 ans.

L'ensoleillement annuel en 2023 a souvent atteint l'équivalent de 90–120% de la norme 1991–2020.

Les chiffres du bilan annuel pour quelques sites de mesure figurent dans le Tableau 1.1. La répartition spatiale des températures, des précipitations et de la durée d'ensoleillement sont représentés dans les Figure 1.1–1.4.

Station	Altitude	Ten	npérature	[°C]	Ensoleillement [h]			Précipitations [mm]			
	m	moyenne	norme ¹	écart ²	moyenne	norme	% ³	moyenne	norme	% ³	
Berne	553	11.1	9.3	1.8	1993	1797	111	1080	1022	106	
Zurich	556	11.4	9.8	1.6	1812	1694	107	1160	1108	105	
Genève	420	12.7	11.0	1.7	2059	1887	109	1016	946	107	
Bâle	316	12.7	11.0	1.7	1789	1687	106	775	842	92	
Engelberg	1036	8.3	6.8	1.5	1407	1380	102	1834	1568	117	
Sion	482	11.8	10.7	1.1	2182	2158	100	822	583	141	
Lugano	273	14.3	13.0	1.3	2309	2120	109	1462	1567	93	
Samedan	1709	3.8	2.4	1.4	1745	1767	99	872	710	123	

¹ moyenne climatologique 1991–2020

² écart à la norme

³ rapport à la norme (norme = 100%)

Rapports mensuels et saisonniers 2023: Bulletins climatologiques

Tableau

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

Température, précipitations et durée d'ensoleillement de l'année 2023

Valeurs mesurées en 2023

Températures moyennes annuelles en °C



Écarts par rapport à la norme 1991-2020

Écart à la norme de la température moyenne en °C



Somme annuelle des précipitations en mm

Somme des précipitations en % de la norme





Rapport à l'ensoleillement annuel maximal en %

Figure 1.1

Répartition spatiale des températures, des précipitations et de la durée d'ensoleillement en 2023. Les valeurs mesurées sont représentées à gauche et les rapports à la norme climatologique 1991–2020 à droite.

Température mensuelle 2023 écart à la norme 1991–2020

Janvier 2023

Février 2023

Mai 2023

Août 2023

Novembre 2023

Mars 2023

Juin 2023

Juillet 2023

Avril 2023

Octobre 2023

Décembre 2023

7 6 5 4 3 2 1 0 -1 -2 -3 -4 -5 -6 -7

Précipitations mensuelles 2023 en % de la norme 1991–2020

Janvier 2023

Février 2023

Mars 2023

Avril 2023

Juillet 2023

Mai 2023

Août 2023

Septembre 2023

Octobre 2023

35 15

65

Décembre 2023

300 180

120 95

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

Durée mensuelle d'ensoleillement 2023 en % de la norme 1991-2020

Janvier 2023

Mars 2023

Avril 2023

Mai 2023

Août 2023

Novembre 2023

Juin 2023

Juillet 2023

Octobre 2023

95

75 50

Décembre 2023

140 115

200

Répartition spatiale de la durée mensuelle d'ensoleillement en % de la norme 1991-2020.

2 Diagrammes représentant l'évolution annuelle

Température, durée d'ensoleillement et précipitations

Berne-Zollikofen (553 m) 1.1. au 31.12.2023

Figure 2.1

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

Écart à la norme (période standard 1991–2020)

Intervalle entre maximum et minimum (période 01.1864–12.2022)

Durée mensuelle d'ensoleillement en h Somme: 1993,3; Norme: 1797,1

Somme mensuelle des précipitations en mm Somme: 1079,9; Norme: 1021,8

Minimum (période 01.1864–12.2022)

Température, durée d'ensoleillement et précipitations

Lugano (273 m) 1.1. au 31.12.2023

Moyenne mensuelle de la température de l'air en °C Moyenne: 14,2; Norme: 13,0

Figure 2.2

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

Durée mensuelle d'ensoleillement en h Somme: 2309,0; Norme: 2119,8

Intervalle entre maximum et minimum (période 01.1864–12.2022)

Durée d'ensoleillement maximale possible

Somme mensuelle des précipitations en mm Somme: 1461,8; Norme: 1566,6

Les diagrammes d'évolution annuelle pour toutes les stations du réseau suisse de mesures climatiques [1]: meteosuisse.admin.ch/climat/climat/climat-de-la-suisse/evolution-annuelle-de-la-temperature-des-precipitations-et-de-la-duree-d-ensoleillement.html

Évolution annuelle du rayonnement global

Par rayonnement global, on entend l'ensemble du rayonnement solaire à ondes courtes qui atteint la surface de la terre sur une surface horizontale. Le rayonnement global revêt une importance particulière, notamment dans le contexte de la production d'énergie.

En 2023, le rayonnement global moyen annuel a atteint des valeurs maximales allant jusqu'à 185 W/m² (Figure 2.3). Les valeurs les plus élevées ont également été mesurées en 2023 sur la crête principale des Alpes. Sur le Plateau et au Tessin, le rayonnement solaire a été nettement inférieur à celui de l'année précédente, avec 140–165 W/m². Les valeurs se sont toutefois situées dans la moyenne de la période de comparaison 2004–2022.

Les valeurs de rayonnement solaire les plus basses ont été enregistrées sur le Plateau dans la région autour du lac de Constance avec 140 W/m². Dans l'extrême ouest de la Suisse, dans la région de Genève, on a enregistré des valeurs de rayonnement solaire nettement plus élevées avec 154 W/m². Le rayonnement solaire dans les régions de montagne s'est nettement distingué du reste de la Suisse: alors qu'à Lugano, au Tessin, on a enregistré 164 W/m², le rayonnement solaire annuel au Jungfraujoch a été de 179 W/m².

Figure 2.3

Moyenne annuelle du rayonnement global (W/m²) pour 2023, à partir de données satellites. Les cercles donnent les mesures correspondant aux données des stations. Etant donné que les satellites mesurent sur une grille de 2 x 2 km et que les stations au sol mesurent en un point, il existe des différences dues à l'ombrage local, aux bancs de brouillard locaux et aux altitudes différentes.

Par rapport à la moyenne 2004–2022, 2023 a été une année de rayonnement solaire dans la norme. Dans le Nord de la Suisse, des valeurs supérieures de 5–7 W/m² ont été mesurées par endroits, tandis que dans les régions de basse altitude du Sud de la Suisse, les valeurs ont été dans la moyenne. Dans les régions de montagne, des valeurs inférieures de 5–7 W/m² sont apparues par endroits.

Sous nos latitudes, le rayonnement global présente un cycle saisonnier marqué, qui suit la trajectoire du soleil (Figure 2.4). Les moyennes journalières du rayonnement global varient toutefois extrêmement fortement en raison de la nébulosité qui change chaque jour. L'année 2023 a été extrêmement variable en termes de rayonnement global. Dans presque toute la Suisse, les mois de janvier et février se sont situés dans la norme, avec une alternance de périodes ensoleillées et de périodes sombres. Seule la Suisse romande a enregistré des valeurs nettement plus élevées en février. Le mois de mars a été très sombre dans toute la Suisse. Dans le Nord de la Suisse, le mois d'avril a été plus nuageux que la moyenne. En mai, le rayonnement global a été dans la moyenne. Le mois de juin a été très ensoleillé en Suisse, presque sans interruption. Après des mois de juillet et août dans la moyenne, la première moitié de septembre et le mois d'octobre ont été marqués par une longue période de journées très ensoleillées. Le reste de l'année a été sombre, comme c'est généralement le cas à cette époque de l'année.

Figure 2.4

Moyenne journalière du rayonnement global pour toute la Suisse pour 2023. 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 2004–2022.

Limite du zéro degré en atmosphère libre

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

La Figure 2.5 montre l'évolution annuelle des altitudes journalières du zéro degré pendant l'année 2023. Les valeurs sont représentées autant en valeur absolue (mètre au-dessus du niveau de la mer) que par rapport aux valeurs de référence journalières calculées sur la période de référence 1991–2020 (courbe noire). Les zones en bleu et en rouge dans le graphique montrent les anomalies par rapport à la référence. La valeur médiane 1991-2020 est égale à 2605 m. La médiane annuelle de l'altitude du zéro degré en 2023 est égale à 2715 m, soit 110 m plus haut que la médiane de référence et 115 m plus bas que la médiane de l'année 2022. Le pourcentage d'anomalies négatives pendant l'année 2023 est de 43,3 %, par rapport à la valeur de 36,4 % de l'année 2022. Par conséquent, le pourcentage

des anomalies positives (en rouge) durant l'année 2023 a diminué par rapport à l'année 2022 en passant de 63,6% à 56,7%. La valeur maximale de la série annuelle a été mesurée le 21 août 2023 avec une valeur de 5152 m, soit 433 m plus haut qu'en 2022. Ceci est aussi le record absolu depuis le début des mesures en 1954. Le 20 janvier, l'altitude mesurée de -919 m, représente le minimum de la série annuelle, soit 380 m plus bas qu'en 2022. Les mois de janvier, février et décembre présentent des valeurs journalières en dessous du niveau du sol dont une partie dépasse le 5^e centile (barres bleues dépassant la courbe grise inférieure). Au total, le pourcentage d'anomalies négatives en dessous du 5^e centile a été de 3,3 %. A l'opposé, le pourcentage des jours où les écarts de la limite de zéro degré par rapport à la référence dépassent le seuil du 95^e centile en 2023 (barres rouges dépassant la courbe grise supérieure) équivaut à 14,2%.

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

Figure 2.5

Altitude de la limite du zéro degré en atmosphère libre au-dessus de Payerne en 2023 mesurée par le radiosondage aérologique de 23 h UTC et 11 h UTC. La valeur médiane (période de référence 1991-2020) a été calculée avec des données homogénéisées et lissées avec un filtre numérique (ligne noire). Les lignes grises en dessus et dessous de la valeur de référence montrent les percentiles 5 % et 95 % de la distribution de données.

Médiane 2023: 2715 m; Norme 1991-2020: 2605 m

Altitude de la tropopause

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

La série temporelle en Figure 2.6, montre l'évolution annuelle des valeurs médianes journalières de la hauteur de la tropopause pendant l'année 2023. Une température plus élevée dans la colonne d'air entraîne une tropopause plus haute. C'est pourquoi la médiane de la période normale 1991–2020 (ligne noire) présente une évolution annuelle marquée, avec des valeurs plus élevées en été et plus basses en hiver. Les altitudes de la tropopause sont représentées autant en valeur absolue (mètres au-dessus du niveau de la mer) que par rapport aux valeurs médianes journalières calculées sur la période de référence 1991-2020. Les valeurs en bleu et en rouge dans le graphique montrent les anomalies par rapport à la valeur de référence. L'arrivée d'une masse d'air polaire (ou arctique) dans l'atmosphère au-dessus de la Suisse a comme conséguence un abaissement de la hauteur de la tropopause, qui selon les différents cas peut atteindre une valeur plus basse que la référence (en bleu). Au contraire, lors de l'arrivée d'une masse d'air chaud d'origine tropicale (maritime ou continentale) au-dessus de la Suisse, la hauteur de la tropopause augmente (en rouge) par rapport aux valeurs

Médiane 2023: 11'722 m; Norme 1991-2020: 11'255 m

de référence. La médiane des valeurs de hauteur de la tropopause pour l'année 2023 a été de 11'722 m, c'est-àdire 467 m plus haut que la médiane de référence placée à 11'255 m. Les valeurs médianes journalières ont été plus basses que la valeur de référence dans le 43,3 % du temps (en bleu). Les valeurs médianes journalières sont restées au-dessus de la norme pendant le 56,7 % du temps. Les valeurs mesurées ont été au-dessus de la valeur de référence quasi-systématiquement pendant la période estivale entre mi-mai et la première moitié d'octobre avec peu d'anomalies négatives comme pendant l'année précédente 2022. Les deux plus longues séries ininterrompues d'anomalies négatives ont été mesurées pendant la deuxième partie de janvier et entre mi-octobre et mi-novembre.

Par rapport à l'année précédente, le nombre d'extrêmes chauds en 2023 a augmenté et représente le 12,1 % des écarts positifs qui ont dépassé le 95^e centile. Seulement le 5,8 % des anomalies négatives sont restées en dessous du 5^e centile. La hauteur maximale de l'année a été mesurée le 3 août avec une tropopause à 15'584 m d'altitude. Le 21 janvier, le minimum de l'altitude de la tropopause de 7897 m a été enregistré.

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

14'000 12'000 10'000 6000 HAN FEV MARS AVB MAL JUIN JUIL AQÙT SEP OCT NOV DEC

Figure 2.6

Altitude de la tropopause au-dessus de Payerne en 2023 mesurée par le radiosondage aérologique de 23 h UTC et 11 h UTC. La valeur médiane (période de référence 1991-2020) a été calculée avec des données homogénéisées et lissées avec un filtre numérique (ligne noire). Les lignes grises en dessus et dessous de la valeur de référence montrent les percentiles 5 % et 95 % de la distribution de données.

Fortes précipitations exceptionnelles

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

Les précipitations journalières les plus extrêmes de l'année 2023 ont été liées à la dépression «Rea» (voir chapitres 1 et 3). Du 26 au 29 août, elle a provogué au Tessin et dans les régions limitrophes du Nord et du Centre des Grisons des sommes extrêmement élevées sur un ou plusieurs jours. Le 26 août 2023, 192 mm de précipitations ont été enregistrés à Biasca. Une telle valeur est dépassée à cet endroit tous les 20 ans environ. Le jour suivant, les précipitations

les plus extrêmes se sont déplacées vers la région du Rhin postérieur. Ainsi, les stations d'Innerferrera et de Splügen ont mesuré respectivement 165 mm et 158 mm de précipitations en l'espace de 24 heures. A Innerferrera, il s'agit de la somme de précipitations journalières la plus élevée jamais atteinte à cet endroit de mesure, avec une période de retour estimée à un peu plus de 100 ans. Les autres stations de la région (Andeer, Piz Martegnas) ont enregistré des sommes de précipitations de 130 mm et plus le même jour. Les périodes de retour correspondantes se sont situées dans une fourchette de 50–90 ans. Dans les autres parties du Centre des Grisons, on a enregistré entre 70 et 100 mm de précipitations le 27 août, avec des périodes de retour de 10 à 25 ans. Des précipitations exceptionnelles ont également été enregistrées une nouvelle fois le 28 août, cette fois sur les sites de Brülisau (134 mm, période de retour d'environ 45 ans) et de Kronberg (131 mm, période de retour d'environ 35 ans).

Dans le reste du pays, il n'y a eu en 2023 que des précipitations journalières isolées avec des périodes de retour supérieures à dix ans (figure 2.7).

- Événements printaniers (MARS, AVR, MAI)
- Événements estivaux (JUIN, JUIL, AOÛT)
- Événements automnaux (SEP, OCT, NOV)

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

importantes sommes de précipitations sur 1 jour (6h à 6h) en 2023, différenciés par saison.

Cycle annuel du rayonnement UV erythémal

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

La comparaison des moyennes glissantes mensuelles avec les cycles annuels moyens montre qu'en 2023 le rayonnement UV a été plus élevé que le cycle annuel moyen en février et durant la fin de l'été et en automne à toutes les stations (Figure 2.8).

Pour le reste de l'année, des différences entre stations sont visibles. À Locarno-Monti et Payerne, des valeurs élevées du rayonnement UV ont eu lieu fin mai et en juin, alors qu'à Davos c'était le cas en juin et juillet et depuis mi-avril jusqu'à mi-juin au Jungfraujoch. De plus, le rayonnement UV au Jungfraujoch a été significativement plus bas que le cycle annuel moyen en juillet, alors que ce n'est pas le cas aux autres stations. Hormis les facteurs liés à la position du soleil dans le ciel et à l'altitude, qui ne changent pas d'une année à l'autre, les principaux facteurs influencant l'intensité du rayonnement UV sont la couverture nuageuse et la quantité d'ozone dans l'atmosphère (principalement dans la couche d'ozone). Par rapport aux années précédentes, un déficit de la quantité d'ozone dans l'atmosphère a eu lieu en février et dans la deuxième moitié de décembre, mais pas le reste de l'année. Les valeurs du rayonnement UV plus élevées que la moyenne, observées en février sont donc en partie dues à la faible guantité d'ozone dans l'atmosphère à ce moment, mais pour le reste de l'année, ce sont des variations de l'ensoleillement qui sont responsables des différences observées.

Figure 2.8

Moyennes journalières 2023 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 1995–2022 (Davos), 1997–2022 (Jungfraujoch), 1998–2022 (Payerne) et 2001–2022 (Locarno-Monti).

- lournalier
- Mensuel 2023
- Mensuel climatologie

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

Les mesures de la colonne d'ozone ont été toutes effectuées à Arosa depuis 1926 puis à Davos depuis 2018. En 2023, l'évolution annuelle de la colonne totale d'ozone à Davos (Figure 2.9) montre la fluctuation annuelle typique, avec les valeurs élevées en hiver et au printemps et les valeurs plus basses en automne. L'évolution annuelle de la colonne totale d'ozone est dominée par le transport d'ozone à partir de la région du Pôle Nord, où l'on atteint le niveau maximum d'ozone à la fin de la nuit polaire, donc au début du printemps. La période de référence 1926–1970 correspond à l'état de la couche d'ozone avant la perturbation d'origine anthropique. La baisse continue de l'ozone total mesurée depuis Arosa a débuté vers 1970, époque à laquelle les émissions de substances responsables de la destruction de la couche d'ozone ont fortement augmenté. A partir des années 2000, on observe une stabilisation de la colonne d'ozone en dessus de la Suisse.

En 2023, les valeurs d'ozone ont été significativement inférieures à celles de la période de référence pour les mois de février et décembre dues à des événements de déplacement du vortex polaire. Pour le reste de l'année, elles sont restées légèrement inférieures aux valeurs de la période de référence.

Figure 2.9

Évolution annuelle de la colonne totale d'ozone mesurée à Davos en 2023. 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. **Courbe noire: moyennes** journalières. Courbe rouge: moyennes mensuelles. La courbe bleue montre le cycle annuel moyen au coursde la période 1926–1970, avant que ne survienne le problème de la destruction de la couche d'ozone.

- Moyenne journalière 2023
- Moyenne mensuelle 2023
- -- Moyenne mensuelle 1926-1970
- Percentiles 10% et 90% 1926-1970

Les profils d'ozone sont mesurés par un spectrophotomètre Dobson depuis 1956 à Arosa, puis dès octobre 2018 à Davos, ce qui constitue la plus longue série temporelle au monde. La variation annuelle d'ozone en DU pour 2023 est représentée en couleur sur le graphique suivant (Figure 2.10) et les valeurs moyennes des années 1970 à 1980 sont représentées en noir (courbes de niveaux pour 20, 40, 60 et 80 DU). Ceci permet de visualiser en fonction de l'altitude les différences des valeurs d'ozone de l'année en cours par rapport aux valeurs climatologiques. Les profils d'ozone stratosphérique de l'année 2023 ont présenté des valeurs inférieures à la moyenne climatologique entre le 10 et le 15 févier lors du déplacement du vortex polaire sous nos latitudes suite à un réchauffement strosphérique soudain (Sudden Stratospheric Warming¹).

Figure 2.10

Les profils d'ozone mesurés par un spectrophotomètre Dobson à Davos en 2023. 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 1h. La variation annuelle d'ozone en ppm pour 2023 est représentée en couleur dans le graphique suivant (Figure 2.11) et la variation annuelle pour 2022 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 2023. Le graphique montre la concentration volumique relative d'ozone (VMR) en parties par million (ppm) (échelle de droite entre 0 et 10 ppm).

Les mesures de la distribution verticale de l'ozone dans l'atmosphère jusqu'à une altitude d'environ 35 km sont réalisées dans le cadre des lâchers de ballons-sondes. Les données recueillies permettent de déterminer l'évolution dans le temps de la quantité d'ozone dans les différentes couches de l'atmosphère. La figure suivante (Figure 2.12) montre l'évolution détaillée pour l'année 2023 pour quatre niveaux d'altitude distincts:

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

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

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

Figure 2.12

Évolution de la concentration d'ozone (pression partielle en nanobars) en 2023 pour deux niveaux dans la troposphère (niveaux 925 hPa ~800 m et 300 hPa ~9000 m) et deux niveaux dans la stratosphère (niveau 40 hPa ~22'000 m et 15 hPa ~28'000 m). Les couleurs correspondent à un critère de qualité basé sur la comparaison avec une mesure indépendante de la colonne d'ozone depuis la station de Davos (bleu: très bon accord; vert: bon accord; rouge: différence significative).

Mesures des aérosols au Jungfraujoch

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

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

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

En 2023, la charge de poussière provenant du Sahara a été modérée (Figure 2.13). Les tendances à long terme montrent une diminution de la concentration d'aérosols au Jungfraujoch, qui se superpose au cycle annuel. Les paramètres ont donc tendance à être inférieurs à la référence 1995–2022. Les périodes où la température et l'ensoleillement sont supérieurs à la référence (juin à octobre) coïncident toutefois avec une concentration d'aérosols également supérieure à la référence.

Figure 2.13

Évolution en 2023 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 1995–2022, et les courbes grises aux 5^e et 95^e percentiles.

Poussières du Sahara

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

Une climatologie sur dix-sept ans (2001–2017) des incursions de poussière du Sahara a été établie avec les mêmes instruments (Figure 2.14). Cette climatologie a montré que 10–50 incursions sont mesurées chaque année, correspondant à 200–700 heures. De manière générale, les incursions de poussière du Sahara durant le printemps (de mars à juin) ainsi qu'aux mois d'octobre et de novembre contribuent fortement à la pollution par les aérosols sur

h

2015–2022 2023 les Alpes. L'été, ces incursions sont plus rares mais parfois longues alors qu'en l'hiver, elles sont en général de très courte durée. La plupart des incursions (~50%) ne durent que quelques heures alors que 25% d'entre elles dure plus d'un jour.

En raison d'un changement d'instrument, la climatologie actuelle ne prend donc en compte que les dernières années depuis 2015. Les incursions de poussières du Sahara ont été nombreuses pendant l'automne avec une incursion particulièrement longue du 6 au 13 octobre 2023.

Figure 2.14

Nombre d'heures par mois d'incursions de poussières minérales d'une durée d'au moins 6 heures à la station de mesures du Jungfraujoch pour la période 2015–2022 et pour 2023.

Développement de la végétation

L'année phénologique 2023 a commencé par la floraison la plus précoce des noisetiers depuis le début des observations en 1953 et s'est terminée par l'une des colorations des feuilles les plus tardives du hêtre depuis 1951 et par la coloration des feuilles la plus tardive de plusieurs espèces d'arbres observées depuis 1996 (Figure 2.15). Entre ces deux dates, la végétation printanière s'est développée dans un cadre temporel normal. A partir de juin, le développement de la végétation est devenu plus précoce. Les tilleuls ont fleuri cinq jours plus tôt que la moyenne 1991–2020 et lors de la maturation des fruits du sureau noir et de la vendange, l'avance a déjà été de 11 à 13 jours. Les mois de septembre et d'octobre très chauds ont entraîné cette coloration très tardive des feuilles.

L'année en cours est comparée à la période 1991–2020. Les données de cette période sont divisées en classes. En moyenne, 50% de tous les cas sont classés comme normaux, 15% comme étant précoces ou tardifs et les 10% les plus extrêmes comme étant très précoces ou très tardifs. Les écarts en jours par rapport à la moyenne de la période de comparaison sont indiqués pour les 50% moyens de toutes les observations en 2023 (c'està-dire pour le quantile 25% et le quantile 75%) ou pour la médiane de toutes les stations. Certaines phases phénologiques ne sont observées que depuis 1996. Pour ces phases, l'écart par rapport à la période 1996–2020 est indiqué. Les observations phénologiques ont débuté en 1951–1953.

Printemps

La floraison des noisetiers a été la plus précoce depuis le début de leur observation en 1953, avec une avance de 22 jours sur la moyenne de la période de comparaison 1991-2020, calculée sur l'ensemble des stations d'observation de Suisse. La floraison des noisetiers avait eu lieu presque aussi tôt en 2020. Le début de la floraison a été observé au Nord des Alpes à partir du 26 décembre et la floraison générale à partir du 2 janvier. Il est intéressant de noter que la première observation en provenance Tessin a été faite plus tard, le 5 janvier. Cela est également étayé par la mesure du pollen de noisetier, où les concentrations ont augmenté plus tôt au Nord des Alpes qu'au Tessin. Cela s'explique par le fait que les températures ont parfois été plus élevées au Nord des Alpes qu'au Tessin pendant la phase très douce qui a débuté le 20 décembre. Après la floraison de nombreux noisetiers en plaine durant la première quinzaine de janvier, la poursuite de leur floraison a été interrompue dès la mi-janvier par des températures basses. Ce n'est qu'à partir de fin janvier et début février que les noisetiers ont pu refleurir. Avec le temps ensoleillé et chaud à partir de la mi-février, les observations de noisetiers en fleurs ont augmenté. De la plaine, la floraison s'est alors déplacée vers des altitudes comprises entre 600 et 1100 m. Dans l'ensemble, plus de 70 % des observations ont été classées comme «très précoces» et «précoces».

Le pas-d'âne (ou tussilage) en fleur a été observé à partir de la mi-février. En mars, il a fleuri en plaine et en montagne. A Pontresina, par exemple, sa floraison a été observée le 20 mars, soit 3 semaines plus tôt que la normale. Le manque de neige et la fonte précoce de la neige en sont la cause. Si l'on considère l'ensemble des stations, la floraison des pas-d'âne s'est produite 10 jours plus précocement que la moyenne.

L'anémone des bois a fleuri à partir de la mi-mars avec une avance de 7 jours sur la moyenne. La dent-de-lion (ou pissenlit officinal) et la cardamine des prés ont fleuri dès la fin mars, avec une avance 3 à 6 jours sur la moyenne.

La fraîcheur du mois d'avril a freiné la poursuite du développement de la végétation, de sorte que les arbres fruitiers ont commencé à fleurir à partir de début avril et que le feuillage des arbres s'est déployé à partir de mi-avril, à peu près à une date moyenne. En dessous de 600 m, les cerisiers ont fleuri en moyenne le 12 avril, les poiriers le 19 avril et les pommiers le 26 avril. Environ 70% de toutes les observations ont pu être classées dans la catégorie «normale». Lorsque les arbres fruitiers fleurissent à une date normale, le risque de dégâts dus au gel tardif est moins élevé que lorsque la floraison est très précoce.

Le déploiement des feuilles des arbres à feuilles caduques a commencé au Tessin à partir de la dernière décade de mars et au Nord des Alpes à partir de début avril. Des feuilles vertes de hêtre ont été observées de manière accrue en plaine à partir de la mi-avril. En dessous de 600 m, la date moyenne a été le 24 avril, de 600 à 1000 m, le 2 mai et au-dessus de 1000 m, le 7 mai.

Le déploiement des feuilles des bouleaux, noisetiers, sorbiers des oiseleurs, hêtres et des aiguilles des mélèzes ont eu lieu à une date moyenne, avec -1 à +2 jours de différence par rapport à la moyenne. L'érable, qui a bourgeonné un peu plus tard, et les tilleuls à grandes feuilles et à petites feuilles ont eu un retard de 3 à 5 jours. En dessous de 600 m, les tilleuls à grandes feuilles ont déployé leurs feuilles en moyenne le 24 avril et les tilleuls à petites feuilles et l'érable le 29 avril.

En mai, les aiguilles des mélèzes se sont déployées à des altitudes supérieures à 1000 m et, jusqu'à la fin du mois, on a pu observer des mélèzes verts jusqu'à 1900 m. Le déploiement des aiguilles de l'épicéa a commencé fin avril en plaine et s'est déplacé en mai jusqu'à 1600 m environ. Dans l'ensemble, les aiguilles d'épicéa se sont déployées 2 jours plus tard que la moyenne.

Les marguerites ont commencé à fleurir à partir de fin avril, début mai. En dessous de 600 m, les marguerites ont eu 2 jours d'avance sur la moyenne, mais au-dessus de 1000 m, elles ont eu 7 jours d'avance, car la température en mai a de nouveau été légèrement supérieure à la norme 1991–2020. En moyenne, les marguerites ont fleuri le 30 mai au-dessus de 1000 m d'altitude.

Les nombreuses journées de précipitations en mai ont rendu la fenaison difficile. En plaine, le foin a été récolté un peu plus souvent à partir de la mi-mai et ensuite surtout à partir du 18 mai, soit 2 à 5 jours plus tard que la moyenne. Au-dessus de 1000 m, les dates de fenaison se sont principalement situées dans la première quinzaine de juin, par temps majoritairement ensoleillé et sec, avec 7 à 9 jours d'avance par rapport à la moyenne.

La végétation a réagi très rapidement aux températures estivales élevées (voir chapitres 1 et 5). La floraison du sureau noir a toujours eu lieu à une date normale, mais elle a déjà présenté une légère avance de 3 jours sur la moyenne. Le sureau a fleuri au début du mois de mai au Tessin et à partir de la mi-mai environ en plaine au Nord des Alpes. Avec l'augmentation de l'altitude, le sureau noir a profité des températures élevées, où il a fleuri au-dessus de 800 m environ en juin avec une semaine d'avance sur la moyenne.

Été

Les tilleuls à grandes feuilles et les tilleuls à petites feuilles ont fleuri avec 5 jours d'avance, le classement dans la classe «normale» étant toujours dominant. Les premiers tilleuls à grandes feuilles ont fleuri à partir de la fin mai. La majorité des observations se sont déroulées entre le 8 et le 23 juin, par un temps presque constamment ensoleillé et des températures élevées. A partir de cette date, les tilleuls à grandes feuilles ont surtout fleuri au-dessus de 800 à 1000 m. Les tilleuls à petites feuilles ont fleuri environ une semaine plus tard que les tilleuls à grandes feuilles.

La maturité des fruits du sureau rouge (en moyenne le 4 juillet pour toutes les stations), du sorbier des oiseleurs (11 août) et du sureau noir (16 août) a été en avance de 3–11 jours. La maturité des fruits des deux espèces de sureau est observée depuis 1996. Cette année, la maturité des fruits a été la quatrième plus précoce pour le sureau rouge et la troisième plus précoce pour le sureau noir depuis le début des observations.

Cette année, les vendanges ont été observées dans 39 stations. Elles ont eu lieu en moyenne le 22 septembre, avec une avance de 2 semaines sur la moyenne de la période 1991–2020. Les vendanges ont donc eu lieu une semaine plus tard que l'année dernière, où l'on avait constaté les vendanges les plus précoces depuis le début des observations.

Automne

En ce qui concerne la coloration des feuilles, il n'y a eu cette année que des signalements très isolés à des dates très précoces en août, ce que l'on observe souvent, surtout lors d'étés très secs et chauds. La coloration automnale des feuilles a été bien plus retardée par les températures élevées en septembre et octobre, et les arbres sont restés verts très longtemps.

Pour les arbres dont la coloration des feuilles est observée depuis 1996, il s'agit de la coloration la plus tardive depuis le début de la série d'observations. Chez le hêtre, observé depuis 1951, cette phase s'est produite presque aussi tardivement qu'en 1980, date à laquelle le feuillage s'est coloré le plus tard depuis le début des observations. La coloration des feuilles a eu lieu 10 jours plus tard que la moyenne pour le hêtre et 8 à 12 jours plus tard pour les autres essences. Dans 63 à 76% des sites, la coloration des feuilles a été classée comme «tardif» et «très tardif», dont 48 à 60% des cas comme «très tardif». La coloration des feuilles a commencé vers le 20 septembre pour les sorbiers des oiseleurs et à partir de la fin septembre pour les hêtres.

Ce n'est qu'au début du mois d'octobre que la phase de coloration a commencé pour le bouleau, l'érable et le tilleul. C'est entre la mi-octobre et la fin octobre que les feuilles de hêtre ont le plus souvent changé de couleur. Dans les régions de basse altitude, elle n'a été observée que dans la première quinzaine de novembre. Pour les tilleuls en particulier, un changement de couleur aussi tardif a été fréquemment observé en novembre. Les mélèzes ont également changé de couleur dix jours plus tard que la moyenne, ce qui n'avait jamais été le cas depuis le début des observations en 1996. Leur coloration a commencé de manière isolée dès la mi-octobre en montagne, et a été observée plus fréquemment à partir du 20 octobre, par exemple en Engadine. En plaine, elle n'a eu lieu qu'en novembre, avec un maximum vers le milieu du mois.

La chute des feuilles a commencé à quelques endroits dès la mi-octobre et s'est intensifiée à partir de la fin octobre. Pendant les tempêtes d'automne de début novembre et de mi-novembre, de nombreux arbres ont perdu leurs feuilles, 5 à 8 jours plus tard que la moyenne. La chute des aiguilles des mélèzes a commencé dès la fin octobre, début novembre en montagne et à la mi-novembre à basse altitude, où elle s'est poursuivie jusqu'à la mi-décembre. Dans l'ensemble, elle a eu lieu 9 jours plus tard que la moyenne et a été la plus tardive depuis le début des observations.

Figure 2.15

Calendrier phénologique 2023 de Rafz. La répartition montre la période de comparaison 1991–2020. La date de l'année 2023 est représentée par un cercle blanc et la période de comparaison est colorée de très précoce à très tardif en fonction de son ordre chronologique. Si l'observation est manquante en 2023 ou si elle se situe précisément dans la médiane, la période de comparaison reste blanche.

Hêtre: chute des feuilles (50 %)							<u></u>	
Hêtre: coloration des feuilles (50%)					<u> </u>			
Vigne: vendanges								
Colchique d'automne: floraison (50%))			
Sorbier des oiseleurs: maturité des fruits (50%)			C			-		
Tilleul à petites feuilles: floraison (50%)		;						
Tilleul à larges feuilles: floraison (50%)		< <u>-</u>	_					
Vigne: floraison (50%)		- <u>a</u>						
Sureau noir: floraison (50%)			I					
Fenaison: début	(Þ	<u></u>						
Marguerite: floraison (50%)								
Epicéa: déploiement des aiguilles (50%)	(<u>a</u>)—							
Marronnier: floraison (50%)								
Pommier: floraison (50%)	- D							
Hêtre: déploiement des feuilles (50%)	、 ひ							
Sureau rouge: floraison (50%)								
Poirier: floraison (50%)	<mark>回</mark> つ							
Cerisier: floraison (50%)	∑ >							
Pissenlit officinal: floraison (50%)	Þ							
Cardamine des prés: floraison (50%)	Þ							
Mélèze: déploiement des aiguilles (50%)	≻							
Noisetier: déploiement des feuilles (50%)	┢							
Marronnier: déploiement des feuilles (50%)	>							
Anémone des bois: floraison (50%)	1							
Tussilage: floraison (50%)								
Noisetier: floraison (50%) • •								
JAN FEV MARS /	AVR MAI	JUIN	JUIL .	AOÛT	SEP	ОСТ	NOV	DEC

Saison pollinique

L'année pollinique 2023 a commencé fin décembre avec la floraison des noisetiers et avec une grande avance de 3 à 4 semaines sur la moyenne 1991–2020. Durant le printemps, l'avance de la saison pollinique du frêne, du bouleau et des graminées n'a été que de quelques jours. Le début précoce de la saison des pollens de graminées fin mars au Tessin a constitué une exception. La saison des pollens de graminées a été particulièrement intense. Elle a atteint des niveaux élevés presque sans interruption du 21 mai à la fin juin. À la fin de l'été, les concentrations de pollen d'armoise ont été plutôt faibles, alors qu'en Suisse romande, on a mesuré nettement plus de pollen d'ambroisie que la moyenne. La plus grande partie de ce pollen provenait cependant de vols lointains depuis la France. La saison pollinique 2023 est comparée ci-dessous à la moyenne sur 30 ans 1991-2020.

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

meteosuisse.admin.ch/services-et-publications/ applications/ext/climate-poll-seasonclim.html

Automatisation du réseau de mesure du pollen à partir du 1.1. 2023

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

Saison du pollen de noisetier et d'aune

La floraison des noisetiers a débuté dès la fin décembre au Nord des Alpes, ce qui en fait l'une des plus précoces de toute la série de mesures polliniques. La saison du pollen de noisetier a commencé avec 3 à 4 semaines d'avance sur la moyenne 1991–2020. Ce qui est exceptionnel par rapport aux années précédentes, c'est que des concentrations modérées à fortes de pollen de noisetier ont été mesurées pendant toute la première quinzaine de janvier. La raison de cette floraison très précoce a été due aux températures très élevées du 20 décembre au 15 janvier. Au Tessin, l'excédent de chaleur en décembre n'a pas été aussi important qu'au Nord des Alpes, ce qui explique pourquoi la floraison du noisetier a pour une fois commencé légèrement plus tard au Tessin qu'au Nord des Alpes. Dès la mi-janvier, la saison du pollen de noisetier a été interrompue, surtout au Nord des Alpes, par un refroidissement marqué accompagné de neige jusqu'à basse altitude. Ce n'est qu'à partir de la mi-février qu'une deuxième phase de fortes concentrations de pollen de noisetier a eu lieu et a duré jusque vers la fin février. Durant cette phase, les noisetiers ont fleuri depuis la plaine jusqu'à plus de 1000 m et les concentrations ont été nettement plus élevées que durant la première quinzaine de janvier.
Les premiers pollens d'aune sont apparus au Nord des Alpes en même temps que les pollens de noisetier, fin décembre. Le premier jour de fortes concentrations de pollen d'aune n'a cependant été enregistré que le 3 février au Tessin et le 18 février au Nord des Alpes, peu après que la température maximale journalière a atteint plus de 10 °C. Au Tessin, cette date a été avancée d'une petite semaine par rapport à la moyenne de la période de comparaison sur 30 ans, alors qu'au Nord des Alpes, elle s'est située à peu près dans la moyenne. La saison principale s'est concentrée sur les journées douces de la deuxième quinzaine de février. Début mars, seules quelques stations ont encore enregistré quelques journées avec des concentrations fortes de pollen.

Saison du pollen de frêne et de bouleau

La saison du pollen de bouleau a commencé quelques jours plus tôt que la moyenne. Au Tessin, elle a commencé le 20–23 mars avec une augmentation rapide jusqu'à des charges fortes. Au Nord des Alpes, la saison pollinique a débuté entre le 25 et le 30 mars, avec les premiers jours de fortes concentrations de pollen enregistrés dès la fin mars. Le temps frais et pluvieux du mois d'avril a certainement été le bienvenu pour les personnes allergiques au pollen. Au Nord des Alpes, le pollen de bouleau a été régulièrement éliminé de l'air par les précipitations, si bien que les concentrations sont retombées à des valeurs faibles à modérées à chaque fois après 2 ou 3 jours de forte pollinisation. De plus, seuls quelques jours avec des concentrations très fortes ont été mesurés. Au Sud des Alpes et en Valais, en revanche, les concentrations de pollen de bouleau ont été fortes pendant de nombreuses journées jusque vers la fin avril. Des journées avec de fortes concentrations de pollen ont pu être mesurées jusqu'à fin avril, début mai. L'intégrale pollinique saisonnière (la somme des concentrations journalières de pollen) a été plus basse que la normale. Cela était attendu, car les arbres ont produit nettement moins de chatons floraux après la très forte floraison de l'année précédente.

Au Tessin, la saison du pollen de frêne a commencé le 10–12 mars, quelques jours avant la moyenne de la période normale 1991–2020. Au Nord des Alpes, la saison a commencé entre le 17 et le 23 mars, soit 3–9 jours plus tôt que la moyenne selon les stations de mesure. Le début de la saison a coïncidé avec une phase douce et généralement sèche en mars. Avant la floraison locale des frênes, on a pu mesurer quelques jours avec des concentrations faibles et parfois modérées de pollen de frêne, qui a été transporté en Suisse sur de grandes distances par des vents du sud-ouest. La saison pollinique du frêne a été un peu plus faible que la moyenne. Au Nord des Alpes, la dispersion du pollen a été régulièrement interrompue par des précipitations. Les concentrations de pollen ont été les plus fortes à la fin du mois de mars et autour des fêtes de Pâques, du 9 au 11 avril.

Saison du pollen de graminées

La saison des pollens de graminées a commencé au Tessin dès la fin mars. Un début précoce avec une avance de 2–3 semaines sur la moyenne a été observé plus souvent ces dernières années. À partir de la deuxième quinzaine d'avril, les concentrations de pollen ont augmenté au Tessin pour atteindre des valeurs élevées. Au Nord des Alpes, les pollens de graminées sont apparus régulièrement vers la fin avril, quelques jours seulement avant la moyenne. Comme il a plu à plusieurs reprises en mai, les concentrations sont restées modérées jusqu'au milieu du mois, à quelques exceptions près.

Avec l'arrivée de températures estivales et d'un ensoleillement important à partir du 21 mai, les concentrations de pollen de graminées ont explosé. Les prairies étaient bien développées en raison de l'humidité suffisante du sol et étaient partout en pleine floraison. Elles n'avaient pas pu être fauchées auparavant en raison du temps humide. De plus, la bise a dispersé très efficacement les grains de pollen. Une très longue phase s'est ouverte jusqu'à la fin juin, avec des concentrations fortes et très fortes presque continues, qui ont entraîné des réactions allergiques particulièrement fortes chez les personnes concernées. Le nombre de jours avec de fortes concentrations de pollen a été très élevé dans la plupart des stations de mesure du Nord des Alpes.

À partir de juillet, les concentrations de pollen ont diminué, bien que le seuil des concentrations fortes ait continué à être dépassé certains jours jusqu'à la fin du mois. Même si l'intensité de la saison pollinique ne peut pas être clairement comparée aux mesures manuelles, certains indices montrent que la saison pollinique des graminées au Nord des Alpes a été l'une des plus fortes du passé.

Saison du pollen d'armoise et d'ambroisie

La méthode de mesure automatique ne permet pas encore de déterminer les pollens d'armoise et d'ambroisie. L'évaluation a donc été faite avec les données de la mesure manuelle du pollen, qui a continué à fonctionner en 2023 comme mesure parallèle.

Entre le 24 juillet et le 4 septembre, 19 jours de fortes concentrations de pollen ont été mesurés à la station de Viège. Cela représente 6 jours de moins que la moyenne de la période de comparaison sur 30 ans 1991–2020. Dans toutes les autres stations de mesure, on a enregistré au maximum 0 à 3 jours avec des concentrations moyennes de pollen. Les concentrations ont donc été plus faibles que la normale, surtout en Suisse romande et au Tessin. En Suisse alémanique, les concentrations de pollen ont été très basses et sont restées dans la norme.

En Suisse romande, les concentrations de pollen d'ambroisie ont été plus fortes que la moyenne de la période de comparaison sur 30 ans 1991–2020. 12 jours de fortes concentrations ont été mesurés à Genève (7 jours de plus que la moyenne), 3 jours à Lausanne et Neuchâtel et 10 jours à la station complémentaire de Meyrin. Il s'agit le plus souvent de pollen d'ambroisie provenant de France et transporté en Suisse par des vents du sudouest. Cela se voit très bien à La Chaux-de-Fonds, où les plantes d'ambroisie ne peuvent pas pousser en raison de l'altitude et où tout le pollen provient donc de vols lointains. À La Chaux-de-Fonds, 6 jours de fortes concentrations de pollen ont été enregistrés, soit 5 jours de plus que la moyenne. L'intégrale pollinique saisonnière (SPIn, la somme des concentrations journalières de pollen) a été de 159 à La Chaux-de-Fonds, la plus élevée depuis le début des mesures en 1987. À Genève, le SPIn a été de 348, le troisième plus élevé depuis le début des mesures en 1979, et à Meyrin de 378, également le troisième plus élevé depuis le début des mesures en 2001. Bien que la plus grande partie du pollen provienne de France, on ne peut pas exclure que des plantes locales aient contribué à la dispersion du pollen dans la région de Genève. En Suisse alémanique, les concentrations ont été nettement plus faibles. Plusieurs stations ont enregistré une journée de fortes concentrations de pollen, le 12 septembre, une journée avec des températures élevées et un vent du sud-ouest. Le pollen d'ambroisie a été mesuré le plus souvent au Nord des Alpes du 14 août au 12 septembre.

Depuis 2013, les concentrations de pollen ont fortement diminué dans le nord de l'Italie et au Tessin en raison de l'attaque des plantes par la chrysomèle de l'ambroisie. Cette année, 5 jours de fortes concentrations de pollen ont été mesurés à Lugano et Locarno. La station complémentaire pour le pollen d'ambroisie à Mezzana, dans le sud du Tessin, a enregistré 18 jours de fortes concentrations, la plupart du temps avec du pollen transporté d'Italie. Cependant, le seuil des concentrations fortes n'a été dépassé que de quelques grains de pollen à chaque fois et les concentrations très fortes n'ont quère été atteintes.

Figure 2.16

Évolution de la saison pollinique 2023 du noisetier à Buchs SG (en haut), mesurée automatiquement, et de la saison pollinique 2023 du bouleau à Lausanne (en bas), comparée à la moyenne sur 30 ans 1991–2020 des mesures manuelles (courbe bleue). À Buchs SG, les concentrations de pollen de noisetier ont été modérées à fortes durant la première quinzaine de janvier. Après une offense hivernale, une deuxième vague de concentrations de pollen de noisetier a eu lieu à partir de la mi-février. À Lausanne, on voit clairement comment la saison du pollen de bouleau a été interrompue à plusieurs reprises par un temps frais et pluvieux, la charge pollinique du bouleau a ainsi été inférieure à la moyenne. Les axes des concentrations polliniques ont été limités à 400 ou 800 grains de pollen/m³, afin que les valeurs basses, importantes pour les allergies, soient également visibles.



- 2023, Méthode de mesure automatique





³ Particularités de l'année 2023



Figure 3.1 Poteau électrique plié par le violent orage à La Chaux-de-Fonds.

3.1 Orage dévastateur dans le Jura neuchâtelois

Lors du passage d'un violent orage le 24 juillet 2023 vers la mi-journée, des vitesses de vent extrêmes ont été mesurées à La Chaux-de-Fonds. A la station de mesure de MétéoSuisse près de l'aérodrome, la rafale maximale sur une seconde a été de 217 km/h [44]. Une station de mesure de l'exploitant de l'aérodrome, située un peu à l'extérieur de la ville (Mont Cornu), a enregistré une rafale maximale sur 3 secondes à 165 km/h.

Des dégâts importants

La tempête, probablement une rafale descente combinée avec le passage d'une tornade, a fait un mort et 40 blessés. De nombreux bâtiments ont été endommagés, certains de manière importante. Des arbres se sont brisés ou ont été déracinés. De nombreux véhicules ont été endommagés par la chute d'arbres ou de parties de bâtiments. La tempête a renversé une grue de chantier et plié le pylône d'une ligne à haute tension (Figure 3.1). L'infrastructure ferroviaire a également été gravement touchée. La circulation des trains a été interrompue.

Évaluation de la rafale extrême

La valeur de rafale maximale de 217 km/h mesurée aux Éplatures se situe juste au-delà de la plage de validité de l'instrument de mesure. Néanmoins, l'ensemble des conditions météorologiques, le déroulement de l'événement, l'installation ou l'entretien de la station, le contrôle opérationnel de la qualité des données ainsi que les comparaisons avec des mesures effectuées à proximité sur l'aérodrome et l'analyse des dégâts rendent cette valeur plausible.

En raison de la conception technique de l'instrument de mesure, la valeur mesurée est toutefois liée à une incertitude. Cette incertitude devrait être de l'ordre de 10% au moins. Il s'agit de la «achievable measurement uncertainty» indiquée par l'Organisation météorologique mondiale (OMM) pour les rafales de vent.

Pas la première fois aussi violent

L'après-midi du 12 juin 1926, un orage extrêmement violent est passé non loin de la ville de La Chaux-de-Fonds. Sa trajectoire présentait une orientation caractéristique SW-NE presque rectiligne, ce qui laisse supposer qu'il s'agissait d'une tornade. La tornade a parcouru une distance de 22 kilomètres. Un garçon de huit ans, accompagné de sa mère, a été projeté dans les airs par la tempête avec une telle violence qu'il est décédé des suites de ses blessures. Sa mère et plusieurs autres personnes ont été grièvement blessées. La tempête a laissé derrière elle des maisons d'habitation détruites et des parties de forêt dénudées.

L'Arc jurassien a déjà été frappé à plusieurs reprises par des tornades massives. L'événement le mieux documenté est sans doute celui qui s'est produit le 26 août 1971 à la Vallée de Joux [5]. La tornade a laissé derrière elle un couloir forestier rectiligne et pratiquement continu d'une vingtaine de kilomètres. Les photos aériennes des dégâts montrent de manière impressionnante les troncs d'arbres gisant au sol, disposés en tourbillons. La tornade a touché 79 bâtiments au total, dont 18 gravement. Certains bâtiments ont été entièrement détruits. En traversant un camping, la tornade a projeté une caravane à 30 mètres en terrain découvert, par-dessus les cimes de sapins adultes. Elle a laissé plusieurs voitures qui se trouvaient sur son chemin, broyées et en partie en pièces détachées. Il existe des images impressionnantes de l'événement.

Avec la tornade de 1971, l'événement du 19 août 1890 s'est répété de manière pratiquement identique. Les deux tornades ont suivi absolument le même chemin. Des photographies de bâtiments et de forêts détruits en 1890 montrent que la Vallée de Joux a été touchée à peu près avec la même force en 1890 et en 1971.

3.2 Vague de chaleur en août

Avec le passage à un temps anticyclonique ensoleillé, à partir du 11 août 2023, les températures maximales journalières ont d'abord atteint 30 °C et plus dans certaines régions des deux côtés des Alpes. À partir du 14 août, la barre des 30 °C a souvent été atteinte ou dépassée. Du 19 au 23 août, les températures maximales journalières ont atteint 35–37 °C dans certaines régions des Alpes. La Suisse n'avait encore jamais connu une période de chaleur aussi longue et intense à cette époque de l'année, que ce soit au Nord ou au Sud des Alpes.

Paroxysme de la canicule

La chaleur a atteint son paroxysme le 24 août. Les températures maximales journalières ont atteint ou dépassé 35 °C en de nombreux endroits, et localement 38 à plus de 39 °C en Suisse romande. De nouveaux records de chaleur pour un mois d'août ont été établis sur 27 sites disposant de longues séries de mesures. Huit sites avec de longues séries de mesures ont enregistré la température la plus élevée en valeur absolue depuis le début des mesures.

La température la plus élevée a été enregistrée à Genève-Cointrin avec 39,3 °C. Il s'agit de la température la plus élevée jamais enregistrée en août au Nord des Alpes et en Valais. Il n'avait fait un peu plus chaud sur le site de Genève-Cointrin que le 7 juillet 2015, avec 39,7 °C. Il s'agissait de la deuxième valeur la plus élevée en Suisse. Le record suisse est détenu par Grono avec 40,5 °C le 11 août 2003.

Chaleur extrême sur 14 jours

Genève et Sion ont enregistré la deuxième vague de chaleur la plus intense sur 14 jours (Figure 3.2). À Genève, la moyenne de la température maximale journalière sur 14 jours a atteint 34,8 °C, à Sion 34,1 °C. Sur les deux sites de mesure, il n'avait fait plus chaud sur 14 jours que lors de l'historique canicule de 2003, avec 35,2 °C à Genève et 35,0 °C à Sion.

Journées tropicales en montagne

La vague de chaleur a provoqué des journées tropicales avec 30°C ou plus jusqu'en moyenne montagne. Disentis, dans le canton des Grisons, à 1197 m d'altitude, a enregistré 5 journées tropicales consécutives. Le 24 août, le maximum journalier a grimpé jusqu'à 33,5°C. Il s'agit de la température la plus élevée à Disentis depuis le début des mesures en 1959.

Montana, en Valais, à 1423 m d'altitude, a enregistré 31,5 °C le 24 août. Le record de la station de 31,2 °C, qui datait tout juste de juillet 2023, a donc déjà été de nouveau battu.



Périodes de chaleur sur 14 jours (maximum journalier moyen) les plus intenses par an à Genève depuis le début des mesures en 1864. En août 2023, la période sur 14 jours (point rouge) a atteint 34,8 °C (2^e rang depuis le début des mesures).



3.3 Fortes précipitations au cours du second semestre



En août, septembre et décembre, trois épisodes de fortes précipitations se sont distingués par des sommes impressionnantes sur 1–3 jours. En août et septembre, la Suisse orientale, les Grisons et le Tessin ont été touchés. En décembre, les fortes précipitations se sont plutôt concentrées sur la Suisse occidentale et centrale.

En août, des valeurs record sur une large échelle

Après la vague de chaleur de la fin de l'été (19-24 août), de l'air chaud, humide et instable a afflué vers la Suisse à partir du 25 août en provenance du sud-ouest. Cela a provoqué, surtout dans le Sud de la Suisse, le 25 août, de forts orages accompagnés de violentes chutes de grêle, qui ont causé d'importants dégâts dans la région de Locarno. À partir du 26 août et jusqu'au 29 août, de très grandes quantités de pluie sont tombées d'abord au Tessin, puis également dans les Grisons et en Suisse orientale (Figure 3.3). Les sommes de précipitations sur 3 jours ont souvent atteint des valeurs supérieures à 200 mm. À Biasca (TI), Safien-Platz (GR), Innerferera (GR), Brülisau (AI) et Eggersriet (SG), les sommes de précipitations sur 3 jours ont atteint des valeurs qui ne sont attendues qu'une à deux fois par siècle, voire moins d'une fois par siècle à Vaduz (FL) et Kronberg (AI).

Septembre arrosé au Sud des Alpes et en Suisse orientale

Durant la seconde moitié du mois, les précipitations ont été importantes au Tessin, dans les Grisons et jusqu'à la basse vallée du Rhin. Entre le 21 et le 22 septembre, une ligne stationnaire de fortes précipitations allant des Centovalli à la Léventine a provoqué des cumuls journaliers de 150–250 mm, avec localement des pointes sur 12 heures de 300–350 mm. Dans les régions limitrophes grisonnes, et plus tard aussi dans la région de l'Alpstein, il est tombé, en particulier le 22 septembre, entre 70 et 100 mm sur une large échelle. Des valeurs statistiques de récurrence de 3–8 ans, voire localement de 8–15 ans, ont ainsi été atteintes dans de nombreuses stations.

Décembre particulièrement arrosé à l'Ouest

En décembre, deux périodes de fortes précipitations méritent d'être mentionnées. Le premier épisode de fortes précipitations s'est produit entre le 8 et le 15 décembre. La Suisse s'est trouvée dans la zone d'influence d'un courant d'ouest à nord-ouest, qui a assuré un apport continu de masses d'air doux et humide. Cela a entraîné de grandes quantités de pluie en Suisse occidentale et centrale, qui sont tombées entre le 9 et le 13 décembre. Durant ces 4 jours, des sommes de précipitations de 100–120 mm ont souvent été mesurées. Dans de nombreuses stations, les sommes de précipitations sur 4 jours ont atteint des valeurs qui ne sont statistiquement atteintes que tous les 5–10 ans. À Adelboden, il a été mesuré 120,7 mm, ce qui correspond à un événement qui n'est attendu que tous les 10–25 ans.

Entre le 21 et le 23 décembre, un puissant courant de nord a provoqué des sommes de précipitations plus importantes, principalement en Suisse orientale et dans le Nord des Grisons. Toutefois, ce n'est que localement que l'on a mesuré plus de 50 mm, ce qui fait que les quantités de précipitations ne peuvent pas être qualifiées d'exceptionnelles d'un point de vue statistique.

Figure 3.3

Niveau d'eau élevé à Domat/Ems (GR) le 27 août 2023.

3.4 Nuages stratosphériques polaires dans le Sud de la Suisse

Le courant dominant du nord-ouest entre le 21 et le 23 décembre a non seulement provoqué des précipitations au nord de la crête principale des Alpes, mais aussi des ondes sous le vent au-dessus et au Sud des Alpes. Combiné à une basse stratosphère nettement plus froide que d'habitude, cela a donné lieu à un phénomène plutôt rare sous nos latitudes.

Basse stratosphère fraîche

En hiver, une zone de vent d'ouest stable se forme dans la stratosphère: le vortex polaire. En moyenne hivernale, celui-ci est généralement centré sur le pôle Nord et empêche ainsi le mélange de masses d'air froid arctique avec des masses d'air plus chaud qui se trouveraient plus au sud. En décembre 2023, le vortex a cependant été plus asymétrique que d'habitude: au-dessus de la Sibérie orientale et de l'Alaska occidentale, le vortex polaire a été plus faible que sur l'Atlantique Nord et la Scandinavie [6]. Cela s'est accompagné d'une forte anomalie de température: entre le 8 et le 22 décembre, à environ 24 km d'altitude (30 hPa) au-dessus de la mer de Beaufort, il a fait en moyenne 11–13°C de plus que la moyenne à long terme (1991–2020), tandis que 9–11 °C de moins ont été enregistrés au-dessus de l'Atlantique Nord. Cette anomalie négative de température a atteint son apogée le 22 décembre sur une zone s'étendant de l'Islande à la Bretagne, avec des valeurs inférieures de près de 20°C à la moyenne pluriannuelle.

Foehn du nord et jet-stream provoquant des ondes

À cette époque, à plus de 10 km plus bas dans notre atmosphère, la position du jet-stream, qui soufflait presque à angle droit sur l'arc alpin, et un fort gradient de pression nord-sud ont créé une situation météorologique de fœhn du nord. Comme cela a souvent été observé lors d'autres journées de fœhn, des nuages lenticulaires se sont formés au Tessin le 22 décembre en raison des ondes orographiques. Ceux-ci ont été particulièrement bien visibles de jour en raison de leur aspect irisé (Figure 3.5). Après le coucher du soleil, certains nuages d'ondes orographiques sont toutefois restés visibles plus longtemps, ce qui laissait supposer que des nuages nettement plus élevés ont pu se former localement.

Le 22 décembre, les ondes orographiques se sont étendues loin dans la stratosphère en raison de différents facteurs. En combinaison avec l'anomalie de température négative décrite ci-dessus, des «lentilles d'air froid» locales, représentées dans la Figure 3.4, se sont formées dans les zones d'ascendance des ondes de vent. Celles-ci sont dues au fait que les masses d'air déjà très froides dans les zones d'ascendance (zones sur fond bleu) se sont encore refroidies de manière diabatique et ont ainsi atteint des températures nettement inférieures à -80 °C dans les analyses du modèle. Cela a également été confirmé par la sonde de température de Payerne du 22 décembre à 23 h UTC, qui a enregistré à 24 km d'altitude des valeurs parfois inférieures à -88 °C (en raison du courant de nord-ouest, ces valeurs ont été mesurées dans la région de Milan).

Figure 3.4

Champs d'analyse du modèle ECMWF du 22 décembre 2023 à 18 UTC le long du 8° degré de longitude de 42 °N à 50 °N. Rouge/bleu: vent vertical. Lignes de contour en pointillés: température absolue en °C. Zone noire dans la partie inférieure du graphique: topographie le long du profil.



Stratosphère sèche

Pour diverses raisons, la teneur en vapeur d'eau de la stratosphère est extrêmement faible, ce qui fait que la formation de nuages à ces altitudes n'est possible que dans des conditions très particulières. Lorsque les températures sont suffisamment basses, non seulement la vapeur d'eau, peu abondante, se condense, mais aussi toute une série d'autres substances qui sont normalement présentes sous forme gazeuse dans la stratosphère. Parmi elles, on trouve par exemple l'acide nitrique. À des températures inférieures à -78 °C, une molécule d'acide nitrique se cristallise avec trois molécules d'eau pour former ce que l'on appelle acide nitrique trihydraté, abrégé en «NAT» en anglais. Avec le temps, il se forme de plus en plus de NAT, ce qui conduit à la formation de nuages stratosphériques polaires (PSW) semblables à des voiles. Lorsque la température remonte au-dessus de -78 °C, ces nuages stratosphériques se dissipent rapidement. Mais si la température continue de baisser et atteint des valeurs inférieures à -85 °C, des nuages de cristaux de glace purs peuvent également se former [7]. Comme ils sont constitués de cristaux de glace sphériques relativement grands (autour de 10 micromètres), ils réfractent la lumière solaire incidente, ce qui donne un aspect nacré spectaculaire. De tels PSW sont particulièrement bien visibles en début de matinée et en soirée.

Observations exceptionnelles

En raison des conditions extrêmes nécessaires à la formation des PSW, les observations de PSW aux latitudes moyennes sont rares, même en hiver ([8], [9]). Cependant, les températures nettement inférieures à la moyenne dans la basse stratosphère, les structures sous le vent stratosphériques très prononcées ainsi que l'apport de vapeur d'eau stratosphérique dû à l'éruption du volcan Hunga Tonga-Hunga Ha'apai en janvier 2022 [10] ont créé des conditions potentiellement optimales pour la formation de PSW au-dessus de la région du nord de l'Italie. L'analyse des données de modélisation (Figure 3.4), des sondages par ballons ainsi que des calculs de triangulation basés sur des images de webcam laissent donc supposer que les observations faites dans le nord-ouest du Piémont étaient en fait des nuages stratosphériques polaires.



Nuages irisés dans le ciel du soir du 23 décembre au Tessin.

4 Climat global et événements météorologiques

Au niveau global, l'année 2023 a été de loin la plus chaude depuis le début des relevés en 1850. Avec un écart de +1,1 °C par rapport à la norme 1961–1990 dans le jeu de données HadCRUT5, l'année 2023 a été presque 0,2 °C plus chaude que l'année record précédente, en 2016. Alors que les deux années précédentes, 2021 et 2022, avaient connu des conditions La Niña marquées, la situation s'est inversée dans le Pacifique équatorial au cours de l'année 2023. Les températures chaudes de l'océan ont également contribué aux températures élevées de l'air à l'échelle mondiale. Le résumé ci-dessous se base principalement sur la Déclaration annuelle sur l'état du climat de l'Organisation météorologique mondiale (OMM) [11], sur les Global Climate Highlights 2023 de Copernicus/ECMWF [12] et sur le Global Climate Report de la National Oceanic and Atmospheric Association (NOAA) [13], ainsi que sur les sources qui y figurent.

4.1 Une année exceptionnellement chaude à l'échelle de la planète

Selon le jeu de données HadCRUT5 de l'université anglaise d'East Anglia, la température annuelle moyenne mondiale de 2023 a présenté un écart de +1,1 °C par rapport à la norme 1961–1990 (+0,6 °C par rapport à la norme 1991– 2020), atteignant ainsi une valeur maximale encore jamais vue dans la période de mesure depuis 1850 (Figure 4.1). Les neuf dernières années depuis 2015 ont été les plus chaudes depuis le début des mesures.

Presque partout sur le globe, des températures largement supérieures à la moyenne 1961–1990 ont été enregistrées. L'Amérique du Nord a enregistré l'année la plus chaude depuis le début des mesures. Dans la moitié orientale des États-Unis, des écarts de 1,5–3 °C par rapport à la norme 1961–1990 ont été atteints. Dans le sud du Canada, les écarts ont souvent été de 2–3 °C, et même de plus de 3 °C dans le nord. En Amérique du Sud et en Afrique, on a également enregistré l'année la plus chaude depuis le début des mesures.

L'Europe centrale et une grande partie de l'Asie ont également enregistré des températures élevées, avec des écarts de 2–3 °C dans la plupart des régions, et même plus de 3 °C au nord de la Sibérie. Ces deux continents ont enregistré la deuxième année la plus chaude depuis le début des relevés. Les températures annuelles en Océanie et en Antarctique ont été un peu moins extrêmes, mais tout de même supérieures à la moyenne. Seules la Terre de Feu et, à l'ouest, le Pacifique Sud, les côtes occidentales et méridionales de l'Australie et certaines parties de l'Antarctique ont enregistré des températures légèrement inférieures à la moyenne.

La température annuelle globale (terre et eau) dans le jeu de données de l'Université d'East Anglia [14] a augmenté de 1,3 °C entre la période de référence préindustrielle 1871–1900 et la moyenne climatique actuelle (basée sur une régression linéaire locale) et n'est donc plus que de 0,2 °C en dessous de l'objectif climatique de l'Accord de Paris de 2015. Selon l'OMM, la température moyenne de la dernière décennie 2014–2023 a été supérieure de 1,2 °C à la moyenne 1850–1900 dans six jeux de données globales. La température moyenne mondiale se situe aux alentours de 15 °C. Le schéma général de l'évolution globale des températures sur plusieurs années, avec une accumulation d'années très chaudes ces derniers temps, se retrouve également dans la série des températures en Suisse (Figure 5.1).



Données: University of East Anglia, 2024 [14], ensemble de données HadCRUT5.

Figure 4.1

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

4.2 El Niño et La Niña

L'oscillation australe d'El Niño (ENSO) décrit la fluctuation naturelle du système couplé entre la surface de l'océan et l'atmosphère dans le Pacifique tropical. Pendant El Niño, ce système se trouve dans une phase chaude: la température de surface de l'océan Pacifique et celle de l'atmosphère qui le recouvre sont plus chaudes que la moyenne. En revanche, pendant la phase La Niña, une anomalie froide règne sur le Pacifique équatorial. El Niño et La Niña se succèdent avec une périodicité moyenne d'environ 4–7 ans. L'oscillation australe d'El Niño (ENSO), lorsqu'elle est forte, est l'un des principaux facteurs expliquant les variations annuelles de la température globale. Les années El Niño sont souvent plus chaudes à l'échelle mondiale, tandis que les années La Niña ont tendance à être plus fraîches. Entre 2017 et 2022, il n'y a pas eu de phases El Niño particulièrement marquées. Les années 2020–2022 ont même été caractérisées par une forte phase de La Niña. À partir de 2023, les conditions dans le Pacifique Sud équatorial ont commencé à évoluer lentement vers un El Niño. À partir d'avril environ, l'indice MEI a affiché des valeurs positives. Ce changement explique certainement en partie les températures élevées de l'océan et de l'air à l'échelle mondiale en 2023.



Figure 4.2

Indice multivarié d'El Niño Southern Oscillation (MEI) 1950–2023. 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.

4.3 Événements particuliers

Chaleur et sécheresse

L'une des vagues de chaleur les plus marquantes s'est produite dans la deuxième quinzaine de juillet dans le bassin méditerranéen. Le 24 juillet 2023, une température de 48,2 °C a été mesurée en Sardaigne. Cette valeur n'a été inférieure que de 0,6 °C au record européen établi en Sicile en 2021. Durant la même période, 49,2 °C ont été enregistrés à Alger (Algérie), 49,0 °C à Tunis (Tunisie), 50,4 °C à Agadir (Maroc) et 43,0 °C à Tirana (Albanie). En août, d'autres vagues de chaleur suprarégionales se sont manifestées dans le sud-est de l'Europe et en Europe occidentale et centrale.

En Grèce, des incendies de forêt ont fait rage entre la fin août et le début septembre, ce qui s'est avéré par la suite être l'incendie le plus étendu dans l'UE depuis le début des relevés. Au Canada également, la saison des feux de forêt a été bien plus intense que les précédentes. Elle a commencé en avril et s'est poursuivie jusqu'au début de l'automne. La surface brûlée a été plus de six fois supérieure à la moyenne décennale 2013–2022. En juin, les feux canadiens ont également provoqué une énorme pollution atmosphérique jusque dans les États du Nord-Est des États-Unis. C'est à Hawaï que l'on a déploré le plus grand nombre de morts dans un violent incendie.

Dans le nord-ouest de l'Afrique, dans la péninsule lbérique et dans certaines parties de l'Asie centrale et du sud-ouest, les périodes de sécheresse qui durent depuis longtemps dans ces régions se sont poursuivies en 2023. En Amérique centrale, dans le nord de l'Amérique du Sud et dans le sud des États-Unis, les sécheresses régionales se sont même intensifiées. Dans la partie subtropicale de l'Amérique du Sud, les précipitations de janvier à août ont été inférieures de 20–50% à la moyenne au niveau régional, certaines régions enregistrant des précipitations nettement inférieures à la moyenne pour la quatrième année consécutive.

Dans toute la Corne de l'Afrique, les événements climatiques que sont la sécheresse et les fortes précipitations qui ont suivi pendant la saison des pluies ont provoqué le déplacement de millions de personnes. La sécheresse a réduit la capacité du sol à absorber l'eau. Cela a augmenté le risque d'inondation lorsque les pluies sont arrivées en avril et en mai. La région la plus touchée a été celle qui s'étend de la Somalie au Kenya en passant par l'Éthiopie. Pendant la saison des pluies (octobre et novembre), il est généralement tombé entre 100 et 200 mm dans cette région, soit bien plus que la moyenne à long terme. Par la suite, plusieurs centaines de décès ont été signalés dans ces trois pays.

Fortes précipitations et inondations

Une tempête particulièrement violente en termes de nombre de morts s'est produite dans le bassin méditerranéen en septembre 2023. Le phénomène appelé medicane (cyclone subtropical méditerranéen) a entraîné des précipitations extrêmes en Grèce, dans le sud de la Bulgarie et dans certaines parties de la Turquie. Au nord d'Athènes, à la station de mesure de Zagora Pelion, 759,6 mm de précipitations ont été enregistrés rien que le 5 septembre et 1096,2 mm au total sur 5 jours, du 4 au 8 septembre. Le medicane s'est ensuite déplacé lentement vers la Libye et a provoqué, du 10 au 11 septembre, un total de 414,1 mm de précipitations en 24 heures. Ces précipitations intenses ont provoqué des inondations extrêmes qui ont fait des milliers de victimes.

Quelques cyclones tropicaux ont également causé d'énormes dégâts en 2023. Le cyclone tropical Freddy a été l'un des plus durables. Il s'est formé le 6 février sur la côte occidentale de l'Australie et a touché terre le 11 mars au Mozambique. Le Malawi et le Mozambique ont déploré de nombreuses victimes et personnes déplacées à la suite des précipitations extrêmes.

Un cyclone tropical a frappé violemment le Bangladesh et le Myanmar. En 2023, la Nouvelle-Zélande a également dû faire face à d'énormes précipitations de 500 mm suite à une dépression tempétueuse.

Des températures océaniques élevées

Les températures de surface de la mer ont été exceptionnellement élevées tout au long de l'année 2023 et, à partir d'avril 2023, avec l'arrivée d'El Niño dans le Pacifique tropical, elles ont été chaque mois plus élevées que jamais auparavant pour les mois correspondants. Les températures élevées dans la plupart des bassins océaniques, en particulier dans l'Atlantique Nord, ont joué un rôle important dans les températures record de la surface de la mer à l'échelle mondiale. Ces valeurs sans précédent ont été associées à des vagues de chaleur dans le monde entier, notamment dans certaines parties de la Méditerranée, dans le Golfe du Mexique et les Caraïbes, dans l'Océan Indien et le Pacifique Nord, ainsi que dans de grandes parties de l'Atlantique Nord.

Banquise

Les satellites enregistrent le recul continu de l'étendue de la banquise arctique depuis 1979. Sur les 45 années de mesures, le maximum annuel de l'étendue a été le cinquième plus bas, avec une surface de 14,62 millions de km² le 6 mars 2023. Le minimum annuel de 4,23 millions de km² a été atteint le 19 septembre. Il s'agit du sixième le plus bas depuis le début des enregistrements à l'ère des satellites.

Après le record de 2022, la banquise antarctique a de nouveau atteint un minimum absolu de 1,79 million de km² le 21 février 2023. L'étendue de la banquise est restée inférieure à la moyenne au début de la saison de croissance et a atteint un niveau bas record en mai. La croissance lente s'est poursuivie avec des extensions exceptionnellement basses entre juillet et octobre. Le 10 septembre, l'extension maximale de la banquise en Antarctique en 2023 a été de 16,96 millions de km², soit environ un million de km² de moins que le précédent record de 1986.



5 Surveillance du climat

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

Le chapitre est structuré selon les variables climatiques essentielles du Système mondial d'observation du climat (Global Climate Observing System – GCOS) [16]. A partir de là, l'atmosphère et la surface terrestre sont traitées, l'accent étant mis sur les observations au niveau du sol (Tableau 5.1). Il s'agit des séries de mesures classiques de la température et des précipitations et des paramètres qui en sont dérivés. L'origine des données et les méthodes sont traitées séparément au point 5.3.

	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 [17]. 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 [18], [19].

Variables climatiques essentielles selon le GCOS Second Adequacy Report [16], Variables climatiques essentielles selon le GCOS Second Adequacy Report [17],

Tableau 5.1

complétées par les variables s'appliquant spécifiquement à la Suisse.

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 [20].
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} ≥25 °C (définition selon le DWD [21])	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 [20].
Jours de fortes précipitations (OMM)	Jours de l'année civile présentant des précipitations journalières P ≥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 percen- tiles des précipitations journalières (référence: 1961–1990)	Une journée est considérée comme très humide lorsque la somme des précipitations est supérieure à la moyenne à long terme des 18 jours les plus humides de l'année.
Nombre max. de jours consécutifs sans précipitations (OMM)	Nombre maximum de jours consécutifs dans l'année civile où les précipitations journalières sont inférieures à P <1 mm	Période ininterrompue de jours consécutifs sans précipitations (moins de 1 mm de précipitations).
Indice de sécheresse	SPEI (standardized precipitation evapotranspiration index); Écart par rapport au bilan hydrique moyen (différence entre les précipitations et l'évaporation potentielle)	La valeur indicielle d'un mois déterminé indique le déficit d'eau accumulé / l'excédent d'eau accumulé au cours de la période 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 [22], [23], [24], [25].
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 [17].

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 (Sud de la Suisse). 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 1er janvier au 31 décembre).

Température

En 2023, la température moyenne suisse a atteint la deuxième valeur la plus élevée depuis le début des mesures en 1864, soit 7,2 °C. C'est 2,7 °C de plus que la norme 1961–1990 et +3,4 °C par rapport à la période de référence préindustrielle 1871–1900. Seule l'année précédente, 2022, avait été légèrement plus chaude avec 7,4 °C. L'année 2023 poursuit donc en Suisse la forte tendance au réchauffement de ces dernières années. De la période préindustrielle 1871–1900 à la période actuelle, la température annuelle suisse a augmenté de 2,8 °C (voir [26]). Cela correspond à la différence entre la moyenne climatique actuelle, c'est-à-dire la température à laquelle on s'attendrait en moyenne annuelle dans les conditions climatiques actuelles, et la moyenne de la période de référence préindustrielle.

Figure 5.1

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



Informations supplémentaires sur les indicateurs climatiques:

www.meteosuisse.admin.ch/climat/changement-climatique/chaleur-canicule-secheresse-froid-et-neige/ indicateurs-climatiques.html Avec un écart de +2,1 °C par rapport à la norme 1961–1990, l'hiver 2022/2023 s'est classé au huitième rang depuis le début des mesures en 1864. Avec +1,9 °C par rapport à la norme 1961–1990, le printemps 2023 a tout juste fait partie des vingt plus chauds de la série chronologique de 160 ans des températures moyennes suisses. Le printemps, légèrement trop frais par rapport à la moyenne climatique actuelle, a été suivi d'un été légèrement plus chaud. La température moyenne de l'été dans tout le pays s'est classée au cinquième rang depuis le début des mesures, avec un écart de +3,4 °C par rapport à la norme 1961–1990. À la suite d'un mois de septembre et celui d'octobre bien plus chauds que la moyenne, cela a finalement permis à l'automne 2023 d'occuper le deuxième rang depuis le début des relevés systématiques, avec un écart de température de +2,9 °C par rapport à la moyenne 1961–1990. L'automne le plus chaud, avec un écart de +3,1 °C par rapport à la orme 1961–1990, date de 2006.

La tendance au réchauffement est significative pour toutes les saisons. L'hiver et le printemps sont plus chauds de 2,6 °C dans la moyenne climatique actuelle de chaque saison par rapport à la période de référence préindustrielle 1871–1900. Les mois d'été (juin, juillet et août) sont devenus en moyenne 3,3 °C plus chauds. En automne, le réchauffement est actuellement identique à l'évolution de la moyenne annuelle (+2,8 °C par rapport à la période préindustrielle).



1880

1900

1940

1960

1980

Écart [°C] 6

-4

Printemps (MARS, AVR, MAI) 1864–2023





Figure 5.2

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

La moyenne climatique actuelle pour l'année civile 2023 est de 6,7 °C, soit 2,1 °C (+/- 0,4 °C) au-dessus de la norme 1961–1990. Le réchauffement du climat suisse s'est nettement accéléré depuis 1970 environ (Figure 5.3). L'année 2023 s'est située 0,5 °C au-dessus de la ligne de tendance climatique, qui indique pour chaque année la moyenne climatique actuelle correspondante, et a donc été plus chaude que ce à quoi on aurait pu s'attendre dans le climat actuel. Il en va de même pour l'année 2022. En revanche, l'année 2021 a été nettement plus fraîche par rapport au climat représentatif actuel.

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

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

Cette représentation montre de manière très impressionnante qu'une année exceptionnellement chaude par rapport à l'ensemble de la période de mesure, comme 2023 (rang 2), peut tout à fait se situer dans la plage des attentes du climat actuel, ou qu'une année comme 2021, qui se situe actuellement parmi les 25 années les plus chaudes depuis le début des mesures, représente une année froide dans le climat actuel.

Figure 5.3

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



Années au-dessus de la moyenne pluriannuelle

Années en dessous de la moyenne pluriannuelle

Moyenne lissée sur 30 ans (régression linéaire localeLOESS)

-- Quantiles 2.5 %/97.5 % des résidus LOESS

Sous-certitude grandissante de la valeur LOESS au début et à la fin de la série temporelle

Le réchauffement rapide en Suisse a pour conséquence que les années avec les températures les plus élevées se retrouvent plus fréquemment au cours des dernières décennies. Les années 2022 et 2023 se situent nettement devant toutes les autres années. Parmi les trente années les plus chaudes depuis le début des mesures en 1864, seules quelques-unes datent d'avant 1990, les huit premières étant toutes apparues après 2010 (Figure 5.4). Seules les années 2010 et 2013 ne font pas partie des trente années les plus chaudes en Suisse. La tendance de l'évolution à long terme des températures en Suisse, avec l'accumulation récente d'années très chaudes, se retrouve également dans la série des températures globales (Figure 4.1).

Sans mesures de protection du climat efficaces à l'échelle mondiale, on s'attend à ce que le réchauffement dû au changement climatique anthropique se poursuive de manière significative en Suisse. Selon les scénarios climatiques actuels CH2018, l'augmentation de la température moyenne annuelle d'ici la fin du 21^e siècle devrait être de l'ordre de 3,3-5,4°C par rapport à la moyenne 1981–2010. Le réchauffement saisonnier le plus important, de 4,1-7,2°C, est attendu en été dans le cas où les émissions mondiales de gaz à effet de serre se poursuivent comme jusqu'à présent [27].



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

Informations supplémentaires sur l'évolution des températures en Suisse:

 $\left[\begin{array}{c} \\ \end{array} \right]$ www.meteosuisse.admin.ch/climat/changement-climatique/evolution-temperature-precipitations-ensoleillement.html

www.meteosuisse.admin.ch/climat/changement-climatique/scenarios-climatiques.html

Jours de gel

En raison des températures largement excédentaires au printemps, en automne et en hiver, le nombre de jours de gel en 2023 a été nettement inférieur à la moyenne de la période 1961–1990 sur tous les sites de mesures mentionnés ici. Seules 8 journées ont présenté une température minimale inférieure à 0°C à Lugano. Cela représente pour ce site moins d'un quart de la norme 1961–1990 (35 jours). Le site de mesures de Berne/Zollikofen a enregistré un bon tiers de jours de gel en moins. Il y a eu 76 jours de gel (norme: 115). À Davos, la station de mesures la plus élevée parmi celles présentées ici, on a compté 177 jours de gel au cours de l'année civile écoulée. C'est environ 15% de moins que la norme 1961–1990 (210). À Sion également, on a enregistré environ 15% de jours de moins avec des températures inférieures à 0°C, avec 85 jours de gel en 2023, au lieu de 98 comme dans la norme.

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

Figure 5.5

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



- Lugano

Selon les scénarios climatiques CH2018 [27] [26], le nombre de jours de gel à Lugano devrait tomber à 5–14 jours par an d'ici 2060 si les émissions de gaz à effet de serre ne diminuent pas. À Berne, 50–70 jours de gel par année sont encore attendus.

Journées d'été

La tendance à l'augmentation du nombre de jours d'été est significative dans les quatre séries de mesures présentées. Par décennie, on enregistre environ cing jours d'été de plus à Berne, six à Sion et huit à Lugano. À Davos, à 1600 m d'altitude, l'augmentation correspond à deux jours d'été supplémentaires par décennie. Le cinquième été le plus chaud depuis le début des mesures en 1864 a également laissé des traces sous la forme de nombreux jours avec des températures maximales de 25 °C et plus. Parmi les guatre stations de mesures présentées ici, Sion a atteint le plus grand nombre de jours d'été en 2023 avec 103 jours, ce qui ne correspond tout juste pas au double de la norme 1961–1990 (56 jours d'été). Les stations de Berne/Zollikofen (83 jours d'été) et de Lugano (88 jours d'été) ont enregistré un nombre similaire de jours d'été. À Berne, le record de l'été 2003 a été égalé. En moyenne, sur

la période 1961–1990, le nombre de jours d'été à Berne n'a été que de 31 par an, alors qu'il a été de 50 par an à Lugano. Davos, malgré son altitude, a compté 17 jours avec 25 °C ou plus. Durant la période standardisée 1961–1990, on y a enregistré en moyenne tout juste un jour d'été par an. Les jours d'été sont donc de plus en plus fréquents dans le climat actuel, même à des altitudes élevées.

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



- Lugano

Si l'évolution croissante des concentrations mondiales de gazà 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, environ 70–90 journées d'été pourraient devenir la règle. Pour Davos, il est attendu 15-40 journées d'été d'ici 2060, ce qui correspond approximativement à l'amplitude des fluctuations de la norme 1961-1990 à Berne [27].

Figure 5.6

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

Précipitations

En 2023, la moyenne annuelle des précipitations au Nord des Alpes s'est située à 105 % de la norme 1961–1990 (Figure 5.7). De grandes différences ont été observées entre les différentes saisons. L'hiver a été relativement sec sur le Plateau, avec 78 % de la norme (Figure 5.8). Les précipitations printanières ont correspondu presque exactement à la norme (99%), tandis que l'été, avec 81 %, a été un peu plus sec que la norme 1961–1990. Au Nord des Alpes, l'automne a été l'un des 15 plus arrosés depuis le début des mesures en 1864, avec 153 % de la norme.

Au Sud des Alpes, les précipitations annuelles ont également été dans la norme (Figure 5.9). Sur l'ensemble des 12 mois, 95 % des précipitations normales 1961–1990 y ont été atteints. En hiver, avec 47 %, il n'est même pas tombé la moitié des précipitations normales pour la période 1961– 1990 (Figure 5.10). Le printemps a été un peu moins sec dans le Sud de la Suisse. On y a enregistré 73 % des précipitations normales. L'été et l'automne ont ensuite offert au Sud des Alpes des quantités de précipitations légèrement supérieures à la moyenne, à savoir 116 % et 115 %.

L'évolution des précipitations sur la période 1864–2023 sur le Plateau et au Sud des Alpes montre de fortes variations d'une année à l'autre et sur plusieurs années, aussi bien en moyenne annuelle que pour toutes les saisons. Ce n'est qu'en hiver que l'on constate à ce jour sur le Plateau une augmentation significative des précipitations moyennes de plus de 40% par rapport à la période de référence préindustrielle. Pour les autres saisons, il n'y a pas de tendance claire à l'augmentation ou à la diminution des sommes de précipitations.

Figure 5.7

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



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



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

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



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



Figure 5.8

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

Figure 5.9

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



Informations supplémentaires sur l'évolution des précipitations en Suisse:

Www.meteosuisse.admin.ch/climat/changement-climatique/evolution-temperature-precipitations-ensoleillement.html

www.meteosuisse.admin.ch/climat/changement-climatique/scenarios-climatiques.html



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





Figure 5.10

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

Sans mesures efficaces d'intervention à l'échelle mondiale, une diminution des précipitations est attendue en été en Suisse. D'ici la fin du siècle, les scénarios climatiques actuels prévoient des changements de précipitations allant de +2 % à -39 % par rapport à la norme 1981–2010. Pour l'hiver, en revanche, il est attendu une augmentation des précipitations qui pourrait se situer entre +2 % et +24 % [27].

Jours de fortes précipitations

Tout comme les précipitations moyennes en 2023, le nombre de jours de fortes précipitations a été très proche ou exactement égal à la norme de la période 1961–1990 dans 3 des 4 sites de mesures (Figure 5.11). 10 jours avec plus de 20 mm de précipitations ont été enregistrés à Berne (norme 10), 11 à Davos (norme 10) et 26 à Lugano (norme 26). À Sion (norme 5), on a en revanche enregistré 14 jours avec plus de 20 mm de précipitations. Depuis 1959, les 4 sites de mesure présentés ne montrent pas de tendance significative à l'augmentation ou à la diminution du nombre de jours de fortes précipitations.

La variation des fortes précipitations a été étudiée sur 192 sites pour la période 1901–2023.91 % des sites montrent une augmentation de l'intensité des plus fortes précipitations journalières par an, dont 22 % montrent une augmentation significative. La fréquence du nombre de jours par an avec des précipitations journalières supérieures au 99^e percentile a augmenté sur 90 % des sites, dont 31 % montrent une augmentation significative [28].

Les scénarios climatiques CH2018 indiquent également une augmentation des précipitations extrêmes et fortes à l'avenir. Les plus fortes précipitations sur une journée devraient augmenter de 10% d'ici 2060 par rapport à 1981–2010 [27].

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 jours très humides

La somme des précipitations des jours très humides a été supérieure à la norme 1961–1990 dans 3 des 4 stations de mesures (Figure 5.12). À Lugano, un total de 920 mm a été mesuré pour les 5 % de jours avec les précipitations les plus intenses (norme 858 mm). À Davos, on a enregistré 280 mm (norme: 214 mm) et à Sion 131 mm (norme: 98 mm). Seul le site de mesures de Berne/Zollikofen a enregistré des valeurs inférieures à la norme 1961–1990 pour 2023: 142 mm y ont été enregistrés (norme: 216 mm). Sur le long terme, aucune des stations mentionnées ici ne montre de tendance significative.



Figure 5.12

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

Périodes de sécheresse

Des phases de sécheresse plus longues que la norme 1961–1990 ont été observées en 2023 à Sion avec 49 jours consécutifs sans précipitations (norme 30), à Berne avec 28 jours (norme 22) et à Lugano avec 37 jours consécutifs sans pluie (norme 33, Figure 5.13). À Davos, on a compté au maximum 18 jours consécutifs sans précipitations (norme 22). Sur le long terme, aucune des séries de mesures mentionnées ne montre une tendance significative à des périodes de sécheresse plus longues ou plus courtes. Selon les scénarios climatiques actuels, il faut s'attendre d'ici 2060 à une augmentation de la plus longue période de sécheresse d'une année pouvant aller jusqu'à 9 jours, si les émissions globales de gaz à effet de serre ne sont pas réduites de manière drastique [27].

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

Le semestre d'été (période de végétation) est la période déterminante pour l'agriculture. Les mesures effectuées à Berne montrent qu'à l'exception de l'année 2021, toutes les dernières années ont présenté des bilans hydriques négatifs sur les mois d'avril à septembre. Le semestre d'été 2023 a été l'un des plus secs de cette série, l'indice a même atteint une valeur inférieure à celle obtenue lors du dernier été extrême de 2018 [29] (Figure 5.14). Des étés secs plus fréquents correspondent à ce qui est attendu dans un climat qui se réchauffe avec une évaporation plus élevée [30].

Les années avec des valeurs SPEI très basses (1947, 1865, 2003, 1949, 1893, 1911) dans cette série correspondent exactement aux années où les dégâts agricoles ont été les plus importants. Les périodes prononcées par un SPEI négatif correspondent bien aux épisodes de sécheresse connus au cours des 150 dernières années [31], [32].



Figure 5.14

SPEI durant toute la période de végétation (6 mois, d'avril à septembre) à la station de mesure de Berne. Les valeurs positives indiquent des conditions plus humides que la médiane (1864–2023), les valeurs négatives, des conditions plus sèches.





5.1.2 Atmosphère libre

Limite du zéro degré

La série temporelle de la limite du zéro degré est déterminée par calcul de la valeur médiane des altitudes de zéro degré sur un an pour chaque année depuis 1959. Les données utilisées sont celles des radiosondages lâchés quotidiennement depuis Payerne à 11 h et 23 h UTC. L'altitude médiane relevée en 2023 est de 2505 m, c'est-à-dire 325 m plus bas par rapport à l'année 2022.

La Figure 5.15 montre la tendance à l'augmentation de la limite du zéro degré (tendance linéaire tracée en rouge) durant la période 1959–2023. La tendance générale des valeurs d'altitude du zéro degré sur l'ensemble de la période 1959–2023 ne fournit pas l'information par rapport aux changements qui se produisent sur des plus courts intervalles temporels et qui peuvent être en contre-tendance avec la tendance générale (par exemple la période 1959–1987). La figure montre la dispersion interannuelle autour de la tendance linéaire ainsi que l'incertitude des valeurs annuelle liée à la variabilité intra-annuelle (zone grise autour des valeurs annuelles).

La tendance à l'augmentation des médianes annuelles est particulièrement prononcée à partir des années 1990. Dans ce cadre de forte augmentation, l'année 2018 marque le record annuel de toute la série temporelle avec une valeur de 2957 m, supérieure de 597 m à la médiane calculée sur la période de référence 1961–1990 (2360 m). Par contre, la valeur minimale a été obtenue en 1965 avec une valeur de 2096 m, soit 264 m au-dessous de la médiane de référence. Au cours des 30 dernières années, les valeurs annuelles ont systématiquement augmenté et agissent comme un traceur du réchauffement global de la troposphère. Le fait que la norme de référence soit calculée sur la période 1961–1990 fait en sorte que les médianes annuelles sur la période 1959–1990 se distribuent autour de la norme de référence sans montrer une tendance significative. Au contraire, on observe les anomalies positives d'altitude de zéro degré, les plus prononcées, sur la période 1990–2023, marquées par le record absolu en 2018.

L'évolution de la limite du zéro degré suit de près l'évolution de la moyenne annuelle de la température au sol en Suisse (Figure 5.1). Les valeurs annuelles montrées en Figure 5.15 ont augmenté de manière stable au cours de la période 1990–2023, une tendance en bon accord aussi avec les tendances saisonnières (Figure 5.16). Le Tableau 5.3 montre les valeurs extrêmes des séries saisonnières qui montrent comment trois records saisonniers ont été mesurés depuis 2018 et quatre depuis 2007.

Figure 5.15

Série temporelle 1959–2023 des valeurs médianes annuelles de la limite de zéro degré. La série est obtenue sur la base des valeurs journalières mesurées pendant des radiosondages quotidiens lâchés de la station aérologique de Payerne. La ligne noire indique la médiane des altitudes annuelles sur la période de référence 1961-1990 (2360 m). La ligne rouge montre la tendance linéaire de la série temporelle. La zone grise autour des valeurs médianes annuelles correspond à l'incertitude due à la variabilité intraannuelle des mesures.



Tendance (1959–2023) = 75 m/10 ans Norme (1961–1990) = 2360 m
Les tendances linéaires des valeurs saisonnières en printemps (84 m/10 ans) et en été (90 m/10 ans), bien que caractérisées par des taux d'augmentation par décennie plus élevés, reproduisent de près la tendance des valeurs annuelles (75 m/10 ans), montrée en Figure 5.15. Les deux séries saisonnières sont en accord avec la série globale y compris pour la présence d'un point de rupture autour de l'année 1990. Les tendances linéaires des saisons d'automne et d'hiver sont par contre caractérisées par des valeurs de p proches à la valeur de seuil (p-value = 0.05), mais pourtant encore significatives. L'évolution temporelle des valeurs saisonnières d'hiver et automne est caractérisée par une augmentation moins prononcée (71 m/10 ans, hiver), ou quasi-plat comme c'est le cas pour l'automne (52 m/10 ans).

	Hiver (DEC-FEV)	Printemps (MARS–MAI)	Été (JUIN-AOÛT)	Automne (SEP–NOV)
minimum m (année)	341 m (1963)	1473 m (1962)	3106 m (1977)	1535 m (1974)
maximum m (année)	2191 m (2020)	2619 m (2007)	3962 m (2022)	3380 m (2018)

2020

Tendance (1959–2023) = 71 m/10 ans Norme (1961–1990) = 1279 m



1970

1980

1990



1960



Printemps Tendance (1959–2023) = 84 m/10 ans Norme (1961–1990) = 1882 m



Automne Tendance (1959–2023) = 52 m/10 ans Norme (1961–1990) = 2860 m



Tableau 5.3

Minima et maxima saisonniers de la limite du zéro degré.

Figure 5.16

Valeur médianes saisonnières de la limite du zéro degré sur la période de mesure 1959–2023. La ligne noire horizontale indique la médiane des altitudes saisonnières sur la période de référence 1961-1990, la ligne rouge représente la tendance linéaire des valeurs médianes saisonnières depuis 1959. La zone grise autour des valeurs médianes représente l'incertitude intrasaisonnière des mesures.

Altitude de la tropopause

L'altitude de la tropopause est calculée conformément à la définition de l'OMM de la tropopause thermique [33] à partir de la température mesurée par radiosondage à Payerne. Les valeurs annuelles représentées en Figure 5.17 sont déterminées en calculant la valeur médiane des altitudes de la tropopause pour chaque année depuis 1959. Comme pour la limite du zéro degré, l'altitude de la tropopause montre aussi une tendance à l'augmentation durant toute la période 1959–2023 (régression linéaire tracée en rouge). La zone grise montre la variabilité intra-annuelle et correspond à l'incertitude des valeurs médianes annuelles basée sur la variabilité des mesures journalières. La valeur médiane de référence (ligne noire horizontale) est la médiane des valeurs annuelles sur la période 1961–1990.

En 2023, la tropopause a atteint une altitude médiane de 11'722 m, soit 551 m plus haut que la valeur médiane de référence à 11'171 m et 64 m plus haut qu'en 2022. La valeur de 2023 marque aussi le record absolu depuis le début de la série en 1959, record qui dépasse de 8 m le deuxième maximum de la série est de 11'714 m atteint en 2015. L'augmentation linéaire de la hauteur de la tropopause le long de la série (69 m tous les 10 ans) est statistiquement significative, malgré la forte variabilité interannuelle avec plusieurs valeurs extrêmes en dessous de la valeur de référence et qui apparaissent principalement en 1984 (10'880 m, minimum absolu), 1996 et 2010. De manière générale, cette tendance est en accord avec l'évolution de l'altitude du zéro degré (Figure 5.15).

Figure 5.17

Altitude annuelle médiane de la tropopause 1959–2023 obtenue grâce aux lâchers quotidiens de ballons-sondes à la station aérologique de Payerne. La ligne noire indique la valeur médiane de référence 1961–1990 (11'171 m). La zone grise autour des valeurs médianes correspond à l'incertitude des mesures.



Tendance (1959–2023) = 69 m/10 ans Norme (1961–1990) = 11'171 m

La hauteur de la tropopause a augmenté de manière significative spécialement pendant la période 1990–2023, une tendance qui se recoupe avec les tendances saisonnières montrées en Figure 5.18. Au printemps (mars, avril, mai) et en été (juin, juillet, août), les valeurs annuelles dépassent presque systématiquement la médiane de la norme 1961–1990 (10'584 m et 11'673 m, respectivement) à partir de 1990 environ. Comme pour l'altitude du zéro degré, les tendances de l'altitude de la tropopause sont un peu plus faibles en hiver (décembre, janvier, février) et en automne (septembre, octobre, novembre). En hiver, l'augmentation est néanmoins significative. Seul l'automne ne présente pas de tendance claire, les valeurs annuelles fluctuent autour de la médiane de la période de référence.

Le Tableau 5.4 montre les valeurs extrêmes des séries saisonnières depuis 1959 qui incluent le record absolu de l'hiver 2022 et du printemps en 2017.

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



Été Tendance (1959–2023) = 70 m/10 ans Norme (1961–1990) = 11'673 m



Printemps Tendance (1959–2023) = 76 m/10 ans Norme (1961–1990) = 10'584 m



Automne Tendance (1959–2023) = 33 m/10 ans Norme (1961–1990) = 11'755 m



Tableau 5.4

Minima et maxima saisonniers de la hauteur de la tropopause.

Figure 5.18

Valeur médianes saisonnières de l'altitude de la tropopause sur la période de mesure 1959–2023 La ligne noire indigue la médiane des altitudes saisonnières sur la période de référence 1961–1990, la ligne rouge représente la tendance linéaire des valeurs sur toute la série de données. La zone grise autour des valeurs médianes correspond à l'incertitude des mesures.

Tendance de la température à plusieurs niveaux standards

L'augmentation de la concentration de gaz à effet de serre CO₂ dans la troposphère, le refroidissement de la stratosphère et la diminution de la concentration d'ozone dans la stratosphère sont étroitement liés [34]. Les réactions chimiques dans l'atmosphère ont également une grande influence sur le climat. Les chlorofluorocarbures (CFC), le rayonnement ultraviolet, l'ozone dans la basse stratosphère et les gaz à effet de serre dans la troposphère jouent un rôle clé dans l'équilibre thermique à différents niveaux atmosphériques.

La Figure 5.19 montre les tendances des anomalies de température par rapport à la médiane de la période climatologique de référence 1961–1990, en correspondance de huit niveaux atmosphériques (quatre dans la troposphère et quatre dans la basse stratosphère). L'augmentation ininterrompue de la concentration des gaz à effet de serre dans la troposphère et en partie aussi dans la stratosphère [35] à partir des années 1980, domine la tendance générale provoquant une augmentation de la température d'environ 0,45 °C par décennie dans la basse troposphère avec un effet qui se réduit progressivement en approchant la tropopause (200 hPa). La tendance de la température s'inverse au-dessus de la tropopause, ce qui se traduit en une tendance générale de plus en plus négative et qui atteint -0,45 °C par décennie à 20 hPa.

Les séries temporelles des anomalies de température dans la troposphère et la stratosphère peuvent être divisées en deux tronçons, avec des tendances d'intensité différente. Dans la troposphère, les anomalies de température ne montrent aucune tendance entre 1959 et 1990. En revanche, entre 1980 et 2023, l'évolution de la température reflète la forte augmentation des concentrations de gaz à effet de serre qui s'est produite au cours des quarante dernières années, et peut-être d'autres effets amplificateurs tels que la diminution des concentrations d'aérosols, la réduction de la nébulosité, etc. Dans la stratosphère, deux tendances peuvent aussi être identifiées [36]: une, négative à tous les niveaux entre 1959 et 1990, et l'autre, globalement neutre à partir d'environ 1990 et visible spécialement aux niveaux de pression plus élevés. La tendance négative pendant la période 1959–1990 est principalement due à la dégradation de la couche d'ozone qui conduit à un refroidissement de la stratosphère.

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

La Figure 5.19 montre que pour les niveaux à 200 et 100 hPa, juste au-dessus de la tropopause, la forte augmentation de la concentration des gaz à effet de serre dans la troposphère, contrebalance la reconstitution de la couche d'ozone et impose un refroidissement général tout au long de la série 1959–2023. Les anomalies de température à tous les niveaux pendant l'année 2023 s'alignent le long des tendances linéaires calculées sur l'ensemble de la série temporelle.



Figure 5.19

Tendances des anomalies de température mesurée par radiosondage à différents niveaux atmosphériques au-dessus de la Suisse pendant la période 1959-2023. Les anomalies sont calculées par rapport à la médiane de la période climatologique de référence 1961-1990 sur quatre niveaux troposphériques et quatre niveaux stratosphériques.

5.1.3 Composition de l'atmosphère

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

Avec la série de mesures d'Arosa / Davos, la Suisse dispose de la plus longue série au monde de mesures de la colonne d'ozone dans l'atmosphère. Du début des mesures en 1926 à environ 1975, cette série de mesures fournit une moyenne à long terme d'environ 330 DU. Entre 1975 et 1995, les mesures indiquent une baisse significative de l'ozone total qui a diminué d'environ 15 DU. Le recul continu de l'ozone total au-dessus d'Arosa a débuté dans les années 1970. C'est à cette époque que l'on a relevé une forte augmentation des émissions de substances ayant pour effet de détruire la couche d'ozone. Ces dernières années, on observe une stabilisation de l'ozone total avec une valeur moyenne entre 1995 et aujourd'hui se situant aux alentours de 310–315 DU. Les années 2010, 2013, 2018 et 2021 présentent des moyennes supérieures à 320 DU (resp. 330, 322, 323 et 320.2 DU) alors que celles des années 2011 et 2012 sont proches de 300 DU (resp. 302 et 303 DU). Ceci démontre la variabilité de l'ozone total selon les années. L'année 2022 présente une valeur moyenne de 316 DU. De manière générale, bien que cette tendance soit actuellement non significative, elle va dans le sens d'une lente reconstitution de la colonne d'ozone en dessus d'Arosa / Davos.

Figure 5.20

Colonne d'ozone total à Arosa/Davos entre 1926 et 2023. Des mesures systématiques sont effectuées depuis 1932. Les enregistrements plus irréguliers de la période antérieure sont représentés en pointillés. 100 unités Dobson (Dobson Units) = 1 mm d'ozone pur à 1013 hPa et 0°C. La ligne rouge correspond à la moyenne pondérée sur un cycle solaire complet.



- Moyenne glissante sur 11 ans

Moyenne annuelle

Mesures de l'ozone à Payerne

Depuis 1968, l'ozone est mesuré par ballon-sonde à la station aérologique de MétéoSuisse à Payerne. Les mesures antérieures (1966–1968) proviennent de l'ETH Zürich. Cette série ininterrompue de mesures permet de déterminer l'évolution temporelle de la quantité d'ozone dans les différentes couches de l'atmosphère. Sur la figure suivante, trois niveaux d'altitudes (3, 22 et 27 km) sont illustrés à titre d'exemple. Comme le soulignent les trois droites horizontales, depuis le début des années 2000 la colonne d'ozone total n'a plus changé de manière significative. Pour les années avant 2000, une diminution de l'ozone était observée dans la stratosphère (illustrée par les niveaux 22 et 27 km), alors qu'une augmentation de l'ozone était observée dans la troposphère (illustrée ici par le niveau 3 km).



Figure 5.21

Concentration mensuelle d'ozone à trois altitudes durant la période 1967–2023. Bleu: 3 km; rouge: 22 km; vert: 27 km. La concentration d'ozone est donnée en pression partielle exprimée en nanobars (nbar).

Intensités des pollens

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

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

i

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

Figure 5.22

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





Graminées Suisse centrale et Suisse orientale



Bouleau Suisse romande







Graminées Suisse romande





81

5.2 Terres émergées

Sommes de neige fraîche

L'hiver 2022/2023, plutôt pauvre en précipitations et nettement trop doux, a également entraîné de faibles quantités de neige fraîche sur tous les sites de mesures présentés ici. En termes relatifs, les régions de basse et moyenne altitude ont été les plus touchées par le manque de neige fraîche. À Lucerne, un total de 28 cm de neige fraîche a été enregistré au cours du semestre d'hiver. Sur la période 1961–1990, on pouvait s'attendre à une moyenne de 83 cm. Sur le site de mesures d'Einsiedeln, on a enregistré 81 cm au lieu de la quantité moyenne de 3,41 m, comme c'était le cas pendant la période standardisée 1961–1990. Le semestre d'hiver 2022/2023 a donc été l'un des moins enneigés de cette station. Le site de mesures de Segl-Maria a enregistré une somme de neige fraîche de 1,42 m au cours du semestre d'hiver 2022/2023, soit à peine la moitié de la valeur normale de 3,12 m. La dernière fois que des sommes de neige fraîche aussi faibles ont été mesurées à cet endroit, c'était dans les années 1940. À Arosa, on a enregistré au total 3,56 m de neige fraîche (norme: 6,31 m). Les années 2018–2022 ont toutes été nettement plus enneigées à Arosa, tout comme à Segl-Maria. La dernière fois qu'il y a eu moins de neige que pendant la période de référence actuelle, c'était en 1996 à Arosa.

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





cm

Sommes de neige fraîche en cm durant le semestre d'hiver depuis le début des mesures jusqu'en 2023 dans les stations de mesures de Lucerne, d'Einsiedeln, d'Arosa et de Segl-Maria.







 $\left[\frac{-1}{2O}\right]$ Source pour Arosa: MétéoSuisse/Institut pour l'étude de la neige et des avalanches SLF, Davos

Journées de neige fraîche

Tout comme les sommes de neige fraîche, le nombre de jours avec de la neige fraîche est resté en dessous des attentes de la norme 1961–1990. Au cours du semestre d'hiver octobre-mars, le site de mesures d'Arosa a enregistré 61 jours avec de la neige fraîche (norme 71 jours). À Segl-Maria, en Haute-Engadine, 29 jours de neige fraîche ont été enregistrés (norme: 42 jours). À Lucerne, on a mesuré de la neige fraîche pendant 10 jours (norme: 18 jours). En termes relatifs, c'est le site d'Einsiedeln qui a enregistré le moins de jours de neige fraîche. Il y a eu 21 jours de neige fraîche au cours du semestre d'hiver 2022/2023. Cela correspond à moins de la moitié de la norme 1961–1990 (46 jours).

La série de mesures d'Arosa montre une tendance significative à l'augmentation du nombre de jours avec de la neige fraîche. Elle est de +1,5 jour par décennie. En revanche, Lucerne présente une tendance plus faible, mais significative à la baisse du nombre de jours de neige fraîche, avec -0,6 jour par décennie. Aucune tendance significative n'est observée sur les deux sites de mesures d'Einsiedeln et de Segl-Maria. Ici aussi, il faut mentionner que les enregistrements d'enneigement journaliers et mensuels ne sont pas disponibles sous forme de données homogénéisées.



Figure 5.24

Nombre de jours de neige fraîche au semestre d'hiver depuis le début des mesures jusqu'en 2023 dans les stations de mesures de Lucerne, d'Einsiedeln, d'Arosa et de Segl-Maria. 83

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

Indice du printemps

L'indice de printemps est une valeur permettant de caractériser le développement de la végétation au printemps en tant qu'écart en jours par rapport à la moyenne à long terme 1991–2020. L'indice calculé chaque année résume les phases phénologiques du printemps. Le développement de la végétation au printemps dépend principalement de l'évolution des températures hivernales et printanières [37].

En 2023, la végétation printanière s'est développée 3 jours plus tôt que la moyenne à long terme de 1991–2020, ce qui entre dans la classe «normale». Dès le début du mois de janvier, les noisetiers ont fleuri avec 22 jours d'avance sur la moyenne, une précocité jamais atteinte depuis le début des observations phénologiques. La dent-de-lion et la cardamine des prés ont fleuri dès la fin mars, avec une avance de 3–6 jours. La fraîcheur du mois d'avril a freiné la poursuite du développement de la végétation, de sorte que les arbres fruitiers ont commencé à se développer dès le début du mois d'avril et que le feuillage des arbres s'est déployé à partir de la mi-avril, à peu près conformément à la date moyenne.

Parallèlement aux températures plus élevées mesurées en hiver, mais encore plus au printemps à partir du milieu des années 1980, l'indice du printemps indique lui aussi, de la deuxième moitié des années 1980, une évolution comparable, par saccades, vers un développement plus précoce de la végétation au printemps (Figure 5.25).

Figure 5.25

État annuel du développement de la végétation en Suisse (indice du printemps) 1954–2023 présenté comme un écart par rapport à la moyenne à long terme de l'état de développement de la végétation. La courbe montre la moyenne pondérée sur 5 ans.



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

Depuis 1894, les dates de floraison d'un cerisier sont enregistrées près de Liestal, à Liestal-Weideli. On observe depuis 1990 environ une tendance à une floraison plus précoce (Figure 5.26) dans cette série. La date du 29 mars 2023 a eu lieu 5 jours plus tôt que la moyenne de la période 1991–2020, en raison des températures supérieures à la moyenne en février et mars. Par rapport à l'ensemble de la période de mesures, la date de cette année s'est située 14 jours avant la date moyenne. Il s'agit de la 18^e date la plus précoce de toutes les années. La série historique d'observations de la date de l'apparition de la première feuille du marronnier officiel à Genève, qui existe depuis 1808, revêt également une grande importance. C'est la plus longue série phénologique de Suisse. À partir de 1900 environ, on observe une nette tendance à l'apparition plus précoce de cette feuille. En 2023, l'apparition de la première feuille du marronnier a eu lieu le 9 mars. L'apparition de la feuille du marronnier dépend très fortement des températures. Cependant, d'autres facteurs comme l'âge de l'arbre ou le climat urbain peuvent également jouer un rôle. La raison de la manifestation plus tardive depuis plusieurs années n'est pas encore connue. L'arbre observé depuis 1930 est mort en été 2015 et depuis, les observations sont faites sur un nouvel arbre.



Figure 5.26

Floraison des cerisiers près de Liestal durant la période 1894–2023 (en haut) et apparition de la première feuille du marronnier à Genève 1802–2023 (en bas).

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

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





5.3 Origine des données et méthodes

Indicateurs climatiques selon l'OMM

Les indicateurs climatiques selon l'OMM sont calculés selon les règles et avec le logiciel officiel de l'«Expert Team on Climate Change Detection and Indices» (ETCCDI) de l'OMM [17]. Les valeurs utilisées sont des séries homogénéisées à partir de 1959.

Température

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

www.meteosuisse.admin.ch/climat/changement-climatique/evolution-temperatureprecipitations-ensoleillement/temperaturemoyenne-suisse.html

Précipitations

En Suisse, le régime des précipitations au Nord et au Sud des Alpes est très différent avec des caractéristiques tout à fait spécifiques dans l'évolution à long terme des précipitations. Une courbe des précipitations pour toute la Suisse peut masquer ces différences régionales considérables. C'est pourquoi nous faisons une distinction entre l'évolution des précipitations au Nord et au Sud des Alpes. L'évolution des précipitations pour toute la Suisse n'est pas représentée. Les analyses sont basées sur 12 séries de mesures homogènes [38] du réseau suisse de mesures climatiques (Swiss National Basic Climatological Network; Swiss NBCN [1]).

Jours de fortes précipitations

La notion utilisée de «fortes précipitations» sur la base d'un seuil ≥20 mm ne doit pas être confondue avec celle des précipitations extrêmes rares. Chaque année, on enregistre plusieurs fois un volume de précipitations de 20 mm dans la plupart des régions de Suisse. Le phénomène est donc fréquent. On considère comme rare un événement attendu à peu près tous les 10 ans ou davantage. A Berne, c'est le cas à partir de 65 mm environ, à Sion, à partir de 50 mm, à Davos, à partir de 70 mm et à Lugano, à partir de 130 mm de précipitations journalières. Il est toutefois difficile, par essence, de dégager des tendances pour les événements extrêmes en raison même de leur rareté. Plus les événements sont rares, plus il est compliqué de dégager une tendance [39]. Des informations détaillées sur les rares fortes précipitations se trouvent sous:

www.meteosuisse.admin.ch/climat/climat-de-lasuisse/records-et-extremes/analyses-des-valeursextremes.html

Précipitations des journées très humides

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

Indice de sécheresse

Les indices SPI (standardized precipitation index, [40]) et SPEI (standardized precipitation evapotranspiration index, [41]) 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 1–48 mois) et se calcule à partir des sommes mensuelles de précipitations. Les précipitations cumulées des derniers (1–48) mois sont comparées avec les sommes de précipitations relevées au même moment dans le passé. La distribution de ces sommes de précipitations est transformée en une distribution normale standard autour de zéro. La valeur ainsi transformée d'une somme de précipitations donnée constitue la valeur SPI.

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

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

	SPEI	≤ -2,0	extrêmement sec
-2,0	<spei< td=""><td>≤ -1,5</td><td>très sec</td></spei<>	≤ -1,5	très sec
-1,5	<spei< td=""><td>≤ -1,0</td><td>sec</td></spei<>	≤ -1,0	sec
-1,0	<spei< td=""><td>< 1,0</td><td>normal</td></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 [42]. 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 climatigues.

Altitude de la tropopause

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

Développement de la végétation

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

Saison pollinique et intensité des pollens

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

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

Stations de mesure du pollen utilisées pour le graphique intensité du pollen:

Suisse centrale et orientale: Bâle, Buchs/SG, Lucerne, Münsterlingen et Zurich

Suisse occidentale: Berne, Genève, Neuchâtel

Tessin: Locarno et Lugano

Somme de neige fraîche et journées de neige fraîche

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

Indice du printemps

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

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

L'analyse en composantes principales permet de structurer ces nombreuses données d'observation, de les simplifier et de les rassembler, à des fins d'illustration, en un indice printanier pour l'ensemble de la Suisse [37].

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

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

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



Références

- [1] Begert M., Seiz G., Foppa N., Schlegel T., Appenzeller C., Müller G., 2007: Die Überführung der klimatologischen Referenzstationen der Schweiz in das Swiss National Climatological Network (Swiss NBCN). Arbeitsbericht MeteoSchweiz, 215.
- [2] IPCC, 2013: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker T. F., Qin D., Plattner G.-K., Tignor M., Allen S. K., Boschung J., Nauels A., Xia Y., Bex V. and Midgley P. M. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- [3] Collaud Coen M., Andrews E., Alastuey A., Arsov T. P., Backman J., Brem B. T., Bukowiecki N., Couret C., Eleftheriadis K., Flentje H., Fiebig M., Gysel-Beer M., Hand J. L., Hoffer A., Hooda R., Hueglin C., Joubert W., Keywood M., Kim J. E., Kim S.-W., Labuschagne C., Lin N.-H., Lin Y., Lund Myhre C., Luoma K., Lyamani H., Marinoni A., Mayol-Bracero O. L., Mihalopoulos N., Pandolfi M., Prats N., Prenni A. J., Putaud J.-P., Ries L., Reisen F., Sellegri K., Sharma S., Sheridan P., Sherman J. P., Sun J., Titos G., Torres E., Tuch T., Weller R., Wiedensohler A., Zieger P., and Laj P.: Multidecadal trend analysis of aerosol radiative properties at a global scale, Atmos. Chem. Phys. Discuss., in review, 2020:

(https://doi.org/10.5194/acp-2019-1174

- [4] Collaud Coen M., Weingartner E., Furger M., Nyeki S., Prévôt A. S. H., Steinbacher M. and Baltensperger U., 2011: Aerosol climatology and planetary boundary influence at the Jungfraujoch analyzed by synoptic weather types. Atmos. Chem. Phys., 11, 5931-5944, doi: 10.5194/acp-11-5931-2011.
- [5] Bouët M., 1971: La tornade du 26 août 1971 à la Vallée de Joux. Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles. Band (Jahr) 71 (1971–1973), Heft 337.

www.e-periodica.ch/cntmng?pid=bsv-002%3A1971%3A71%3A%3A187

[6] NOAA PSL:

https://psl.noaa.gov/data/composites/day/

[7] Alfred J., Fromm M., Bevilacqua R., Nedoluha G., Strawa A., Poole L., and Wickert J.: Observations and analysis of polar stratospheric clouds detected by POAM III and SAGE III during the SOLVE II/VINTERSOL campaign in the 2002/2003 Northern Hemisphere winter, Atmos. Chem. Phys., 7, 2151-2163, 2007:

https://doi.org/10.5194/acp-7-2151-2007

- [8] Hinz C., Kärmer P., Können G. P., Polar stratospheric clouds over western Europe, Weather April 2009, Vol. 64, No. 4, Royal Meteorological Society, doi: 10.1002/wea.318.
- [9] Keckhut P., David Ch., Marchand M., Bekki S., Jumelet J., Hauchecorne A. and Höpfner M.: Observation of Polar Stratospheric Clouds down to the Mediterranean coast, Atmos. Chem. Phys., 7, 5275-5281, 2007:

https://doi.org/10.5194/acp-7-5275-2007

[10] ACD NASA:

https://acd-ext.gsfc.nasa.gov/Data_services/met/qbo/qbo.html#mlsh2olat

[11] WMO 2024: State of the Global Climate 2023, WMO-No. 1347, 53 p.:

https://library.wmo.int/idurl/4/68835

[12] Copernicus C3S, ECMWF: Global Climate Highlights 2023:

https://climate.copernicus.eu/global-climate-highlights-2023

[13] NOAA National Centers for Environmental Information, State of the Climate: Global Climate Report for Annual 2022, published online January 2023, retrieved on January 29, 2023 from:

www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/202213

- [14] Morice C. P., Kennedy J. J., Rayner N. A., Winn J. P., Hogan E., Killick R. E., Dunn R. J. H., Osborn T. J., Jones P. D. and Simpson I. R., 2020: An updated assessment of near-surface temperature change from 1850: the HadCRUT5 dataset. Journal of Geophysical Research (Atmospheres) doi: 10.1029/2019JD032361 (supporting information).
- [15] MEI-Daten unter:

www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei/

- [16] WMO, 2003: GCOS-82. Second Report on the Adequacy of the Global Observing Systems for Climate in Support of the UNFCCC. WMO TD 1143.
- [17] Zwiers F. W., Zhang X., Guidelines on Analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation. WMO/TD-No. 1500; WCDMP-No. 72:

https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=138

[18] World Meteorological Organization (WMO), WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals. WMO-No. 1203:

https://public.wmo.int/en/resources/library/wmo-guidelines-calculation-of-climate-normals

- [19] Seiz G., Foppa N., 2007: Nationales Klima-Beobachtungssystem (GCOS Schweiz). Publikation von MeteoSchweiz und ProClim, 92 S.:
 - www.meteoschweiz.admin.ch/ueber-uns/forschung-und-zusammenarbeit/internationalezusammenarbeit/gcos/nationales-klimabeobachtungssystem.html
- [20] WMO, Essential Climate Variables:
 - https://public.wmo.int/en/programmes/global-climate-observing-system/essential-climate-variables
- [21] Sommertag, Deutscher Wetterdienst DWD:

www.dwd.de/DE/service/lexikon/begriffe/S/Sommertag.html

- [22] Scherrer S. C., Appenzeller C., Laternser M., 2004: Trends in Swiss Alpine snow days: The role of local- and largescale climate variability. Geophys. Res. Lett., 31, L13215, doi: 1029/2004GL020255.
- [23] Laternser M., Schneebeli M., 2003: Long-term snow climate trends of the Swiss Alps (1931–99). International Journal of Climatology 23: 733-750.
- [24] Scherrer S. C., Wüthrich C., Croci-Maspoli M., Weingartner R., Appenzeller C., 2013: Snow variability in the Swiss Alps 1864–2009, International Journal of Climatology 33: 3162-3173:

https://doi.org/10.1002/joc.3653

- [25] Wüthrich C., 2008: Lange Schneemessreihen der Schweiz, Aufarbeitung der längsten Schneemessreihen und Trendanalyse ausgewählter Schneeparameter, Geographisches Institut der Universität Bern, Diplomarbeit.
- [26] Scherrer, S. C., de Valk C., Begert M., Gubler S., Kotlarski S., Croci-Maspoli M., 2024: Estimating trends and the current climate mean in a changing climate, Climate Services, 33, 100428:

https://doi.org/10.1016/j.cliser.2023.100428

[27] 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

[28] Bauer V. M. and Scherrer S. C., 2024: The observed evolution of sub-daily to multi-day heavy precipitation in Switzerland, Atmospheric Science Letters:

https://doi.org/10.1002/asl.1240

- [29] MeteoSchweiz: 2018, Hitze und Trockenheit im Sommerhalbjahr 2018 eine klimatologische Übersicht. Fachbericht MeteoSchweiz, 272, 38 pp.
- [30] Scherrer S.C., Hirschi M., Spirig C., Maurer F., Kotlarski S., 2022: Trends and drivers of recent summer drying in Switzerland. Environ. Res. Commun. 4, 025004:

https://doi.org/10.1088/2515-7620/ac4fb9

- [31] 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.
- [32] Pfister C., Rutishauser M., 2000: Dürresommer im Schweizer Mittelland seit 1525. Workshopbericht "Trockenheit in der Schweiz", Organe Consultatif sur les Changements Climatiques (OcCC), Bern. 17 S. und 2 Anhänge:

http://occc.ch/reports_d.html

- [33] WMO, 1957: Definition of the tropopause. WMO Bull., 6, 136.
- [34] Isaksen I., Hesstvedt E. and Stordal F.: Influence of stratospheric cooling from CO₂ on the ozone layer. Nature 283, 189–191 (1980) doi: 10.1038/283189a0.
- [35] Humpage N., Boesch H., Palmer P. I., Vick A., Parr-Burman P., Wells M., Pearson D., Strachan J., and Bezawada N.: GreenHouse gas Observations of the Stratosphere and Troposphere (GHOST): an airborne shortwave-infrared spectrometer for remote sensing of greenhouse gases, Atmos. Meas. Tech., 11, 5199–5222:

https://doi.org/10.5194/amt-11-5199-2018

- [36] Philipona R., Mears C., Fujiwara M., Jeannet P., Thorne P., Bodeker G., Haimberger L., Hervo M., Popp C., Romanens G., Steinbrecht W., Stübi R., Van Malderen R.: (2018) Radiosondes show that after decades of cooling the lower stratosphere is now warming. J Geophys Res 123(22): 12–509.
- [37] Studer S., Appenzeller C., Defila C., 2005: Inter-annual variability and decadal trends in Alpine spring phenology: A multivaritae analysis approach. Climatic Change 73: 395-414.

- [38] 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.
- [39] 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.
- [40] 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.
- [41] 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.
- [42] 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).
- [43] UK Met Office, Blog, 8. Januar 2013: What is a Sudden Stratospheric Warming (SSW)?
- [44] MétéoSuisse: 2024, Orage dévastateur du 24 juillet 2023 à La Chaux-de-Fonds, Rapport technique MétéoSuisse, 287, 56 pp.





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

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

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

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

Serviceclient@meteosuisse.ch

(meteosuisse.ch