



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

MétéoSuisse

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

Rapport climatologique 2014



Les photos spectaculaires dans le rapport climatologique 2014 viennent de Stephan Siegrist et de son équipe. Stephan est un grimpeur et alpiniste extrême d'Interlaken. En tant que guide de montagne, il conduit des tours et expéditions dans diverses chaînes montagneuses de la planète avec des voies d'escalade parfois difficiles.

Situation anticyclonique automnale. Un front chaud circulant sur le nord de l'Europe dirige des cirrus au-dessus des Alpes. Stephan Siegrist sur le Niederhorn, Oberland bernois.

Photo: visualimpact.ch; Thomas Senf





Rapport climatologique 2014

Editeur

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

Rédaction

Dr. Stephan Bader, Thomas Schlegel

Auteurs

Dr. Stephan Bader, Michael Begert, Dr. Martine Collaud Coen,
Dr. Christoph Frei, Dr. Sophie Fukutome, Dr. Regula Gehrig,
Dr. Eliane Maillard Barras, Dr. Rolf Philipona, G. Romanens,
Dr. Simon Scherrer, Thomas Schlegel, Fosco Spinedi, Dr. Christoph
Spirig, Dr. Reto Stöckli, Dr. René Stübi, Dr. Laurent Vuilleumier

Photo de couverture

Stephan Siegrist sur une slackline entre les «Twintowers». En
arrière-plan, Birg-Schilthorn, Eiger et Mönch, Oberland bernois.

Photo: visualimpact.ch; Thomas Ulrich

Merci de bien vouloir citer le présent rapport comme suit:
MétéoSuisse, 2015: Rapport climatologique 2014. Office fédéral
de météorologie et de climatologie. MétéoSuisse, Zurich. 80 p

Table de matière

Résumé	6
Summary	7
1 Evolution du climat au cours de l'année 2014	10
2 L'évolution annuelle	18
3 Particularités de l'année 2014	36
3.1 L'année la plus chaude depuis le début des mesures	36
3.2 D'énormes quantités de neige au Sud des Alpes	37
3.3 Record de manque de soleil au milieu de l'été	38
3.4 Record de précipitations en juillet	38
3.5 Crues en novembre au Tessin	39
4 Climat global et évolution météorologique 2014	42
4.1 L'année la plus chaude au niveau mondial	42
4.2 El Niño et La Niña	44
4.3 Événements particuliers	45
4.4 Glaces marines arctiques et antarctiques	45
5 Surveillance du climat	48
5.1 Atmosphère	50
5.1.1 Mesures au sol	50
Température	50
Jours de gel	53
Journées d'été	54
Limite du zéro degré	55
Précipitations	56
Jours de fortes précipitations	59
Précipitations des journées très humides	60
Périodes de sécheresse	61
Indice de sécheresse	62
5.1.2 Atmosphère libre	63
Limite du zéro degré	63
Altitude de la tropopause	63
5.1.3 Composition de l'atmosphère	64
Série de mesures de l'ozone d'Arosa	64
Mesures de l'ozone à Payerne	65
Poussière du Sahara	68
Intensité des pollens	69
5.2 Terres émergées	70
Sommes de neige fraîche et journées de neige fraîche	70
Journées de neige fraîche	71
Indice du printemps	72
Floraison des cerisiers près de Liestal et apparition de la première feuille du marronnier à Genève	73
5.3 Origine des données et méthodes	76
Références	78

Résumé

6

En moyenne nationale, l'année 2014 en Suisse a connu un excédent thermique record de 1.24 degré par rapport à la norme 1981–2010. Le précédent record de 2011 avec un excédent de 1.21 degré a donc été légèrement battu. Au Sud des Alpes, 2014 a localement été la troisième année la plus pluvieuse.

Un afflux continu d'air doux a permis à l'hiver 2013/2014 d'être le troisième le plus doux en Suisse depuis le début des mesures en 1864. Dans la vallée du Rhin du côté de Coire, sous l'effet de fréquents épisodes de foehn, l'hiver 2013/2014 a même été le plus chaud. Le Sud des Alpes a vécu son hiver le plus pluvieux avec localement des records de neige fraîche dans les montagnes. En revanche, l'hiver 2013/2014 est resté généralement vert sur les régions de plaine du Nord de la Suisse avec localement seulement 1 cm de neige fraîche, soit l'hiver le moins enneigé depuis plus de 80 ans.

Le printemps a été plus chaud que la norme saisonnière, un peu trop sec et plutôt ensoleillé. Les mois de mars et d'avril ont été doux et ensoleillé, tandis que le mois de mai s'est présenté comme changeant et frais. Jusqu'en juin, tous les mois du premier semestre, à l'exception de mai, ont été plus chauds que de coutume. Finalement, le premier semestre 2014 a été le troisième le plus chaud depuis le début de mesures il y a 151 ans.

Après un courte phase caniculaire en juin, les conditions météorologiques au cœur de l'été, pendant les mois de juillet et août, ont été fraîches et exceptionnellement humides. De nombreux records mensuels de précipitations ont été battus en juillet. La conséquence de ce temps fréquemment pluvieux a été la période juillet-août la moins ensoleillée depuis le début des mesures. Le déficit d'ensoleillement a été particulièrement marqué au Sud des Alpes et en Suisse romande.

Enfin, la Suisse a vécu son deuxième automne le plus chaud depuis le début des mesures. Au Sud des Alpes et en Engadine, l'automne a été humide et peu ensoleillé. En novembre, le Tessin a localement connu des précipitations record. En conséquence de ces fortes pluies, le niveau des lacs tessinois est fortement monté, si bien que les rues de Lugano et de Locarno ont été significativement inondées.

La douceur exceptionnelle de l'automne s'est prolongée en décembre. La neige n'était présente qu'au-dessus de 1000 à 1500 mètres et en faibles quantités, bien inférieures aux épaisseurs habituelles. Suite à l'arrivée d'air froid à partir du nord-ouest, puis du nord, les conditions météorologiques à la fin de l'année sont passées en deux jours d'une extrême douceur à un froid hivernal. Au Nord des Alpes, il a neigé jusqu'en plaine.

En ce qui concerne l'évolution climatique à long terme, en raison de l'augmentation générale de la température au cours de la

période analysée 1959–2014, le nombre de journées estivales a nettement augmenté, tandis que le nombre de jours de gel a significativement diminué. Au cours de cette même période, la limite du zéro degré a grimpé de 390 mètres, essentiellement en hiver, au printemps et en été. Le réchauffement général s'exprime également par un développement plus précoce de la végétation.

L'évolution à long terme des précipitations entre 1864 et 2014 montre une tendance significative à la hausse des sommes de précipitations pour l'année et en hiver. Pour les autres saisons, aucun changement à long terme n'apparaît dans la somme des précipitations. Au Sud des Alpes, aucun changement à long terme dans le régime des précipitations n'apparaît pour toutes les saisons et aussi pour l'année.

Le nombre de jours avec de fortes précipitations n'a pas évolué depuis le début de la période analysée en 1959. Les précipitations des jours très humides ont augmenté dans certaines régions, alors que pour d'autres régions, aucun changement n'a été relevé. La durée des périodes sèches les plus intenses n'a pas évolué. Les relevés plus que centenaires de la neige montrent localement une légère diminution des sommes de neige fraîche, alors qu'il n'y a aucun changement pour d'autres régions plus étendues. Pour les journées avec de la neige fraîche, certaines régions montrent une légère augmentation, tandis que d'autres ne montrent aucun changement.

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

Summary

Throughout 2014 weather extremes were chasing one another in Switzerland. Together with the year 2011 it was the warmest since observations started in 1864. In some regions of the Ticino, it was the third wettest year.

Steady supply of mild air led to the third warmest winter in Switzerland since the measurements started in 1864. In the Rhine valley near Chur, the winter temperatures even were the highest on record due to support of Föhn winds. On the southern slopes of the Alps, record-breaking precipitation sums were registered. At higher altitudes, regionally, record-breaking new snow sums were measured. This was in stark contrast to the substantial lack of snow in the northern lowland. Regionally it was the winter with the least amount of snow in the measurement series spanning over more than 80 years.

Spring was also characterised by above average temperatures, drier than average conditions and above average sunshine duration. Especially March and April were mild and sunny, while May was rather changeable and cool. Until June, all months except May showed above average temperatures. This continuous excess warmth led to the third warmest first half of the year since measurements began 151 years ago.

After a short heat wave in June, the midsummer months July and August showed below average temperatures and were markedly wet. In many places, the precipitation sums in July were the highest on record. The frequent rainy weather led to the dullest midsummer since measurements started. This was especially pronounced in the Ticino and western Switzerland.

Finally, the Swiss autumn was the second warmest since measurements started. In the Ticino and in the Engadina, the autumn was also wet and dull. In November, record high precipitation sums fell in the Ticino. This led to flooding of the city centres of Locarno and Lugano and in the vicinity of the lakes.

The above-average temperatures of autumn continued into December. Snow was mostly confined to altitudes above 1000 to 1500 m a.s.l., and that in below-average amounts. With cold air from north-west and north during the last days of the year the weather switched from extremely mild to wintery cold within two days. North of the Alps there was snowfall down to lowland.

With a view to the long-term temperature development the record year 2014 contributed to the elevated mean temperature in Switzerland, concerning all seasons. In accordance with generally higher temperatures the number of summer days has increased considerably while the number of frost days has decreased in the period under scrutiny since 1959. In the same period the zero degree level has risen by around

390 m, mainly in the winter, spring and summer seasons. The general rise in temperature has also led to an earlier development of vegetation.

North of the Alps the long-term precipitation development 1864–2014 shows a trend to higher precipitation totals for the year and for the winter season. No long-term changes in the precipitation totals have been registered for the remaining seasons. South of the Alps no long-term change in the precipitation pattern has been registered, both as regards annual totals and seasonal totals.

In the period under scrutiny since 1959 the number of days with heavy precipitation has remained largely unchanged. Precipitation totals of very wet days have increased regionally; in many places however there has been no change. The length of the most intensive dry periods has not changed. The over 100-year-old snow records indicate in some regions a slight decrease, in other regions however, there is no change in the fresh snow totals. In the number of days with fresh snow also some regions show a slight increase, in other regions however the measurement series indicate no change.

In the past years the ozone situation in the upper atmosphere over Switzerland has remained stable. This stability follows a decrease of the ozone total of around 6% which took place between 1970 and 1995.

Situation météorologique instable dans l'Oberland bernois. De premières faibles averses arrivent à partir de l'ouest. Stephan Siegrist avec Ralf Weber sur le «Top of the Mushroom», Eiger, Oberland bernois.

Photo: visualimpact.ch; Thomas Senf





1 | Evolution du climat au cours de l'année

10

L'année 2014 en Suisse a été caractérisée par des extrêmes climatologiques. Elle est la plus chaude depuis le début des mesures en 1864, à égalité avec 2011. Après les records d'enneigement au Sud au début de l'année, le premier semestre a été extrêmement doux. En revanche, l'été 2014 peut être qualifié de pourri en étant pluvieux, frais et très peu ensoleillé. En juillet, des records de précipitations ont été relevés au Nord des Alpes. L'automne a été à nouveau très doux dans toute la Suisse, mais avec des records de précipitations au Sud qui ont fait débordé les lacs tessinois.

L'année la plus chaude depuis le début des mesures

En moyenne nationale, l'année 2014 a connu un excédent thermique de 1.24 degré par rapport à la norme 1981–2010. Il s'agirait donc de l'année la plus chaude depuis le début des mesures en 1864. Cependant, la différence avec l'année record de 2011 qui a connu un excédent thermique de 1.21 degré, est extrêmement faible. Comme les mesures sont souvent entachées d'incertitudes, cette différence n'est pas significative et par conséquent, il faut considérer les années 2011 et 2014 comme équivalentes chaudes. Les deux années ont présenté un excédent thermique record de 1.2 degré par rapport à la norme 1981–2010.

Record d'enneigement au Sud des Alpes

L'année 2014 a débuté par des records au Sud des Alpes. Là-bas, c'est l'hiver le plus pluvieux depuis le début des mesures il y a 151 ans qui a été régionalement relevé. Dans les montagnes tessinoises, il est localement tombé près de 7 mètres de neige, soit la plus grande quantité de neige fraîche depuis plus de 50 ans de mesures. En revanche, l'hiver 2013/2014 est resté généralement vert sur les régions de plaine du Nord de la Suisse avec localement seulement 1 cm de neige fraîche, soit l'hiver le moins enneigé depuis plus de 80 ans.

Le troisième hiver le plus doux en Suisse

L'afflux continu d'air doux depuis les régions subtropicales a permis à l'hiver 2013/2014 d'être le troisième le plus doux en Suisse depuis le début des mesures en 1864. En moyenne nationale, l'excédent thermique a atteint 1.7 degré par rapport à la norme 1981–2010. L'hiver le plus chaud de 2006/2007 avait connu un excédent thermique de 2.6 degrés par rapport à la norme. Au deuxième rang figure l'hiver 1989/90 avec un écart à la norme de 2.0 degrés. Dans la vallée du Rhin du côté de Coire, sous l'effet du foehn, l'hiver 2013/2014 a même été le plus chaud depuis le début des mesures.

Un premier semestre extrêmement chaud

Tous les mois du premier semestre, à l'exception de mai, ont été plus chauds que de coutume. Finalement, le premier semestre 2014 a été le troisième le plus chaud depuis le début des mesures il y a 151 ans. En moyenne nationale, les températures ont été 1.5 degré au-dessus de la norme 1981–2010. Le premier semestre 2011 avait également été aussi chaud avec un écart à la norme de 1.6 degré. Le premier semestre le plus chaud avait été relevé en 2007 avec un écart à la norme s'élevant à 2.3 degrés.

Records de précipitations et de manque de soleil au cœur de l'été

Les conditions météorologiques n'ont été pleinement estivales qu'au cours d'une semaine lors de la première quinzaine de juin. Au cœur de l'été, pendant les mois de juillet et d'août, les conditions météorologiques ont souvent été pluvieuses, notamment en juillet. De nombreux records mensuels de précipitations en juillet ont été battus sur la moitié occidentale de la Suisse. Ces records ont été plus isolés sur la moitié orientale du pays. Pour le Nord des Alpes, on mentionnera surtout la valeur mensuelle extrême de 523 mm relevée en juillet aux Avants, au-dessus de Montreux. Cela représente près de 3 fois plus de ce qui tombe habituellement en juillet.

S'il pleut fréquemment, cela veut dire que le soleil est rare. C'est bien ce que la Suisse a vécu cet été et il en a résulté le plus faible ensoleillement en juillet et août depuis le début des mesures. Le déficit d'ensoleillement a été particulièrement marqué au Tessin et en Suisse romande. Il a manqué plus de 120 heures d'ensoleillement, soit l'équivalent d'une à deux semaines de plein soleil par rapport à une période juillet-août normale.

Un automne extrêmement chaud et des inondations au Sud

Après un été frais, un automne chaud a suivi. Le quatrième mois d'octobre le plus chaud depuis le début des mesures a été relevé, ainsi que le deuxième mois de novembre le plus chaud. En ajoutant un mois de septembre également plus chaud que la norme, il en a résulté le deuxième automne le plus chaud

depuis le début des mesures il y a 151 ans. En moyenne nationale, l'écart par rapport à la norme 1981–2010 a été de 2.1 degrés. Au cours de l'automne record de 2006, on avait mesuré un écart à la norme de 2.6 degrés, tandis que pour l'automne 2011 qui se situe à présent au 3ème rang, un écart à la norme nettement plus bas de 1.4 degré avait été mesuré.

Cette douceur extrême a été accompagnée par de fortes précipitations au Sud des Alpes. Après un mois d'octobre déjà copieusement arrosé, il est tombé en novembre 4 à 5 fois plus de précipitations que lors d'un mois de novembre normal. Avec une valeur de 587 mm, Lugano a vécu son mois de novembre le plus humide depuis le début des mesures en 1864. A Locarno-Monti, avec une lame d'eau de 733 mm, il s'agit du deuxième mois de novembre le plus humide depuis le début des mesures en 1883. Comme à Locarno-Monti, de nombreuses stations pluviométriques du Tessin ont relevé le deuxième mois de novembre le plus pluvieux, derrière novembre 2002.

En conséquence de ces fortes pluies persistantes, le niveau des lacs Majeur et celui de Lugano est fortement monté et les deux lacs ont débordé pendant plusieurs jours vers la mi-novembre, inondant les rues de Lugano et de Locarno.

En attendant l'hiver

La douceur exceptionnelle de l'automne s'est prolongée en décembre. La neige n'était présente qu'au-dessus de 1000 à 1500 mètres et en faibles quantités, bien inférieures aux épaisseurs habituelles. Après la mi-décembre, la couche de neige dans les Alpes n'atteignait souvent que l'équivalent de 30 à 60% de la hauteur normale. Des épaisseurs un peu plus conformes, comprises entre 60 et 90% de la norme, ont été relevées sur le sud des Alpes valaisannes.

Puissante offensive hivernale à la fin de l'année

Suite à l'arrivée d'air froid à partir du nord-ouest, puis du nord, les conditions météorologiques à partir du 26 décembre sont passées en 2 jours d'une extrême douceur à un froid hivernal. Au Nord des Alpes, il a neigé jusqu'en plaine du 26 au 29 décembre. Il est localement tombé entre 20 et 30 cm de neige

fraîche. Dans le Jura et le long des versants nord des Alpes, on a mesuré de 40 à 60 cm de neige fraîche.

Suite à une nuit claire et des sols enneigés, les températures minimales relevées sur le Plateau le 29 décembre ont localement été extrêmement basses. A Hallau, dans le canton de Schaffhouse, le thermomètre est descendu jusqu'à -21.1 degrés. Pour cette station, il s'agit de la température la plus basse relevée en décembre depuis plus de 50 ans de mesures. Les 29 et 30 décembre, les températures sont restées négatives tout au long de la journée sur pratiquement l'ensemble de la Suisse, à l'exception du Bassin lémanique et du Tessin.

Bilan annuel

La température annuelle en Suisse en 2014 a souvent été entre 1.0 et 1.4 degré au-dessus de la norme 1981–2010. Au Sud des Alpes et en Engadine, l'écart à la norme a été d'environ 1.0 degré. Moyenné sur l'ensemble de la Suisse, l'excédent thermique a atteint 1.2 degré, égalisant ainsi l'année la plus chaude de 2011.

Les précipitations annuelles ont été normales ou légèrement déficitaires sur la plupart des régions du pays du Nord des Alpes. En revanche, au Sud des Alpes et en Engadine, l'année a été nettement trop humide avec des valeurs correspondant entre 120 et 170% de la norme 1981–2010. A Lugano et à Locarno-Monti, avec des précipitations correspondant à 150 à 160% de la norme, l'année 2014 a été la troisième la plus humide depuis le début des mesures il y a plus de 100 ans. Il faut remonter en 1960 pour retrouver une année encore plus humide avec l'équivalent de 160% de la norme 1981-2010.

L'ensoleillement s'est fréquemment situé dans la norme 1981-2010. Cependant, l'année 2014 a localement été une des plus ensoleillées comme à Zurich avec 111% de la norme, ainsi qu'à Lucerne et à Neuchâtel avec 110% de la norme. Dans les Grisons, au Tessin et sur les sommets alpins, l'année a été particulièrement sombre avec de 80 à 90% de la norme seulement. En Haute-Engadine, il s'agit de la 3ème année, au Säntis et au Jungfrauoch, de la 4ème année la plus sombre. Les mesures homogénéisées d'ensoleillement existent depuis 1959.

Station	Altitude m	Température °C			Durée d'ensoleillement h			Précipitations mm		
		moyenne	norme	écart.	somme	norme	%	somme	norme	%
Berne	553	10.0	8.8	1.2	1823	1682	108	1034	1059	98
Zurich	556	10.6	9.4	1.2	1714	1544	111	1076	1134	95
Genève	420	11.7	10.6	1.1	1860	1828	102	1005	1005	100
Bâle	316	11.9	10.5	1.4	1699	1637	104	869	842	103
Engelberg	1036	7.7	6.4	1.3	1317	1350	98	1658	1559	106
Sion	482	11.8	10.2	1.6	2022	2093	97	530	603	88
Lugano	273	13.5	12.5	1.0	1875	2069	91	2430	1559	156
Samedan	1709	3.2	2.0	1.2	1552	1733	90	957	713	134

norme moyenne climatologique 1981–2010

écart écart de la température à la norme 1981–2010

% rapport à la norme 1981–2010 (norme = 100%)

Tableau 1.1

Valeurs annuelles 2014 pour une sélection de stations MétéoSuisse en comparaison avec la norme 1981–2010.

Températures, précipitations et durée d'ensoleillement de l'année 2014

Figure 1.1

Répartition spatiale des températures, des précipitations et de la durée d'ensoleillement en 2014.

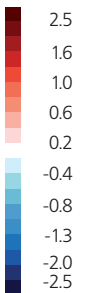
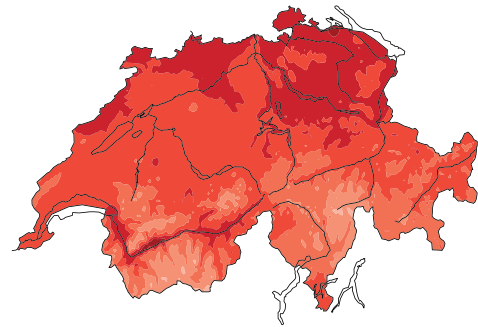
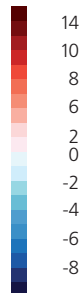
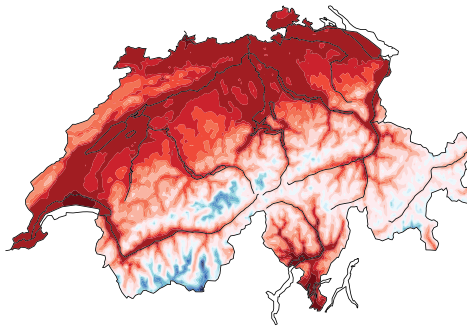
Les valeurs mesurées sont représentées à gauche et les rapports à la norme climatologique 1981–2010 à droite.

Valeurs mesurées en 2014

Ecarts à la norme 1981–2010

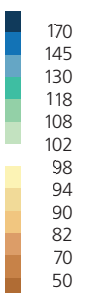
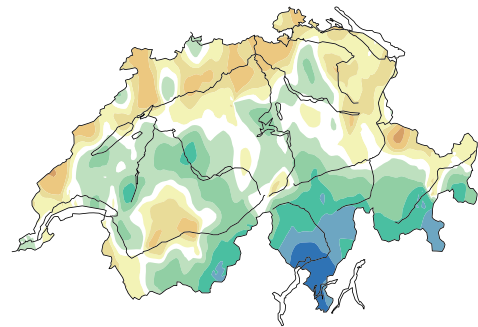
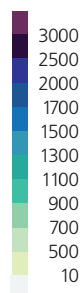
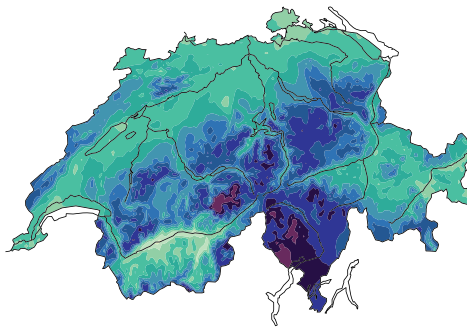
Températures moyennes annuelles °C

Ecart à la norme de la température moyenne °C



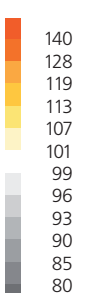
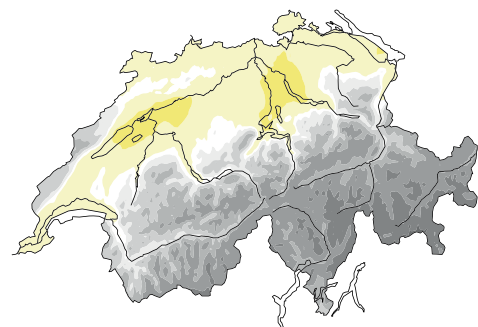
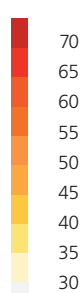
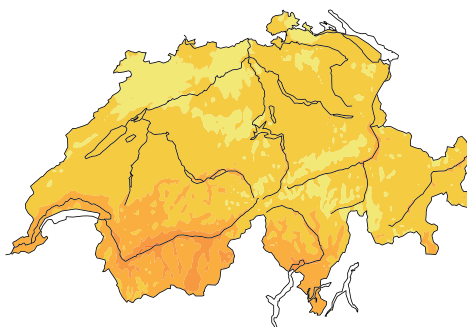
Somme annuelle des précipitations mm

Somme des précipitations % de la norme



Rapport à l'ensoleillement annuel maximal %

Durée d'ensoleillement % de la norme



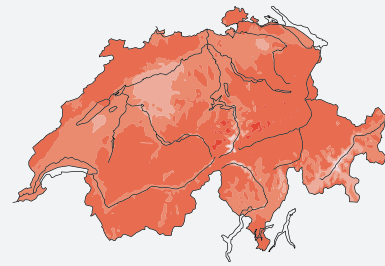
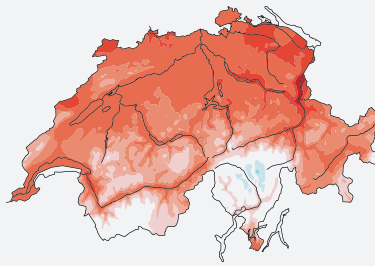
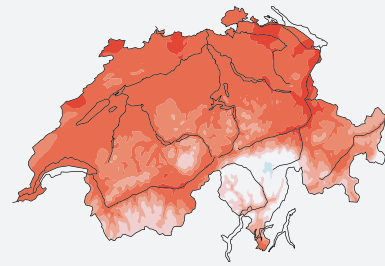
Température mensuelle 2014: écart à la norme 1981–2010

Figure 1.2
Répartition spatiale de la température mensuelle, écart à la norme 1981–2010 °C.

Janvier 2014

Février 2014

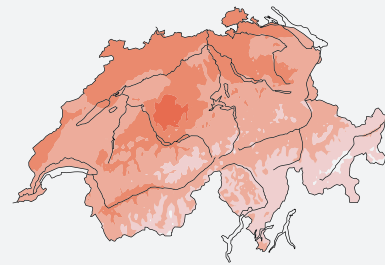
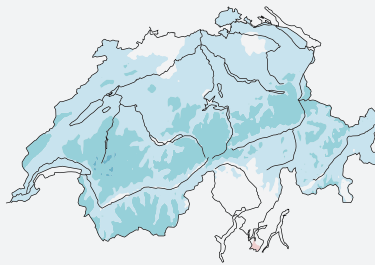
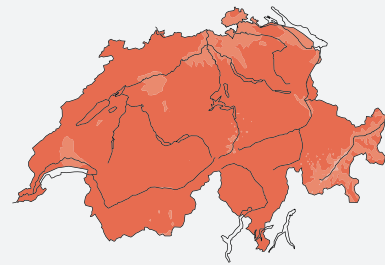
Mars 2014



Avril 2014

Mai 2014

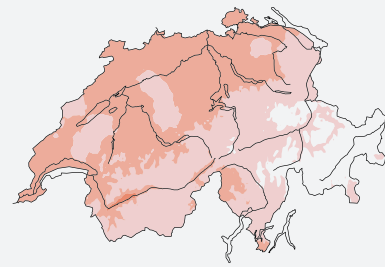
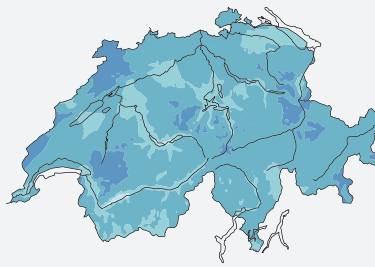
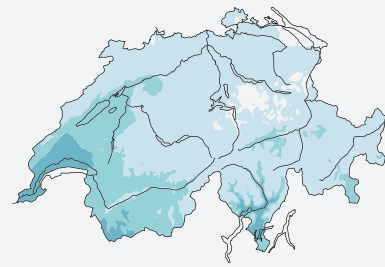
Juin 2014



Juillet 2014

Août 2014

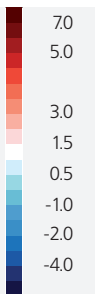
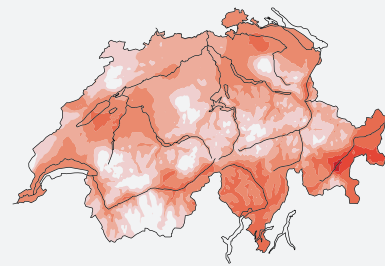
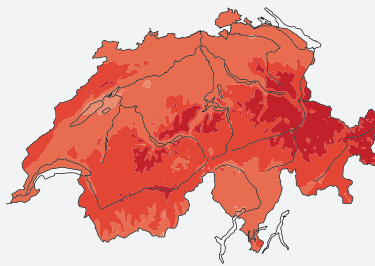
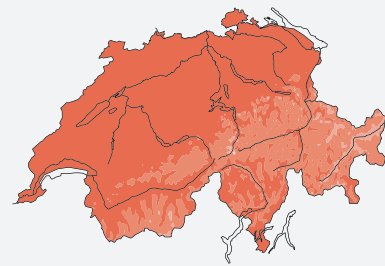
Septembre 2014



Octobre 2014

Novembre 2014

Décembre 2014

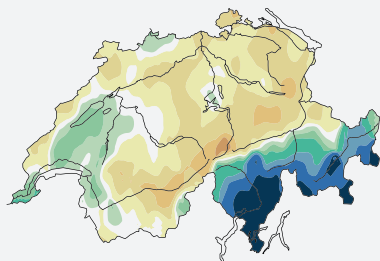


Précipitations mensuelles 2014 en pour cent de la norme 1981–2010

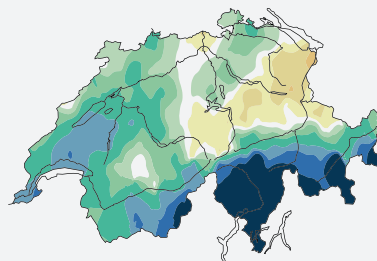
Figure 1.3

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

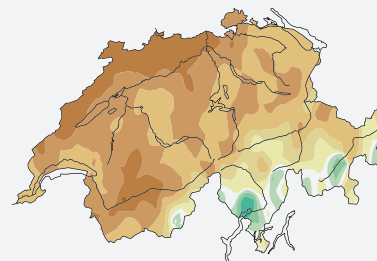
Janvier 2014



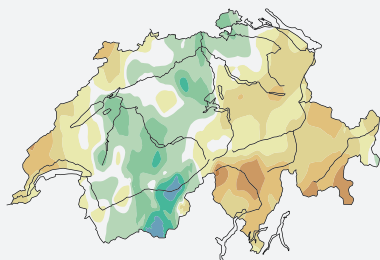
Février 2014



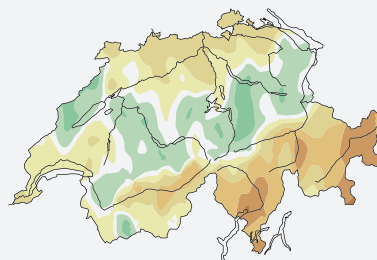
Mars 2014



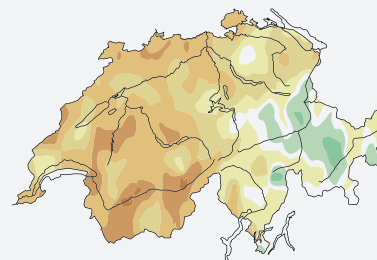
Avril 2014



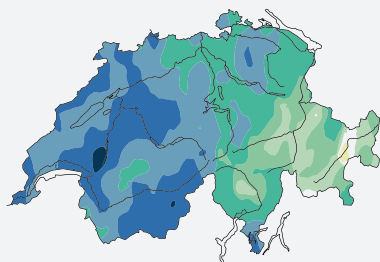
Mai 2014



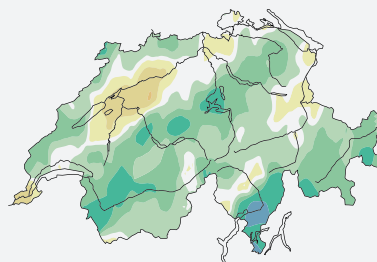
Juin 2014



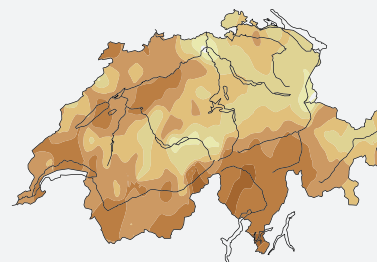
Juillet 2014



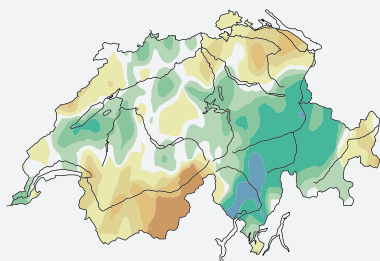
Août 2014



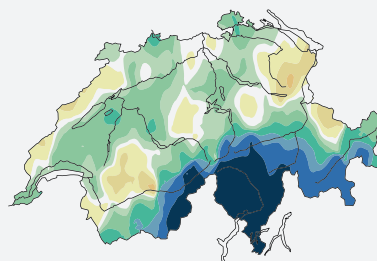
Septembre 2014



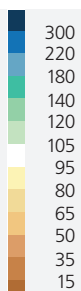
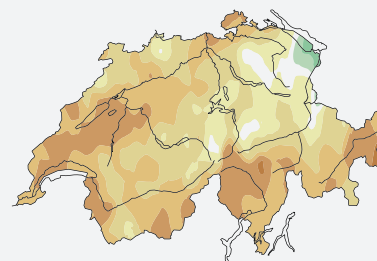
Octobre 2014



Novembre 2014



Décembre 2014



Durée mensuelle d'ensoleillement 2014 en pour cent de la norme 1981-2010

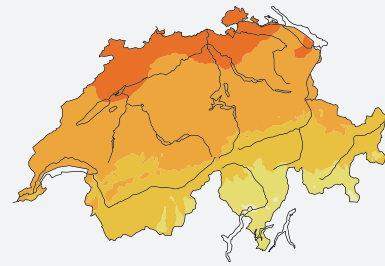
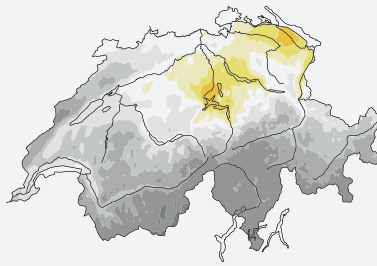
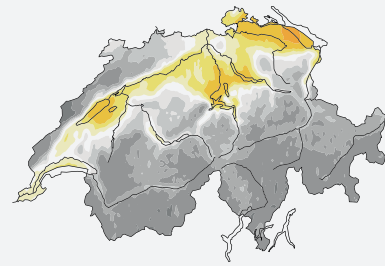
Figure 1.4

Répartition spatiale de la durée mensuelle d'ensoleillement en pour cent de la norme 1981-2010.

Janvier 2014

Février 2014

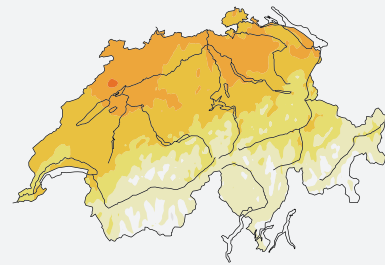
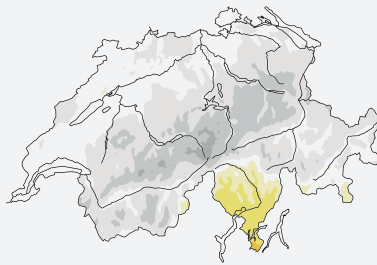
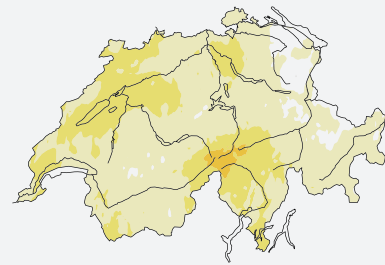
Mars 2014



Avril 2014

Mai 2014

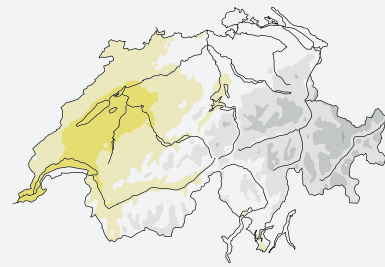
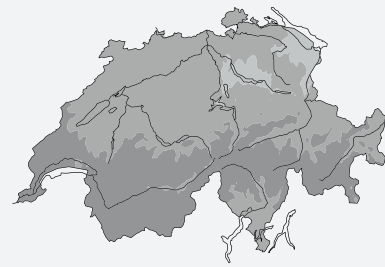
Juin 2014



Juillet 2014

Août 2014

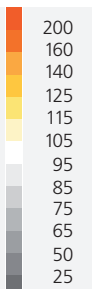
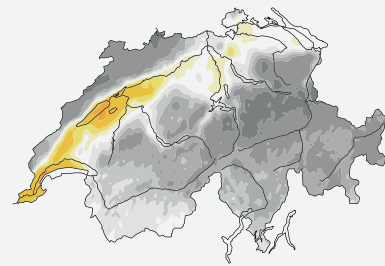
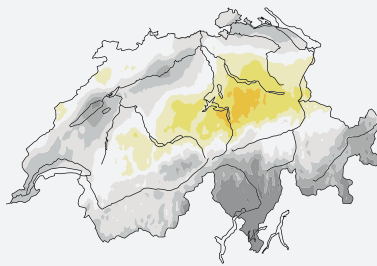
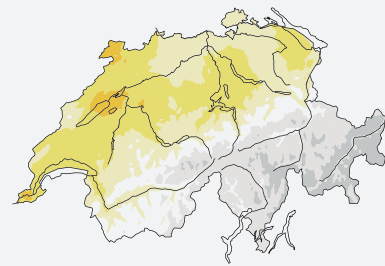
Septembre 2014



Octobre 2014

Novembre 2014

Décembre 2014





Stephan Siegirst escalade sur glace.

Photo: visualimpact.ch; Thomas Senf



2 | L'évolution annuelle

18

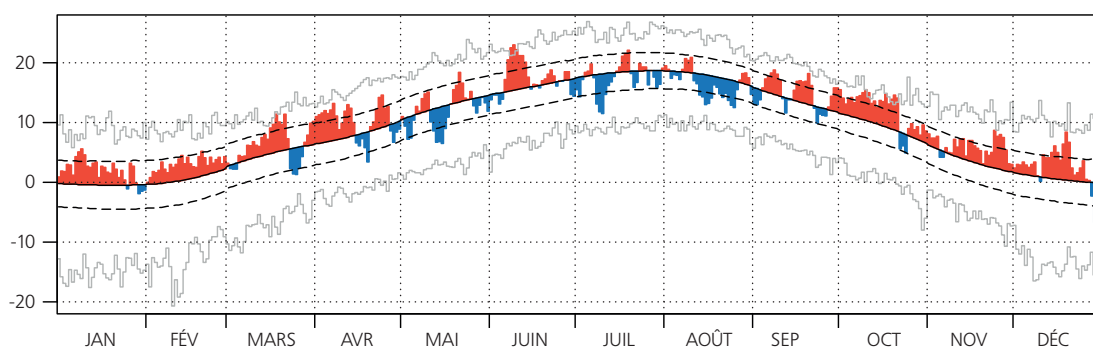
Température, durée d'ensoleillement et précipitations

Figure 2.1
Evolution annuelle de la température journalière, de la durée journalière d'ensoleillement et des sommes de précipitations journalières à la station de mesure de Berne-Zollikofen.

Berne-Zollikofen (553 m) 1.1.–31.12.2014

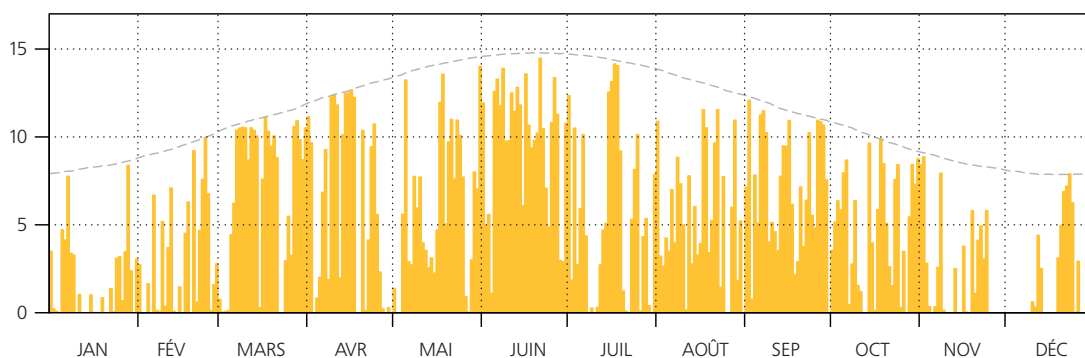
Températures journalières moyennes de l'air °C

Moyenne: 10,0, norme: 8,8



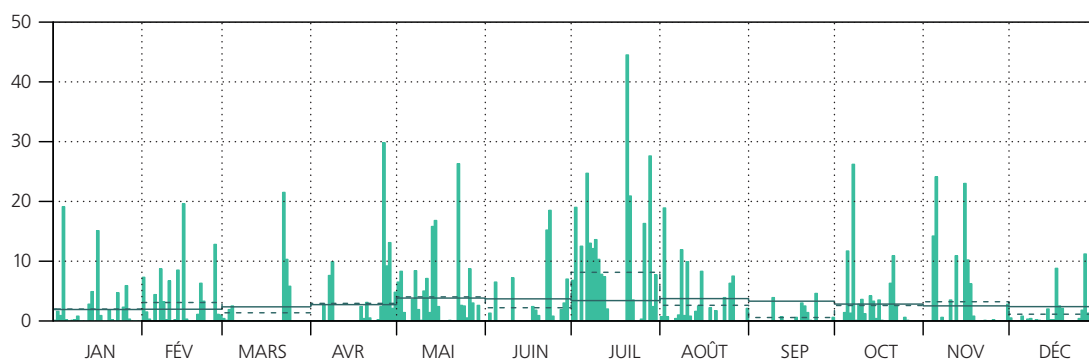
Durée journalière d'ensoleillement h

Somme: 1822,7, norme: 1682,1



Somme journalière des précipitations en mm

Somme: 1033,8, norme: 1058,6

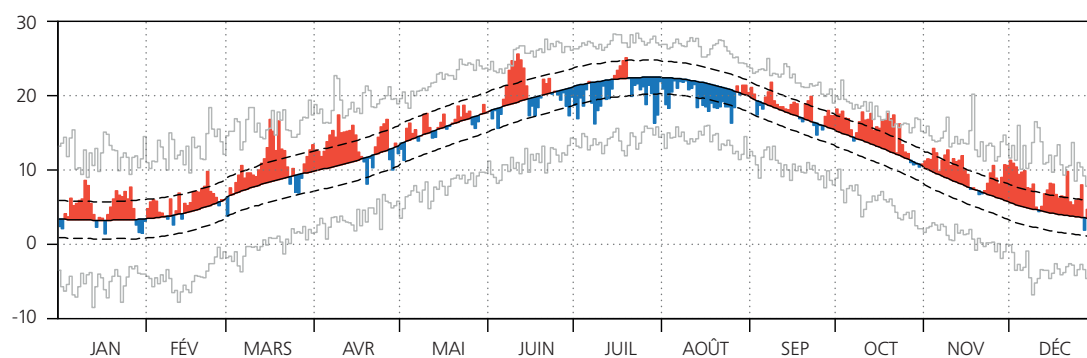


- Plus haute/plus basse moyenne journalière de la température de l'air dans la série de mesures homogènes de la période 1864–2013
- Moyenne journalière homogène de la température de l'air de la période 1981–2010 (norme)
- - - Ecart type de la moyenne journalière homogène de la température de l'air de la période 1981–2010
- - - Durée d'ensoleillement journalière maximale possible
- Somme mensuelle moyenne des précipitations durant la période 1981–2010, répartie uniformément sur les jours du mois
- - - Somme mensuelle des précipitations répartie uniformément sur les jours du mois

Lugano (273) 1.1.–31.12.2014

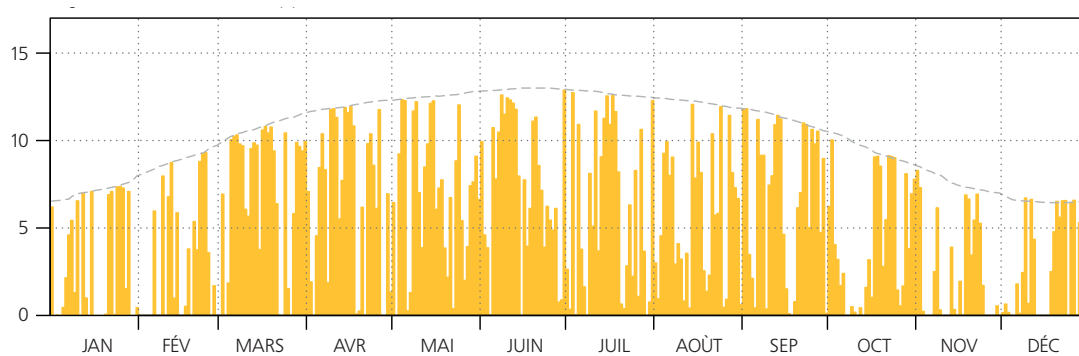
Températures journalières moyennes de l'air °C

Moyenne: 13.5, norme: 12.5



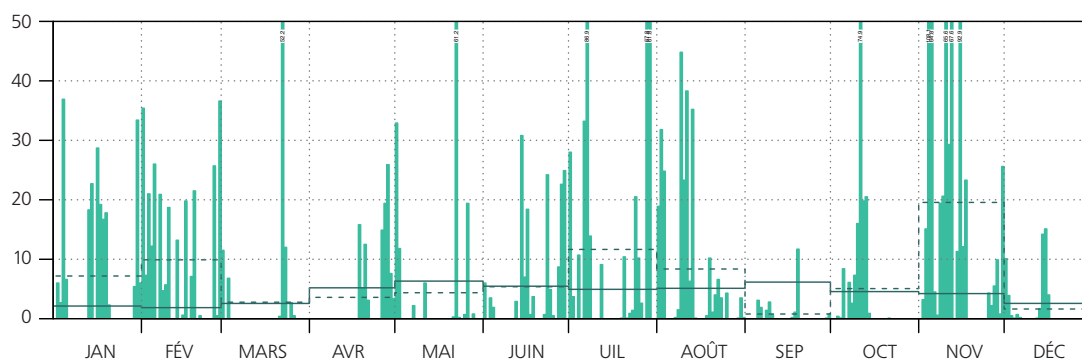
Durée journalière d'ensoleillement h

Somme: 1874.9, norme: 2068.9



Somme journalière des précipitations mm

Somme: 2429.6, norme: 1559.0



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

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

Evolution annuelle du rayonnement global

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

Le rayonnement global moyen sur l'année a atteint 170–190 Wm^{-2} dans les Alpes bernoises et valaisannes (Figure 2.3). Cela correspond à une énergie cumulée sur l'année d'env. 1600 kWh m^{-2} . Le Plateau suisse en reçoit nettement moins en raison des brouillards hivernaux et d'une plus grande opacité de l'atmosphère: à peu près 130–150 Wm^{-2} (1200 kWh m^{-2}). La différence entre les régions de montagne et de plaine est aussi nette aux

différentes stations: alors que la station de Zurich-Fluntern a mesuré 135 Wm^{-2} , celle du Jungfraujoch a reçu 181 Wm^{-2} .

En comparaison avec la moyenne des 10 dernières années, les valeurs du rayonnement global pour 2014 ont été inférieures de 1–3% dans toute la Suisse. Cependant, cette anomalie négative se limite au Valais, au Tessin et aux Grisons avec des baisses de 3–5%. Pour le Plateau suisse, le rayonnement global a connu une hausse de 1–2%. En raison d'un mois de juillet très nuageux, il a été mesuré dans toute la Suisse un rayonnement global de 30–50 Wm^{-2} de moins que la normale (Figure 2.4).

Figure 2.3
Moyenne annuelle du rayonnement global (Wm^{-2}) pour 2014, à partir de données satellites. Les cercles donnent les mesures correspondant aux données des stations.

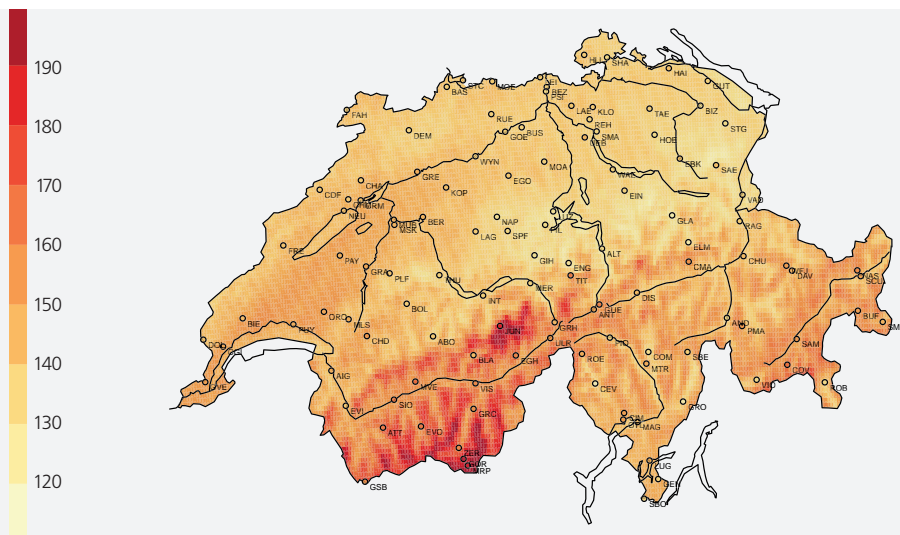
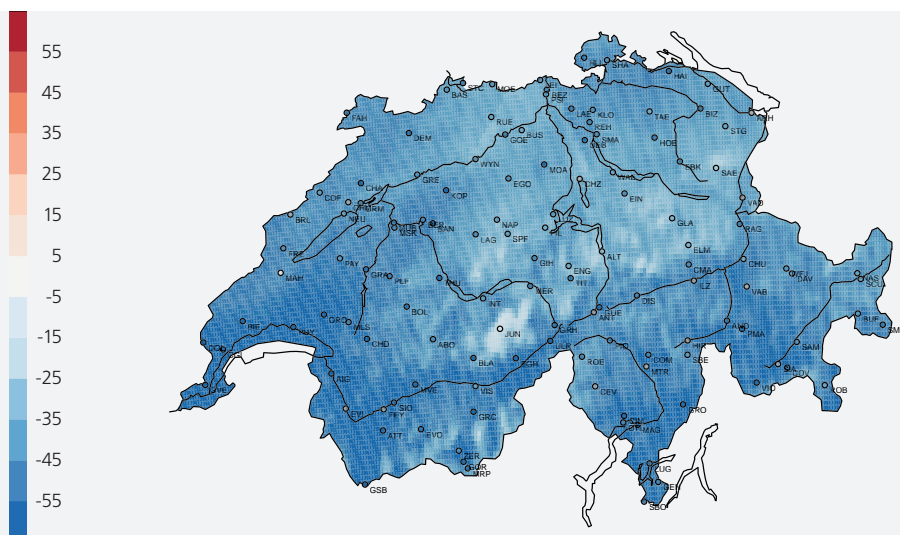
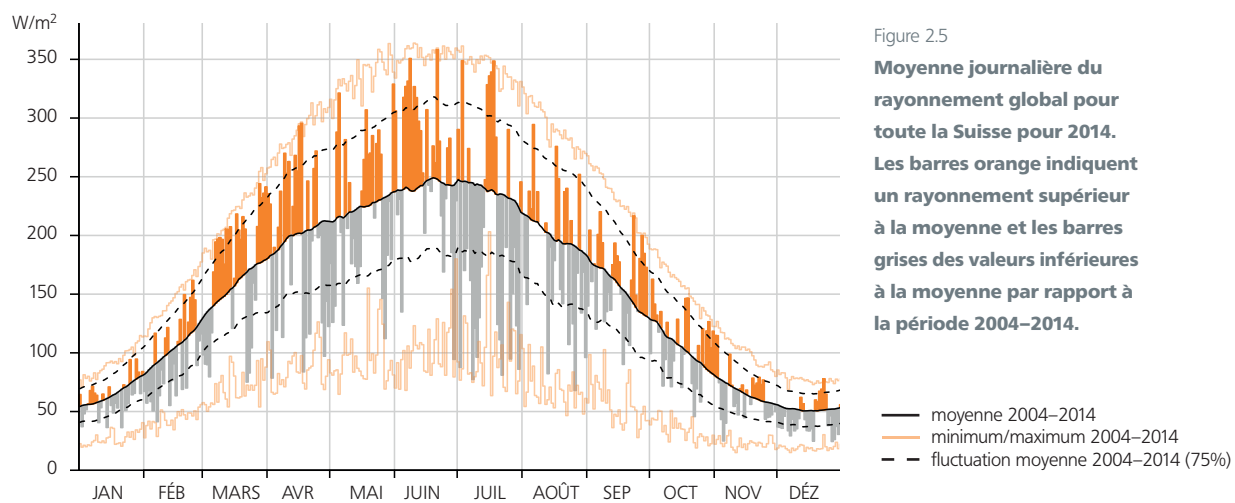


Figure 2.4
Anomalie mensuelle du rayonnement global (Wm^{-2}) pour mai 2014 par rapport à 2004–2014, à partir de données satellites. Les cercles donnent les mesures correspondant aux données des stations (les stations avec des cercles remplis en gris n'ont pas une période de référence complète).



Sous nos latitudes, le rayonnement global est déterminé par un cycle saisonnier marqué qui suit l'écliptique (Figure 2.5). Les moyennes journalières du rayonnement solaire varient toutefois fortement selon la couverture nuageuse journalière.

Les colonnes grises sont dominantes en été et illustrent que la saison estivale a été sombre, tandis que le printemps (mars, avril et encore juin) s'est montré ensoleillé avec davantage de colonnes orange. La période de septembre à octobre a aussi vu de belles journées avec beaucoup de soleil.

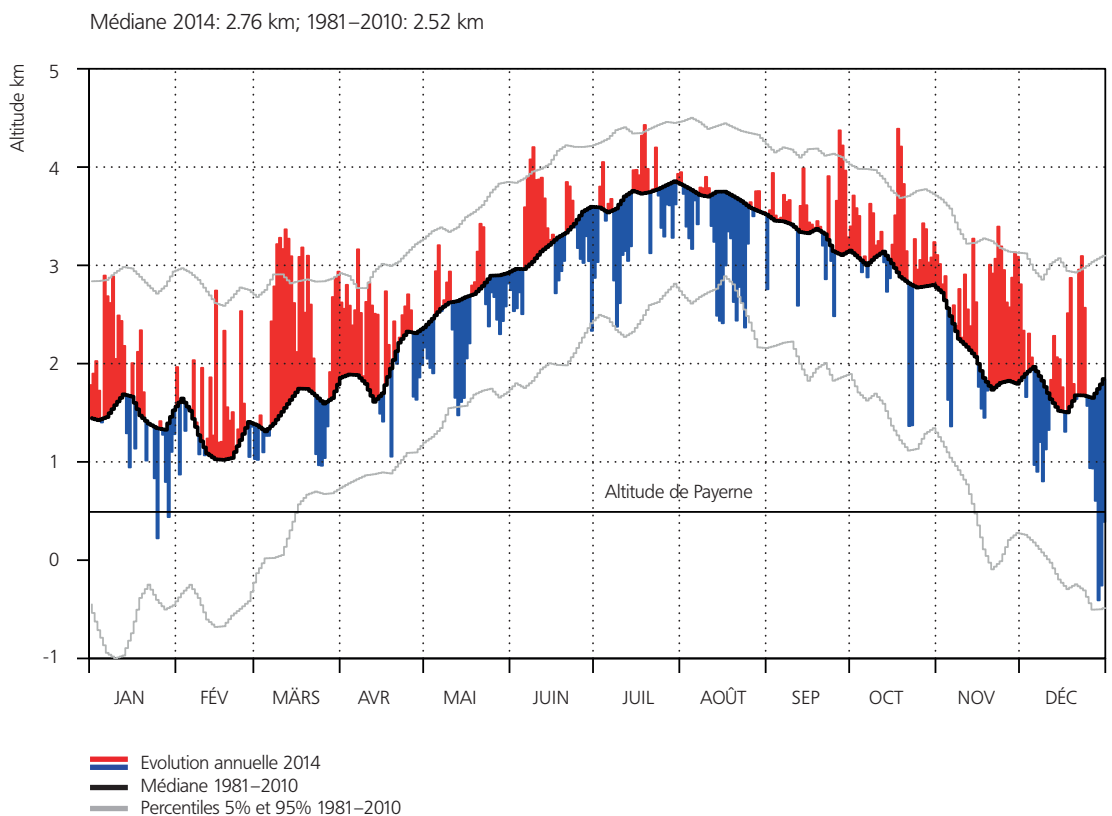


Limite du zéro degré en atmosphère libre

L'évolution de la limite du zéro degré en atmosphère libre, déterminée à partir des ballons-sondes quotidiens, reflète des températures plutôt élevées, notamment pendant les quatre premiers et quatre derniers mois de l'année 2014. En revanche, de mai à août, la limite du zéro degré avait tendance à être un peu plus basse que la valeur médiane de la période de référence 1981–2010. Cette tendance s'est fortement exprimée en août qui a été frais avec une limite du zéro degré nettement inférieure à la médiane. La valeur médiane de la limite du zéro degré pendant l'année 2014 a été 240 mètres plus élevée que la valeur médiane de la période de référence 1981–2010.

L'altitude de la limite du zéro degré ne peut pas toujours être déterminée avec la plus grande précision au moyen d'un ballon-sonde. Dans les situations d'inversion avec plusieurs limites du zéro degré, nous prenons l'altitude la plus élevée. Les jours où les températures sont globalement négatives, nous calculons une limite du zéro degré fictive en ajoutant 0.5 °C à la température au sol par 100 mètres d'altitude de moins. Lorsqu'il fait très froid l'hiver, il peut en résulter que la limite du zéro degré se situe sous le niveau de la mer.

Figure 2.6
Altitude moyenne de la limite du zéro degré en atmosphère libre au-dessus de Payerne en 2014.
 Radiosondage aérologique 00 UTC et 12 UTC. La valeur médiane (période de référence 1981–2010) a été calculée avec des données homogénéisées et lissée avec un filtre numérique. 90% des valeurs moyennes journalières se situent dans les percentiles 5% et 95%.



Altitude de la tropopause

La tropopause sépare la troposphère caractérisée par le temps de la stratosphère très sèche et plutôt stable. La tropopause se caractérise toujours par un changement notable de l'évolution des températures et correspond souvent à la température la plus basse entre la troposphère et la stratosphère. L'altitude de la tropopause est établie par des ballons-sondes lâchés deux fois par jour à Payerne. L'altitude de la tropopause est déterminée à l'aide d'un algorithme automatique, conformément à une directive de l'OMM.

Contrairement à la limite du zéro degré, l'altitude de la tropopause pendant l'année 2014 a été plutôt comparable par rapport à la moyenne à long terme et la valeur médiane a également montré une altitude similaire par rapport à la moyenne à long terme de la valeur médiane de la période de référence 1981-2010. Seuls les mois de mai à août ont globalement montré une altitude de la tropopause plus basse que d'habitude, soit une évolution parallèle de l'altitude basse de la limite du zéro degré pendant les mois de l'été 2014.

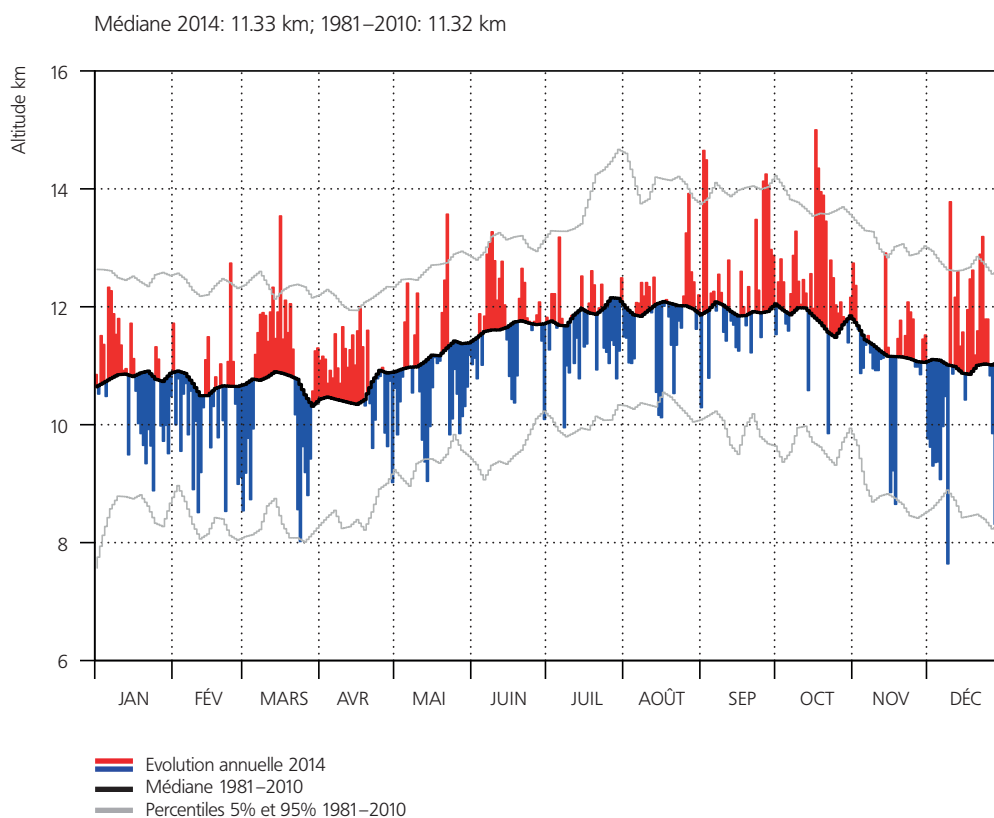


Figure 2.7

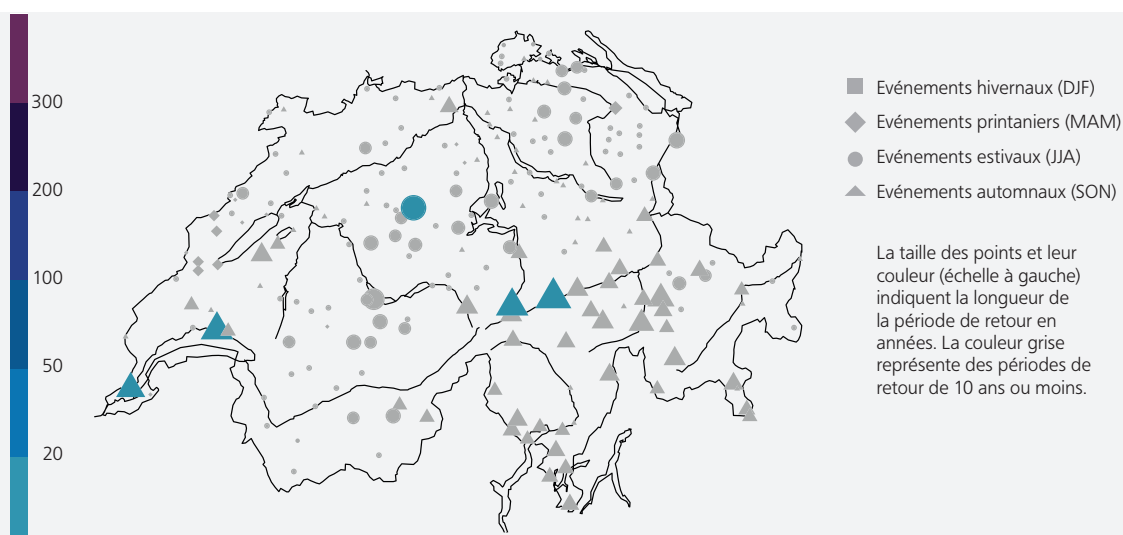
Altitude quotidienne de la tropopause au-dessus de Payerne en 2014. Radiosondage aérologique 00 UTC et 12 UTC. La valeur médiane (période de référence 1981–2010) a été calculée avec des données homogénéisées et lissée avec un filtre numérique. 90% des valeurs moyennes journalières se situent dans les percentiles 5% et 95%.

Périodes de retour des plus importantes sommes de précipitations en 1 jour en 2014

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

Ce procédé («generalized extreme value analysis», ou GEV, période de base 1961–2013) a pour objet de déterminer, pour chaque station de mesure des précipitations, la somme de précipitations en 1 jour la plus élevée au cours de la période analysée. Les stations présentant les périodes de retour les plus élevées en 2014 (>10 ans) sont Genève (11), Göschenen (13), Luthern (13), Pully (13) et Disentis (15).

Figure 2.8
Périodes de retour des plus importantes sommes de précipitations en 1 jour en 2014 (06 h : 06 h).



Cycle annuel du rayonnement UV érythémal

La partie UV-B du spectre solaire est d'une grande importance car ce rayonnement a une influence significative sur les êtres vivants et se révèle, dans certains cas, un problème de santé publique (cancer de la peau, dommages à la cornée, etc.) alors que dans d'autre cas il peut être bénéfique (production de vitamine D). Les mesures UV sont faites avec des biomètres UV érythémal.

Ces instruments mesurent l'intensité du rayonnement UV avec un filtre érythémal dont la réponse reproduit la sensibilité de la peau, principalement aux UV-B avec une petite contribution des UV-A. Ces mesures sont faites par MétéoSuisse à Davos depuis mai 1995, au Jungfraujoch depuis novembre 1996, à Payerne depuis novembre 1997 et à Locarno-Monti depuis mai 2001.

La comparaison des moyennes glissantes mensuelles avec les cycles annuels moyens montre qu'en 2014 le rayonnement UV a été relativement proche de la norme jusqu'au mois de juin à toutes les stations. En revanche, à partir du mois de juillet jusqu'à presque fin août, le rayonnement a été nettement inférieur aux valeurs moyennes, ceci de manière particulièrement marquée à Davos, alors qu'au Jungfraujoch cette tendance était moins marquée. Durant cette période, des moyennes journalières basses sont présentes pour de nombreux jours ce qui est caractéristique d'une nébulosité importante. Des valeurs en dessous de la norme apparaissent quand la couverture nuageuse est importante et l'ozone a alors comparativement peu d'influence. Plus tard dans l'année, la nébulosité a été plus dans la norme et le rayonnement UV de septembre à décembre était très proche de la norme.

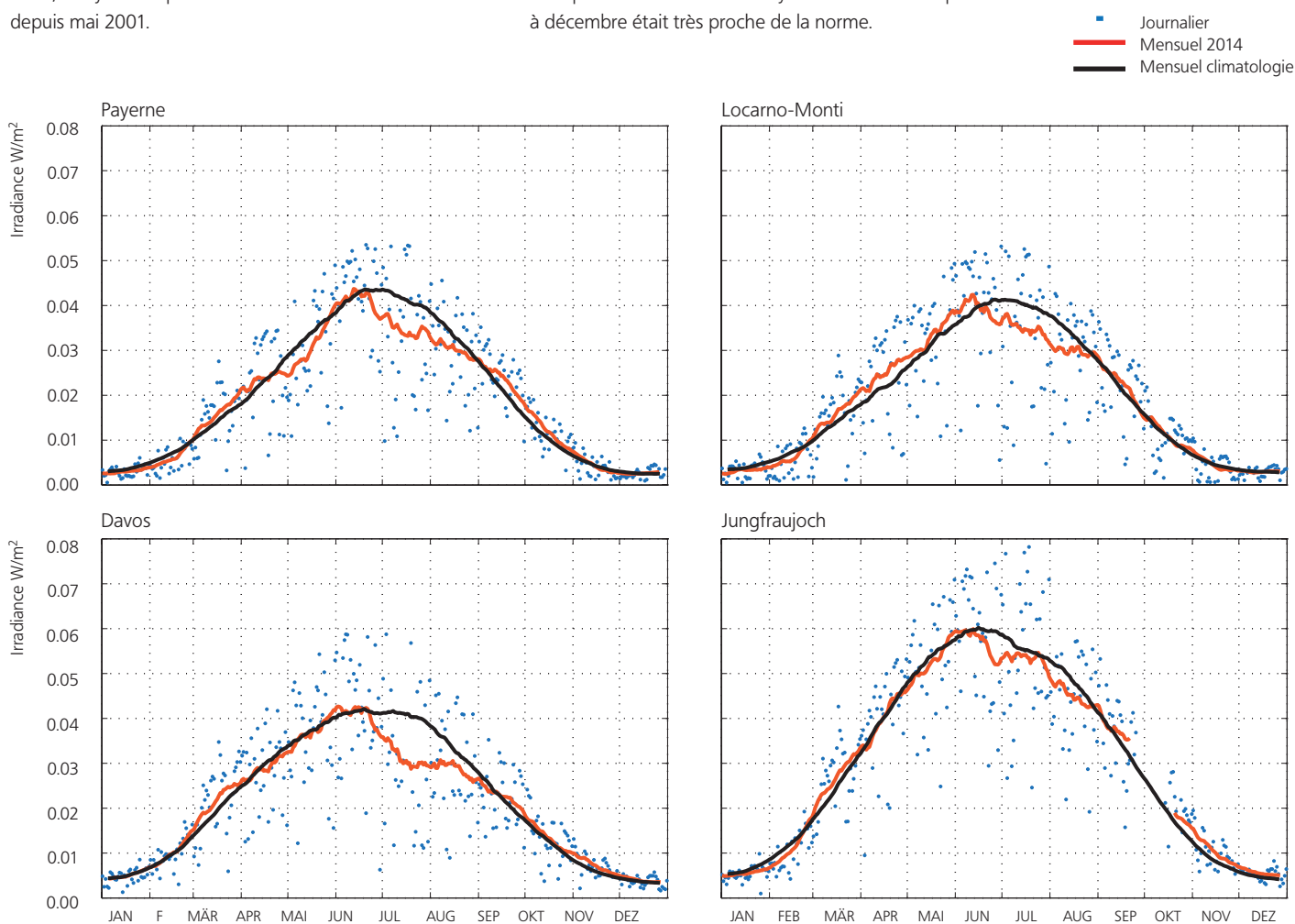


Figure 2.9

Moyennes journalières 2014 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 1995-2013 (Davos), 1997-2013 (Jungfraujoch), 1998-2013 (Payerne) et 2001-2013 (Locarno-Monti).

Série de mesures de l'ozone d'Arosa

L'évolution annuelle de la colonne totale d'ozone sur Arosa (Figure 2.10) montre la fluctuation annuelle typique, avec un maximum atteint au printemps et un minimum à l'automne. L'évolution annuelle de la colonne totale d'ozone est fortement dominée par le transport d'ozone à partir des régions du Pôle Nord, où l'on atteint le niveau maximum d'ozone à la fin de la nuit polaire, donc au début du printemps.

En 2014, les valeurs d'ozone ont été inférieures à celles de la période de référence 1926–1969 qui 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 subs-

tances nocives pour l'ozone ont commencé à fortement augmenter. A partir du début des années 2000, on remarque une stabilisation de la colonne d'ozone en dessus de la Suisse.

Les profils d'ozone sont mesurés par un spectrophotomètre Dobson depuis 1956 à Arosa, ce qui constitue la plus longue série temporelle au monde. La variation annuelle d'ozone en DU pour 2014 est représentée sur le graphique (Figure 2.11) suivant en couleur et les valeurs moyennes des années 1970 à 1980 sont représentées en noir (courbes de niveaux pour 20, 40, 60 et 80 DU). Ceci permet de visualiser en fonction de l'altitude les différences des valeurs d'ozone de l'année en cours par rapport aux valeurs climatologiques.

Figure 2.10
Evolution annuelle de la colonne totale d'ozone sur Arosa en 2014. Courbe noire: moyennes journalières. Courbe rouge: moyennes mensuelles. La courbe bleue montre l'évolution annuelle moyenne au cours de la période 1926–1969, avant que ne survienne le problème de la destruction de l'ozone. Le 80% des fluctuations autour de la courbe moyenne à long terme (1926–1969) se situent dans la bande bleue.

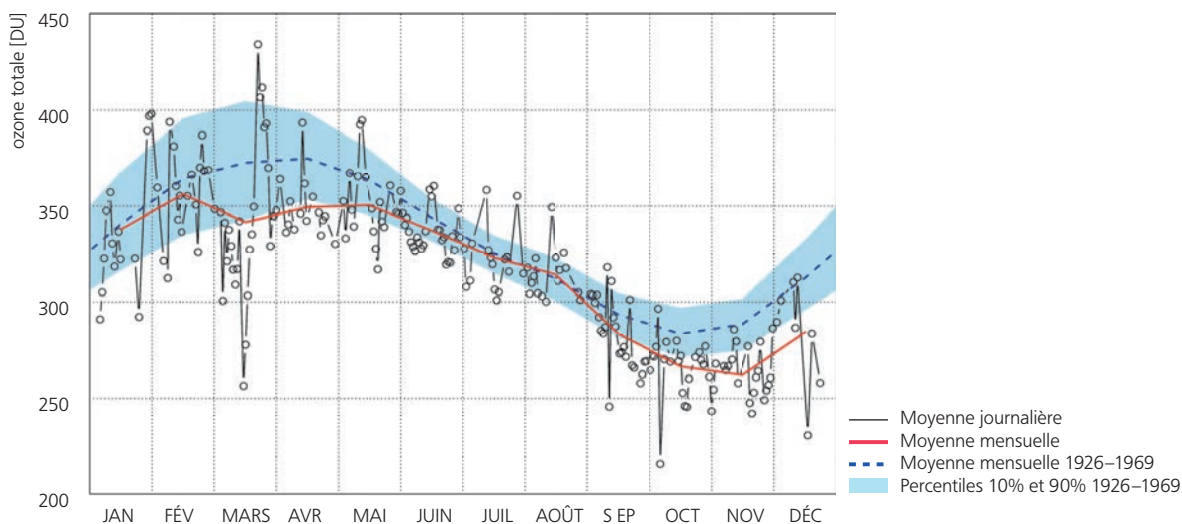
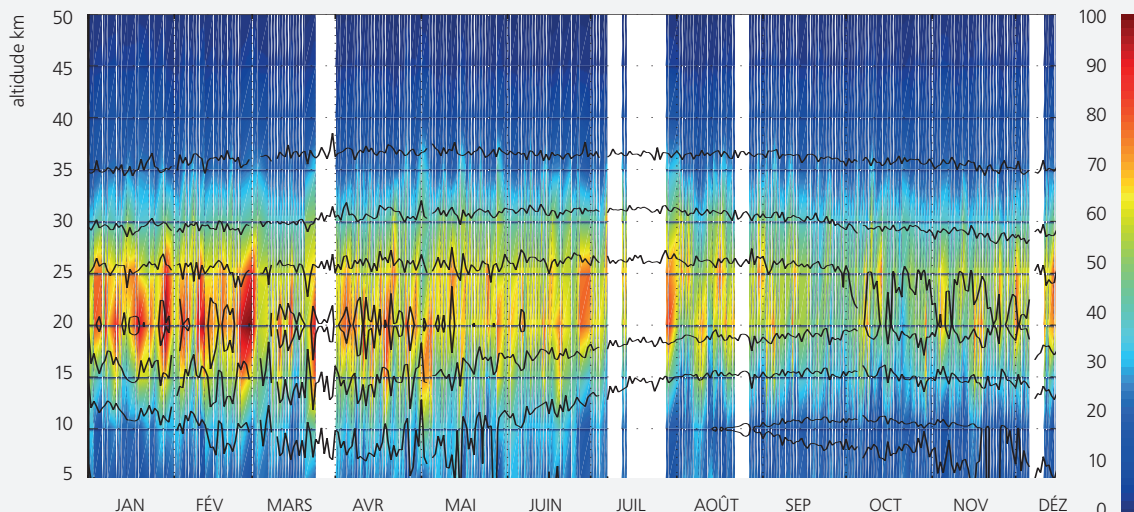


Figure 2.11
Les profils d'ozone mesurés par un spectrophotomètre Dobson à Arosa en 2014. Le graphique montre la concentration d'ozone en Dobson Units (DU) (échelle de droite entre 0 et 90 DU). 100 DU = 1 mm d'ozone pur à 1013 hPa et 0°C.



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 30 min. La variation annuelle d'ozone en ppm pour 2014 est représentée dans le graphique suivant (Figure 2.12) en couleur et la variation annuelle pour 2013 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.

La série annuelle permet également de mettre en évidence des événements de maxima (visibles en décembre 2013 mais pas en 2014 p.ex) et de minima d'ozone (visibles en février 2013 mais pas en 2014) pour l'année en cours.

Les mesures de la distribution verticale de l'ozone dans l'atmosphère jusqu'à une altitude d'environ 30 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 2.13) montre l'évolution détaillée pour l'année 2013 pour quatre niveaux distincts:

- A basse altitude (niveau 925 hPa), le niveau maximum d'ozone est atteint en été en raison du fort ensoleillement et de la pollution de l'air (qui augmente la quantité d'ozone).
- Dans la partie supérieure de l'atmosphère libre où se déroulent la plupart des phénomènes météorologiques (niveau 300 hPa = ~9000 m), le maximum estival est fortement réduit, étant donné que les conditions n'y sont pas optimales pour la formation d'ozone. Les pics importants correspondent à des entrées d'ozone venues des couches supérieures de l'atmosphère (stratosphère).
- Dans la stratosphère moyenne (niveau 40 hPa = ~18 km), l'évolution annuelle de l'ozone est dominée par le transport d'ozone par les courant dominants. Ici, la plus forte concentration d'ozone est atteinte dans la période fin de l'hiver – début du printemps.
- Aux altitudes plus élevées (15 hPa = ~25 km), l'ensoleillement important entraîne un niveau maximum d'ozone l'été lorsque le soleil est haut dans le ciel.

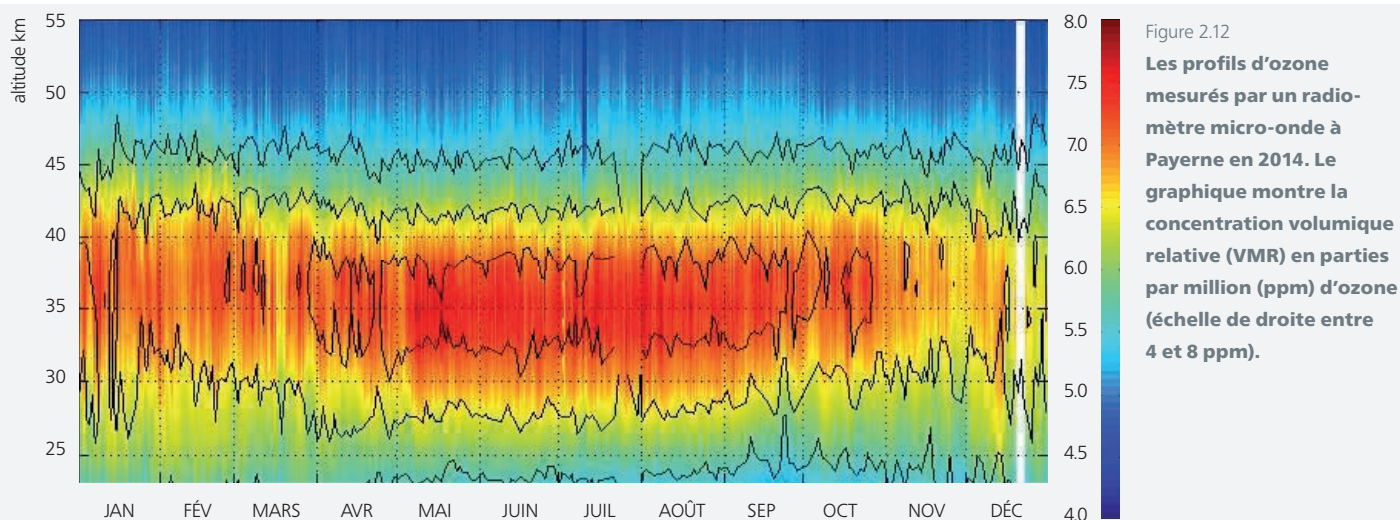
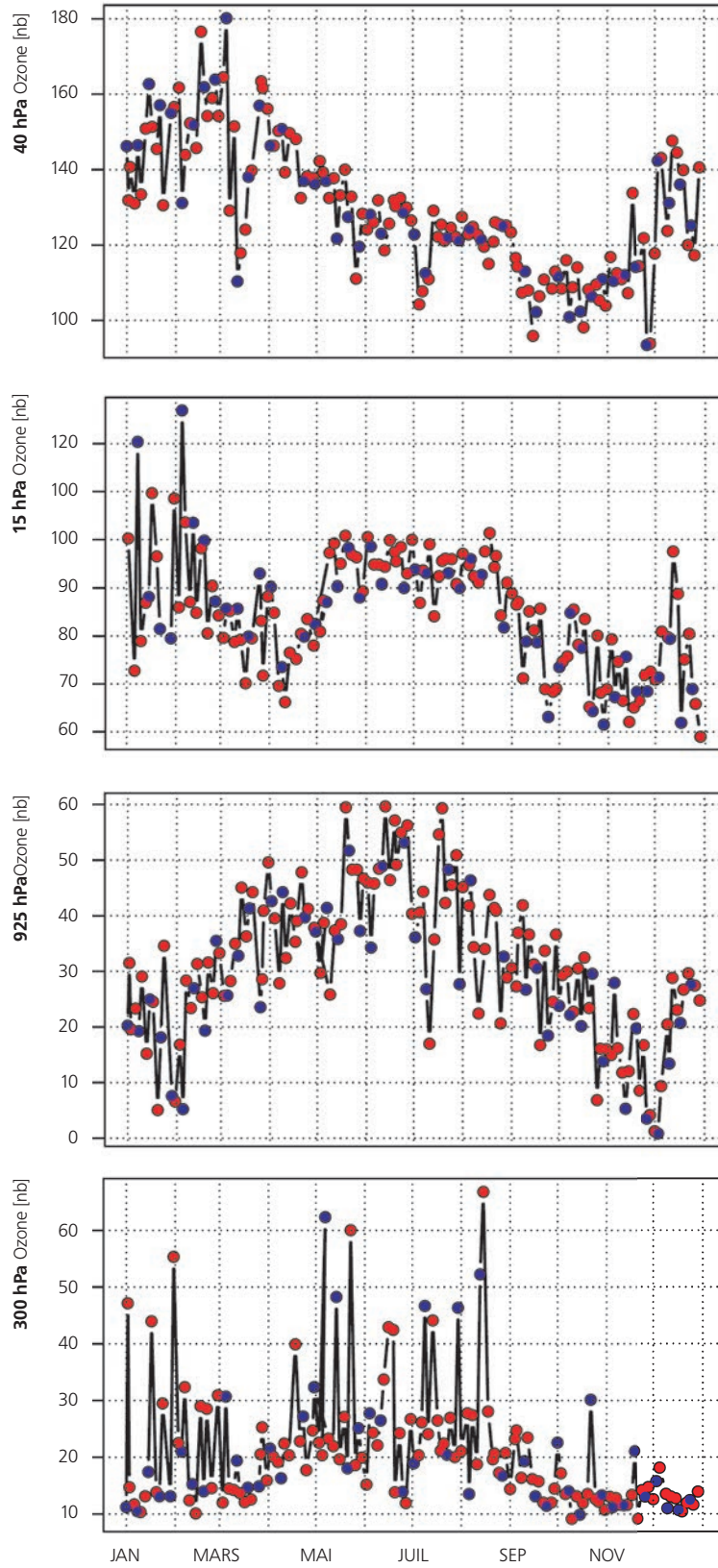


Figure 2.12
Les profils d'ozone mesurés par un radiomètre micro-onde à Payerne en 2014. Le graphique montre la concentration volumique relative (VMR) en parties par million (ppm) d'ozone (échelle de droite entre 4 et 8 ppm).

Figure 2.13
Evolution de la concentration d'ozone (pression partielle en nanobars) en 2014 à différentes altitudes de la troposphère (<10 km, niveaux 925 hPa et 300 hPa) et de la stratosphère (>10km, niveaux 40 hPa et 15 hPa). Les symboles bleus sont des données fournies par de nouvelles sondes de mesure, les rouges étant des données fournies par des sondes réutilisées.



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 [15]. Les mesures des aérosols effectuées au Jungfraujoch depuis 1995 font partie des plus longues séries de mesures au monde [16].

L'évolution annuelle des paramètres des aérosols au Jungfraujoch fait apparaître des valeurs maximales l'été et des valeurs minimales l'hiver. Les aérosols générés par des processus naturels et anthropogéniques s'accumulent principalement dans la couche limite planétaire, couche basse de l'atmosphère, haute typiquement de 0.5 à 2 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 [27] et est donc propice à la mesure des propriétés optiques et de la concentration des aérosols loin des sources de pollution.

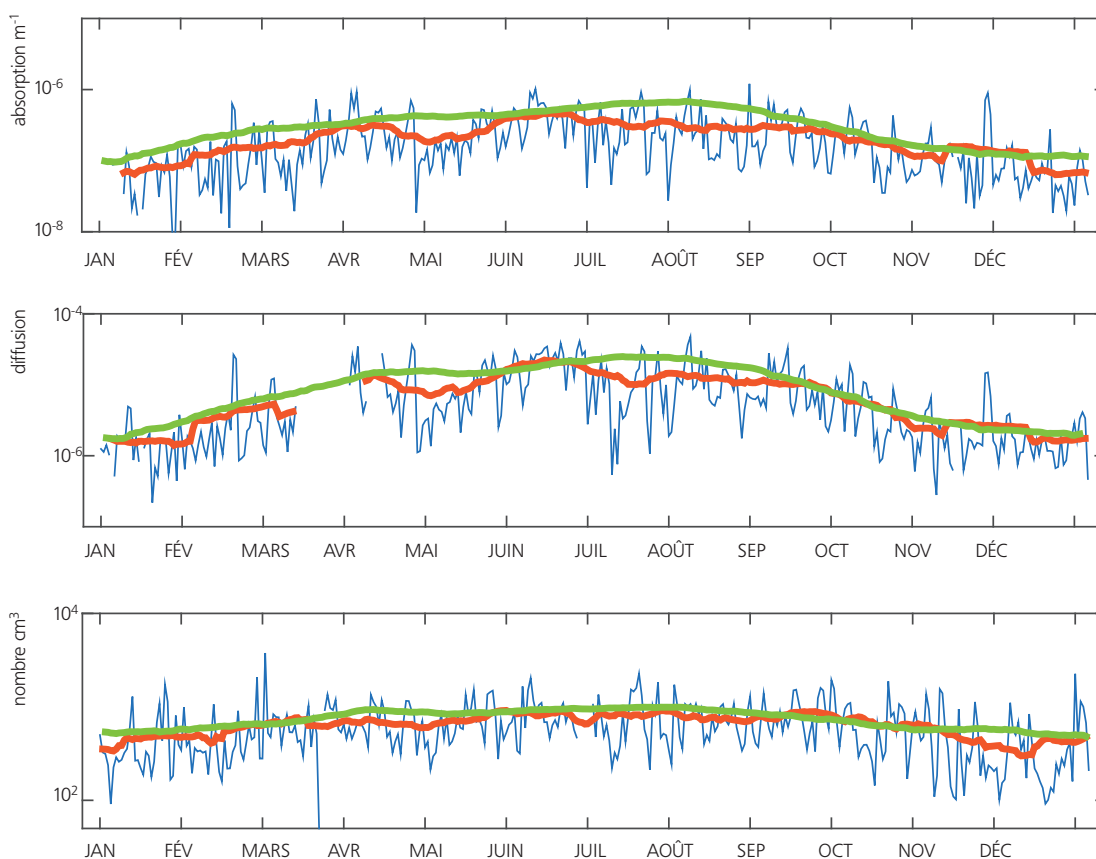


Figure 2.14

Evolution en 2014 des coefficients d'absorption à 880 nm (au-dessus) et de diffusion à 450 nm (au centre) ainsi que de la concentration en nombre (au-dessous) des aérosols au Jungfraujoch. Courbe bleue: moyenne journalière 2014. Courbe rouge: moyenne mensuelle glissante 2014. Courbe verte: climatologie de la période 1995–2013.

Développement de la végétation

L'année la plus chaude, le troisième premier semestre le plus chaud et le deuxième automne le plus chaud depuis le début des mesures ont eu une nette influence sur la végétation en 2014. Les plantes printanières se sont développées précocement à très précocement jusqu'au début du mois de mai par rapport à la période de comparaison 1981–2010 (ch. 5.2 Indice du printemps). Par la suite, en raison des températures plus basses, l'évolution de la végétation a été freinée, si bien que les phases estivales ont été considérées comme généralement normales à légèrement précoces seulement. En raison des températures très douces de l'automne, les phases de la coloration et de la chute des feuilles ont été retardées, si bien qu'elles ont souvent été observées tardivement par rapport à la moyenne. En novembre et en décembre, quelques fleurs printanières ont même déjà fleuri.

L'année en cours est comparée avec la période de référence 1981–2010. Pour ce faire, les données de la période de référence sont réparties dans des classes. La moitié des données situées au milieu de la courbe de distribution sont classées comme normales, les 15% situés de chaque côté comme précoces, respectivement tardifs, et les 10% situés aux extrémités de la courbe comme très précoces, respectivement très tardifs. Les écarts en jours par rapport à la moyenne de la période de comparaison ont été spécifiés pour le 50% des cas de toutes les observations en 2014.

Printemps

En janvier déjà, la floraison des chatons du noisetier a été observée en plaine. En février, ils ont déjà fleuri jusqu'à une altitude de 1000 mètres. Pour le noisetier, 36% des observations ont été classées comme précoces à très précoces et 58% ont été classées comme normales par rapport à la période de comparaison 1981–2010. En raison des conditions douces persistantes, l'avance de la végétation sur le calendrier s'est amplifiée en mars et en avril. Les pas-d'âne et les anémones des bois ont point en mars avec une avance de 1–3 semaines par rapport à la moyenne. Au Tessin, cette avance était un peu plus réduite.

Fin mars, début avril, la floraison des cerisiers, des dents-de-lion et des cardamines des prés a été observée, rapidement suivie par la floraison des poiriers et, dès le milieu du mois d'avril, par celle des pommiers. Cette année, le développement de la végétation de toutes les plantes printanières a été précoce à très précoce. L'avance a été particulièrement remarquable en avril pour les plantes herbacées et les arbres fruitiers avec 6 à 18 jours. Les forêts ont progressivement reverdi dans le courant du mois d'avril. A partir de la mi-avril, le déploiement des feuilles du hêtre a été observé avec une avance de 3 à 11 jours. En mars, selon le type de plante, 60–70% de toutes

les observations ont été considérées comme précoces à très précoces. En avril, c'était le cas pour 70 à 90% des observations. En mai, un temps plus frais a légèrement freiné le développement de la végétation.

Été

Le sureau noir, qui marque le début de l'été, a fleuri au cours de la seconde quinzaine de mai avec une avance de 2 à 14 jours. En cours de l'été, l'avance de la végétation est passée d'une semaine à quelques jours seulement en juillet en raison des conditions fraîches. Les tilleuls à larges et à petites feuilles ont fleuri en juin en plaine avec un écart de +1 à -11 jours par rapport à la moyenne. Pour la floraison générale des tilleuls à larges feuilles, 49% de toutes les observations étaient encore précoces à très précoces, mais pour celle des tilleuls à petites feuilles, cela ne concernait plus que 36% des observations. La végétation s'est généralement développée dans les phases normales du calendrier.

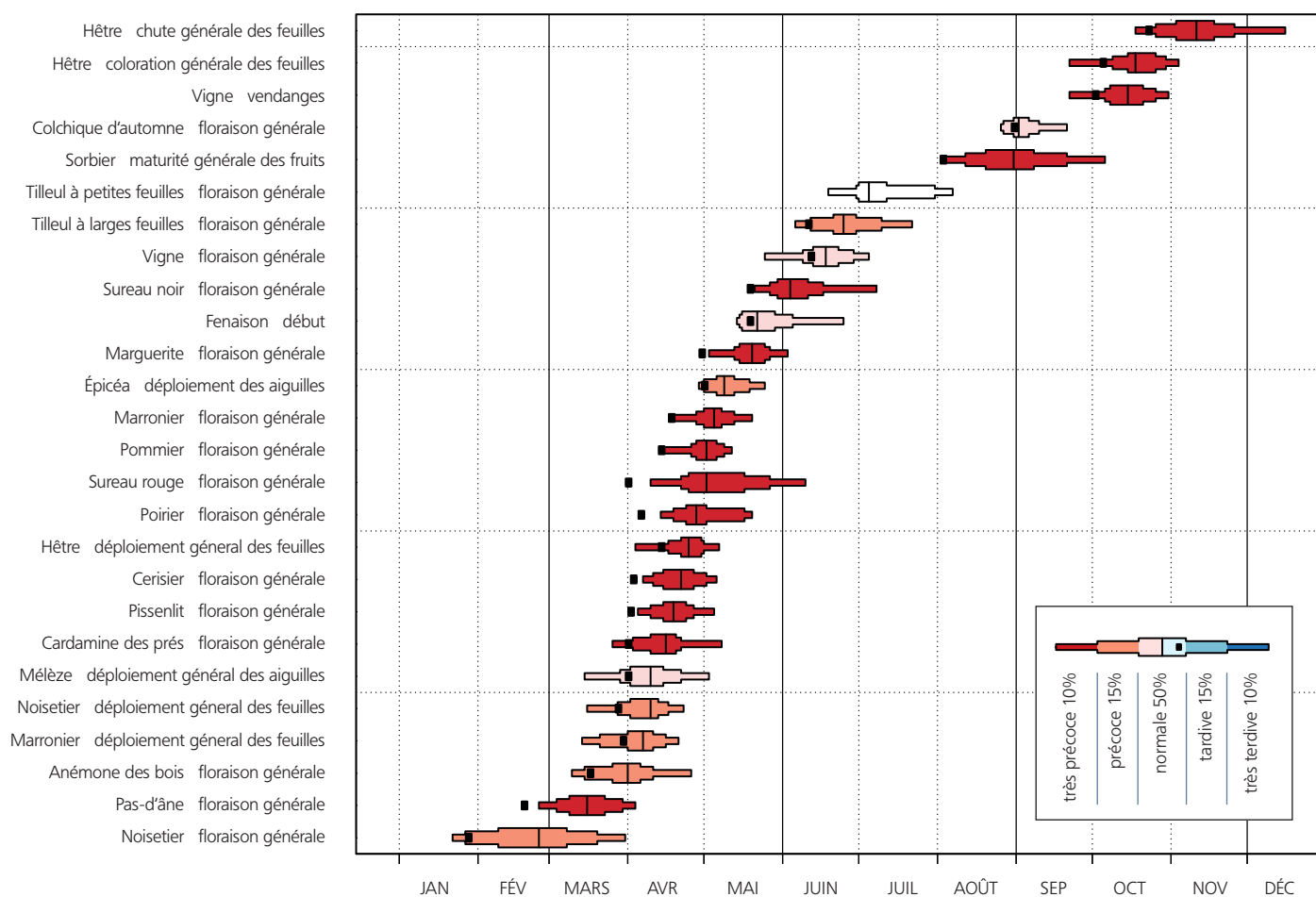
Automne

La floraison des premières plantes automnales, les colchiques d'automne, a débuté en août et en septembre de manière normale à légèrement précoce. La coloration générale des feuilles des arbres a été observée entre septembre et novembre avec un maximum en octobre. Le deuxième automne le plus chaud depuis le début des mesures a provoqué des phases phénologiques automnales plutôt retardées. La coloration des feuilles du hêtre a été tardive à très tardive dans 47% des cas, tandis qu'elle a été normale dans 33% des cas avec un écart de -3 à +11 jours par rapport à la moyenne 1981–2010. La chute des feuilles du hêtre s'est produite en grande partie en novembre, parfois aussi en décembre seulement. Il n'y a quasiment pas eu de gel et les tempêtes d'automne ont été absentes, si bien que les feuilles ont pu rester sur les arbres au cours de cet automne.

Dans 51% des cas, la chute des feuilles a été tardive à très tardive et dans 29% des cas, elle a été normale avec un écart de -4 à +12 jours. La répartition et la détermination de la période de la coloration et la chute des feuilles n'est pas évidente, car les observations varient très fortement chaque année selon les stations. Les observations automnales ont été particulièrement difficiles ces années, car de nombreux arbres ont longtemps conservé des feuilles vertes, alors que sur le même arbre une partie significative des feuilles était déjà à terre. En novembre et en décembre, quelques plantes printanières ont déjà fleuri : dents-de-lion, violettes, anémones des bois, gentianes de printemps, primevères et fraises, dont les fruits étaient déjà mûrs. Des observations similaires avaient déjà été reportées au cours de l'automne très doux de 2006.

Figure 2.15

Calendrier phénologique 2014 de Rafz. La répartition montre la période de référence 1981–2010. La date de l'année courante est représentée par un carré noir et la période de référence est colorée de très précoce à très tardif en fonction de son ordre chronologique.



Saison pollinique

En 2014, la saison pollinique de la plupart des plantes allergènes a débuté de manière précoce à très précoce en raison des températures qui ont été nettement trop douces de janvier à avril. La dispersion des pollens du noisetier, du bouleau et des graminées a été intense. En revanche, elle a été faible pour le frêne, ainsi que pour l'ambrosie au Tessin. La saison pollinique 2014 est comparée avec la moyenne sur 15 ans de 1997 à 2011.

Sur le site internet de MétéoSuisse, des graphiques annuels montrent la moyenne journalière de la charge pollinique pour les 14 plus importantes espèces allergènes relevée dans le réseau pollinique de mesures en Suisse. Pendant la saison des pollens, les graphiques sont actualisés chaque semaine.

Début de la saison pollinique

Au cours des journées très douces du 6 au 9 janvier, les premiers pollens de noisetier ont été mesurés dans toute la Suisse. En comparaison avec la moyenne sur 15 ans de 1997 à 2011, cela correspond à une avance d'environ 10 jours par rapport aux années les plus précoces. A partir du 6 février, de fortes charges polliniques ont fréquemment concerné le Nord des Alpes. Au Tessin, c'était déjà le cas depuis la dernière décennie de janvier. Des deux côtés des Alpes, cela correspond à une avance de l'ordre d'une semaine par rapport à la moyenne. Les températures douces de février et de mars ont accéléré le développement de la végétation, si bien que la saison pollinique du bouleau a déjà débuté entre le 17 et le 20 mars. Cela correspond à une avance de 7 à 9 jours au Tessin, de 10 à 14 jours au Nord des Alpes. La date du début a été entre la deuxième et la cinquième la plus précoce de la période de comparaison. Un début encore plus précoce avait été constaté en 1997 et en 2002, également en 1990 et en 1994, mais ces deux années-là sont en dehors de la période de comparaison.

A partir de la mi-mars, du pollen de frêne était dans l'air. Il s'agit d'un début plus précoce que la moyenne pour quelques stations, mais aussi plus tard que la moyenne pour d'autres stations. En avril, la saison pollinique du hêtre a débuté avec une avance de 6 à 13 jours par rapport à la moyenne et celle du chêne avec une avance de 11 à 16 jours. Il s'agit du deuxième début le plus précoce pour le hêtre et du début le plus précoce ou le deuxième le plus précoce pour le chêne, derrière 2011 et parfois 2007 aussi. La floraison des graminées a également débuté très précocement. Du pollen de graminées a déjà été régulièrement mesuré à partir de la mi-mars à Locarno et à partir de la mi-avril au Nord des Alpes, mais en faible concentration. Au Tessin, à Bâle et à Lucerne, c'est le début le plus précoce par rapport à la période de comparaison de 15 ans de 1997 à 2011.

La raison de cette évolution rapide des graminées est liée aux températures très douces de mars et avril. A partir du 10 avril déjà, une forte charge pollinique de graminées a été mesurée au Tessin avec une avance record de 24 à 26 jours. En été, le début de floraison de l'armoise et de l'ambrosie varie généralement peu : à partir de la mi-juillet du pollen d'armoise était présent, tandis que du pollen d'ambrosie était présent à partir de la fin de la première semaine d'août.

Durée de la saison pollinique

En raison du rapide début de la floraison, la saison pollinique du noisetier a duré jusqu'à 2 semaines de plus que la moyenne de la période de comparaison. La dernière journée avec une forte concentration de pollen de noisetier a été mesurée entre le 6 et le 15 mars, soit quelques jours plus tard que la moyenne. En revanche, la durée de la saison pollinique de l'aulne a été proche de la moyenne. Cette année, la saison pollinique du frêne a été extrêmement courte et faible. La saison pollinique du bouleau a été plus courte que la moyenne pour les stations de la Suisse romande, en particulier à Lausanne et à Neuchâtel. En revanche, elle a été légèrement plus longue que la moyenne en Suisse centrale et orientale. Un temps pluvieux a terminé la saison pollinique à partir du 20 avril en Suisse romande, soit quelques jours plus tôt qu'en Suisse centrale et orientale. La durée la saison pollinique des graminées a fortement varié selon les stations : la saison a été longue à Lucerne, Buchs, Berne, Lugano et Viège ; elle a été plus courte que la moyenne à Genève, Lausanne, Neuchâtel et Münsterlingen. C'est surtout la date de la fin de la saison qui a joué un rôle (dernière journée avec une charge modérée) avec des stations qui ont connu une fin de saison à la mi-juillet déjà et d'autres après la mi-août seulement.



Intensité des pollens

Ce qui a été frappant cette année est la saison pollinique extrêmement faible du frêne. Pour de nombreuses stations, il s'agit de la plus faible année pollinique du frêne depuis le début des mesures. 10 stations ont mesuré une charge pollinique au maximum modérée. La raison de cette faible floraison du frêne a été la très forte production pollinique en 2013, si bien qu'en 2014 les nutriments nécessaires pour l'étape de la floraison n'ont pas été suffisants. Il est aussi possible que l'envahissement des frênes par le champignon qui est responsable de la maladie du flétrissement du frêne (*Chalara fraxinea*), qui se propage en Suisse depuis quelques années, ait également joué un rôle.

La production de pollen du châtaignier au Tessin a été très faible avec la plus faible concentration pollinique jamais mesurée. La raison est l'envahissement important des arbres par le cynips du châtaignier. Une saison pollinique plus intense que

la normale a concerné les pollens du noisetier, du bouleau et des graminées. La saison pollinique du bouleau a été particulièrement forte au Tessin. En même temps que les bouleaux, les charmes ont également fortement prospéré durant les journées chaudes entre fin mars et mi-avril. La combinaison de ces deux espèces a donné lieu à une incidence accrue de l'asthme pollinique cette année. L'armoise a connu une saison pollinique dans la moyenne, tandis que la saison pollinique de l'ambrosie a été dans la moyenne à Genève, mais à nouveau plutôt faible au Tessin. La raison est sans doute la présence d'un coléoptère (*Ophrealla communis*) dans le nord de l'Italie et au Tessin qui, comme l'année dernière, affecte les plantes d'ambrosie et les nuit fortement.

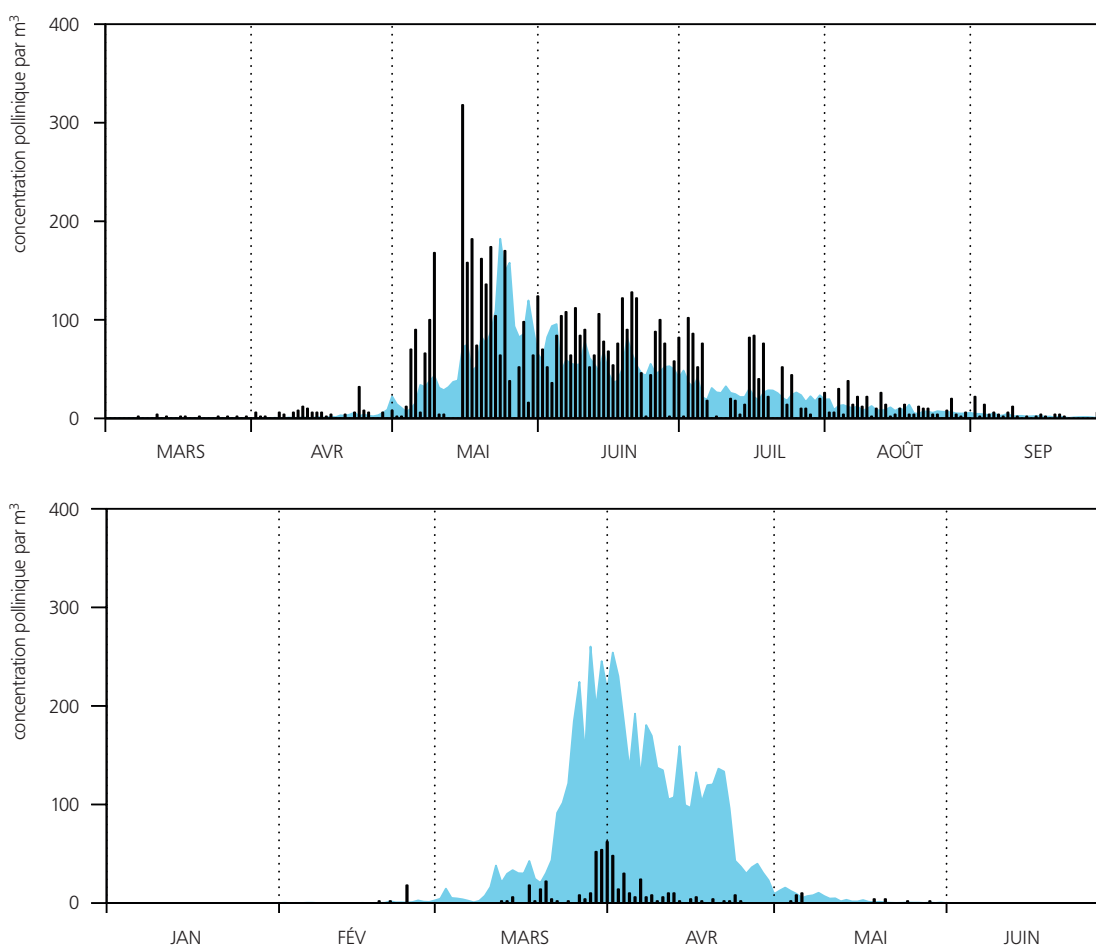


Figure 2.16
Evolution de la saison pollinique 2014 des graminées à Lucerne (en haut) et de la saison pollinique 2014 du frêne à Genève (en bas) par rapport à la moyenne sur 15 ans de 1997 à 2011 (courbe bleue). A Lucerne, la saison pollinique des graminées a débuté le 9 avril, soit la date la plus précoce depuis le début des mesures. La saison pollinique 2014 du frêne a été extrêmement faible dans toute la Suisse.

Première journée anticyclonique après le passage d'une perturbation. De nombreux cumulus se sont développés pendant la journée. Ils se dissipent peu à peu avec le coucher du soleil. Mittellegi-Route sur l'Eiger, Oberland bernois.

Photo: visualimpact.ch; Thomas Ulrich





3 | Particularités de l'année 2014

3.1 L'année la plus chaude depuis le début des mesures

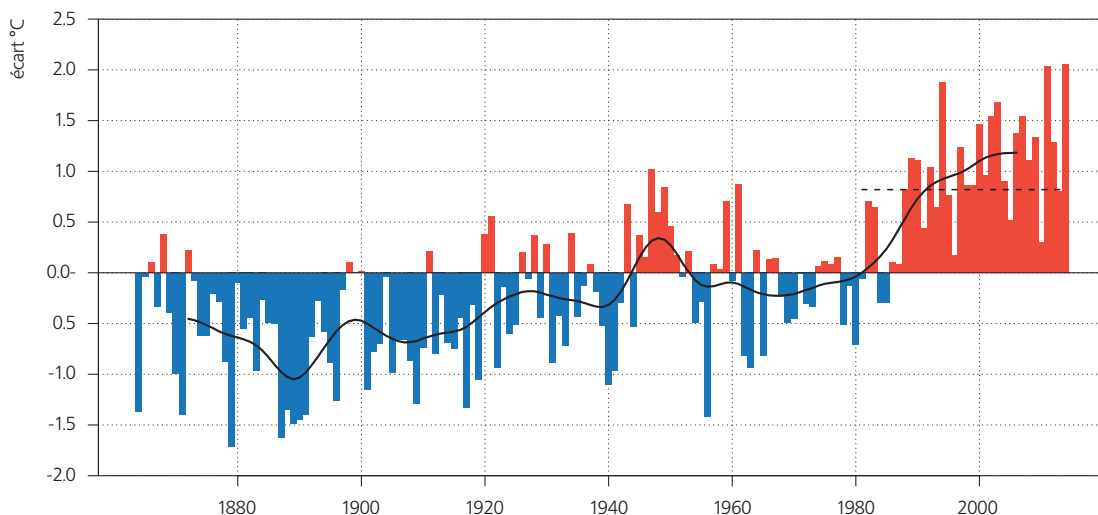
En moyenne nationale, l'année 2014 a connu un excédent thermique de 2.06 degrés par rapport à la norme 1961-1990. Cependant, la différence avec l'année record de 2011 qui a connu un excédent thermique de 2.03 degrés, est extrêmement faible (Figure 3.1). Etant donné que la différence n'est que de 0.03 degré et que les mesures sont souvent entachées d'incertitudes, il faut considérer les années 2011 et 2014 comme également chaudes. Pour retrouver une année aussi chaude, il faut remonter à 20 ans en arrière: en 1994, l'excédent thermique avait été de 1.87 degré par rapport à la norme 1961-1990.

Onze des douze mois de l'année ont contribué à ce fort excédent thermique en 2014 avec des températures au-dessus de la normale. Seules les températures du mois d'août se sont montrées légèrement inférieures à la norme 1961-1990. Le premier semestre a été le troisième le plus chaud depuis le début des mesures en 1864 et l'automne a été le deuxième le plus chaud.

Les températures annuelles en 2014 ont atteint le premier ou le deuxième rang pour la plupart des stations du Nord des Alpes et des Alpes. Au Tessin, elles se sont généralement classées entre le deuxième et le quatrième rang.

Les années 2014 et 2011 ont été les plus chaudes de l'année calendaire depuis le début de la série de mesures en 1864. Mais l'année calendaire est une suite d'une période fixe de 12 mois. Si on se focalise sur une période de 12 mois consécutifs, des températures présentant un excédent thermique nettement plus élevé avaient été constatées, comme le rapport climatologique 2011 le mentionnait déjà [30]. Ainsi, la période allant de juin 2006 à mai 2007 et celle allant de juillet 2006 à juin 2007 ont connu jusqu'à présent le plus fort écart à la norme 1961-1990 avec 2.8 degrés d'excédent. Entre 2002 et 2004, ainsi qu'entre avril 1947 et mars 1948, une période de 12 mois avait connu un excédent thermique équivalent à celui de 2014 et de 2011.

Figure 3.1
Evolution à long terme de la température annuelle moyenne pour l'ensemble de la Suisse. Le graphique indique l'écart annuel de la température à la norme 1961-1990 (rouge = écarts positifs, bleu = écarts négatifs). La courbe noire indique la moyenne pondérée sur 20 ans. La ligne noire pointillée montre la norme 1981-2010 qui a été rehaussée de 0.8 degré par rapport à la norme 1961-1990. 12 séries de mesures homogènes de la Suisse servent de base de données.



3.2 D'énormes quantités de neige au Sud des Alpes

A partir de la mi-décembre 2013, les fréquentes situations de sud à sud-ouest ont provoqué des quantités impressionnantes de précipitations ou de neige au Sud des Alpes. A Lugano, il s'agit de l'hiver le plus arrosé depuis le début des mesures il y a 150 ans. Avec 698 mm de précipitations, le précédent record datant de l'hiver 1950/1951 a été nettement dépassé de 160 mm. A Locarno-Monti, la lame d'eau des précipitations hivernales a été de 754 mm. Ici aussi, le record de l'hiver 1950/1951 a été dépassé puisqu'il était tombé une lame d'eau de 722 mm.

Toutes ces précipitations sont tombées sous forme de neige dans les montagnes du Sud des Alpes. Ainsi, il est tombé d'énormes quantités de neige. A Segl-Maria en Haute-Engadine, il est tombé 3.96 mètres de neige entre décembre et février. Il s'agit de la deuxième quantité de neige fraîche la plus importante en 150 ans de mesures, restant toutefois bien loin de l'hiver record 1950/1951 qui avait apporté 6.85 mètres de neige fraîche. (Figure 3.2)

Il a plus neigé cet hiver dans les montagnes du Tessin qu'en Haute-Engadine. A Bosco-Gurin, la hauteur de neige fraîche a atteint 6.84 mètres. Il s'agit de la valeur la plus élevée depuis le début de la série de mesures en 1961 (Figure 3.3).

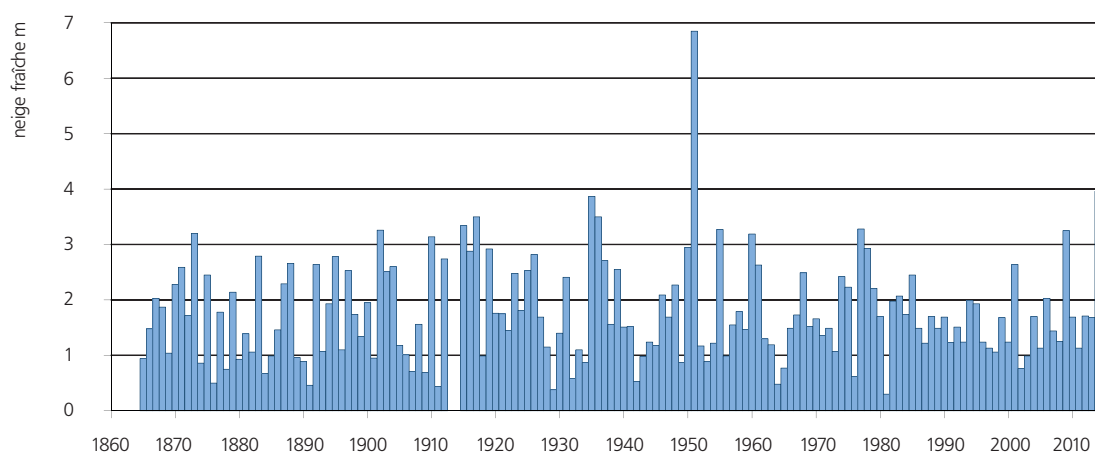


Figure 3.2
Somme de neige fraîche hivernale (décembre à février) à Segl-Maria (1804 m) entre 1864/65 et 2013/14.

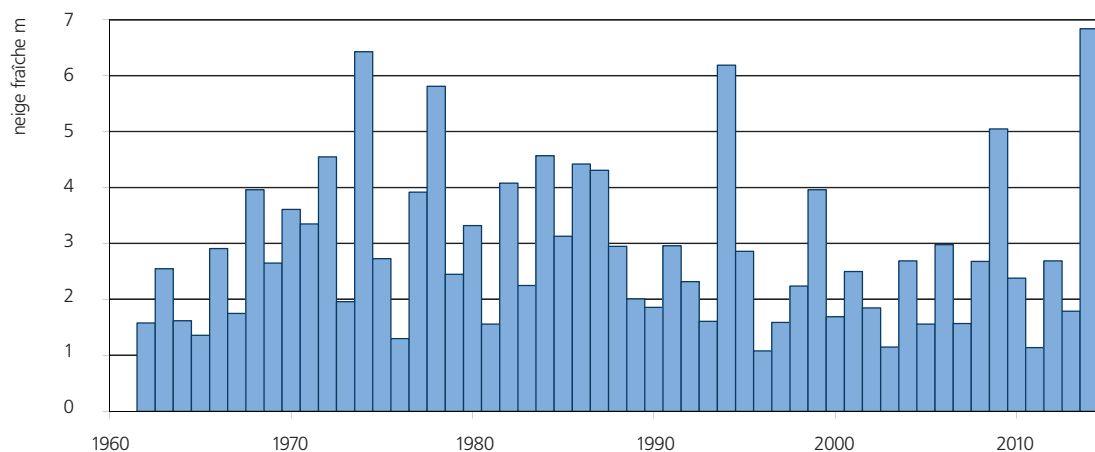


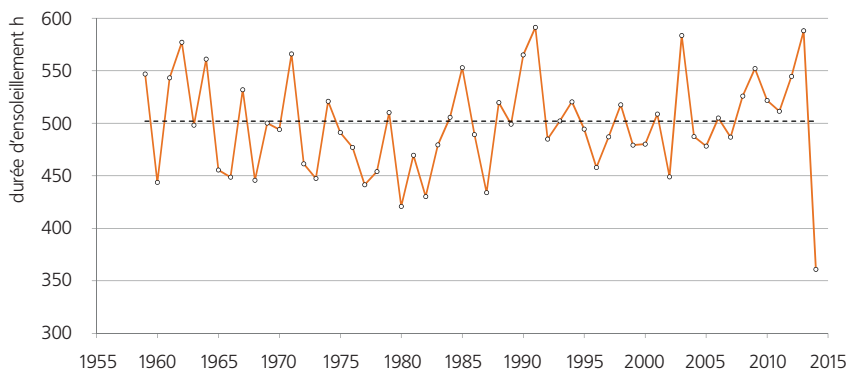
Figure 3.3
Somme de neige fraîche hivernale (décembre à février) à Bosco-Gurin (1486 m) entre 1961/62 et 2013/14.

3.3 Record de manque de soleil au milieu de l'été

Alors que le mois de juin s'est montré extrêmement ensoleillé sur l'ensemble de la Suisse, il n'en a pas été de même pour le reste de l'été. En raison de la pluie souvent persistante en juillet, en pleine période de vacances, des records de manque de soleil ont été comptabilisés sur le Bassin lémanique, en Valais, dans l'Oberland bernois, au Sud des Alpes et en Haute-Engadine.

Figure 3.4

Heures d'ensoleillement au cœur de l'été (juillet-août) entre 1959 et 2014 moyennées pour la région Bassin lémanique – Valais – Tessin. La valeur moyenne 1981-2010 est de 503 heures d'ensoleillement (ligne noire pointillée). A noter que l'axe vertical débute à 300 heures..



Au Tessin, le mois d'août a également connu un manque de soleil proche des valeurs record. Du Bassin lémanique au Valais et jusqu'au Tessin, la période au cœur de l'été (juillet-août) a finalement comptabilisé un important déficit record d'ensoleillement avec 360 heures. Il a manqué quelque 140 heures d'ensoleillement ou entre 1 et 2 semaines pleinement ensoleillées pour atteindre la norme de juillet-août qui est de l'ordre de 500 heures d'ensoleillement.

3.4 Record de précipitations en juillet

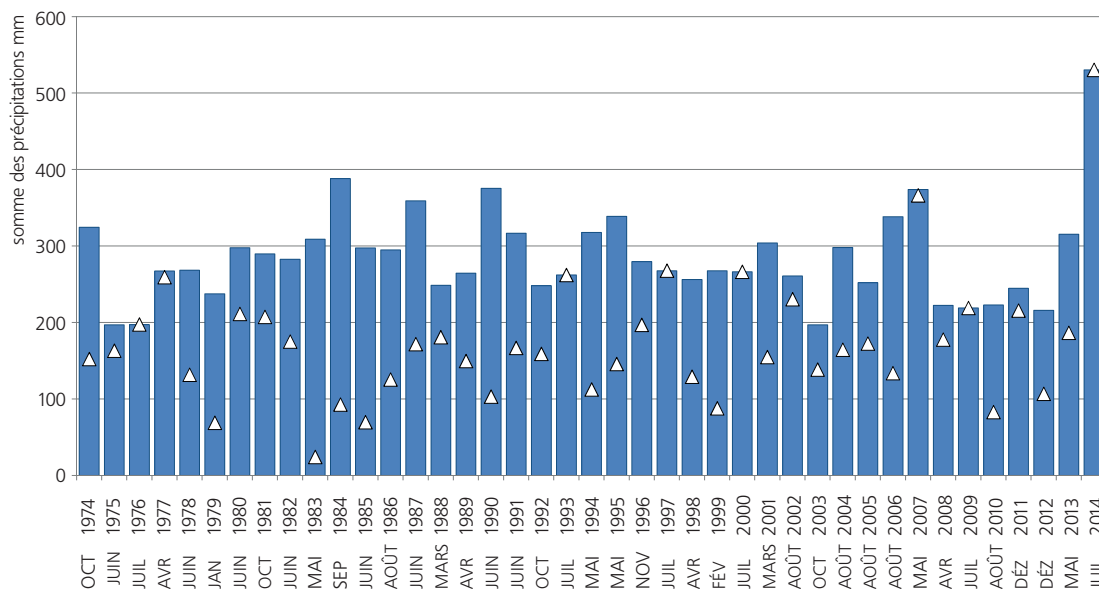
Juillet 2014 a été extrêmement pluvieux [31]. Les sommes pluviométriques ont généralement atteint entre 200 et 300% de la norme 1981-2010 sur l'ouest de la Suisse, en Valais, ainsi que sur l'ouest et le centre des versants nord des Alpes et au Sud du Tessin.

De nombreux records de précipitations pour un mois de juillet sont tombés, notamment à l'ouest de la Reuss. Quelques records ont également été comptabilisés en Suisse orientale. Aux Avants, au-dessus de Montreux, il est tombé une somme exceptionnelle de 523 mm de précipitations. Cela correspond à 3 fois la norme des précipitations pour un mois de juillet. Le précédent record, qui datait de juillet 2007 avec 366 mm, a été largement pulvérisé (Figure 3.5). Les mesures pluviométriques aux Avants ont débuté en 1974. A la station de mesures d'Echolzmatt, située dans l'Entlebuch, il est tombé une lame d'eau de 452 mm. Le précédent record de juillet 2007 a été dépassé de presque 130 mm. Les données sont ici disponibles depuis 1959. Pour les Avants (Figure 3.5) et Echolzmatt, il s'agit même d'un record mensuel de précipitations tous mois confondus. Cela veut dire que depuis le début de la série de mesures, on n'avait jamais recueilli autant d'eau en un mois. C'est le même constat pour quelque 40 autres lieux de mesures en Suisse. Tous ces records soulignent l'importance de la pluviométrie de ce mois.

La station de Schwägälp/AR, située au pied du Säntis, a été le lieu le plus arrosé de Suisse en juillet 2014 avec une lame d'eau de 555 mm. Le précédent record pour un mois de juillet datait de 1993 avec 488 mm. Si l'on comptabilise tous les mois, juillet 2014 se situe au 3ème rang. Les données sont disponibles depuis 1972.

Figure 3.5

Somme des précipitations la plus élevée par année (colonnes bleues) et somme recueillie en juillet par année (triangles noirs) au cours des 40 années de la série de mesures des Avants au-dessus de Montreux. Avec 523 mm, la somme mensuelle de juillet 2014 se situe bien au-dessus de la précédente somme mensuelle la plus élevée qui était de 388 mm en septembre 1984.



3.5 Crues en novembre au Tessin

Les crues de novembre au Tessin sont survenues à la suite de quelques mois avec des conditions météorologiques très inhabituelles et font de l'année 2014 une exception parmi les 150 années avec des relevés climatologiques dans cette région. En effet, depuis plus de dix années, il n'y avait plus eu de crues et d'inondations au Tessin. Malgré des quantités de précipitations localement record, la crue du lac Majeur en novembre 2014 n'était pas l'une des plus fortes jamais enregistrées.

La période de précipitations a duré pendant 16 jours presque sans interruption, du 2 au 17 novembre. Les précipitations ont perduré, selon les stations, entre 14 et 15 jours et ont fourni un total de 200 à 240 heures de pluie. Les quantités les plus importantes ont atteint 8 à 9 mm par heure le long des Alpes et même 10 à 12 mm par heure sur le Tessin central et méridional. La valeur maximale a été de 15 à 17 mm par heure dans l'après-midi du 5 novembre dans la région de Lugano et dans le Malcantone. Au cours des trois principaux passages perturbés qui ont traversé les Alpes, trois pics de précipitations ont pu être observés : les 4-5 novembre, du 10 au 12 et le 15 novembre. Au cours de la première phase, les précipitations ont surtout concerné le Sottoceneri avec des vents persistants de type sirocco (avec des rafales jusqu'à 68 km/h à Lugano). La limite des chutes de neige est restée relativement élevée malgré les fortes précipitations, vers 1000 mètres au nord du Tessin et vers 2000 mètres sur le centre et le sud du Tessin.

Ce mois de novembre copieusement arrosé a fait suite à un mois d'octobre également bien arrosé. La quantité totale tombée au cours de ces deux mois est la plus élevée jamais mesurée à Locarno-Monti (1059 mm) et la deuxième la plus élevée à Lugano (743 mm, derrière les 920 mm en 1896). Ces deux stations disposent d'une série de données homogénéisées depuis 1883 à Locarno-Monti et depuis 1864 à Lugano. La station de Camedo, qui est située dans la région la plus pluvieuse du Tessin, a également montré des mesures intéressantes, même si la série de mesures n'est disponible que depuis 1901 et n'est pas homogénéisée. Une nouvelle valeur record sur deux mois a également été enregistrée avec 1617 mm.

Les autres années avec des mois d'octobre et novembre qui est ont été très pluvieux sont 1926, 1935, 2000 et 2002. En valeurs absolues, il ne s'agit pas de record de précipitations sur un mois ou sur 2 mois consécutifs. Selon Zeller et al. 1980, le diagramme reproduit montre que les 587 mm de précipitations mesurés en novembre à Lugano sont attendus tous les 35 à 40 ans. Les stations de Camedo et de Mosogno ont relevé le 4 novembre une somme pluviométrique journalière de 257

mm, respectivement 229 mm alors que les autres stations ont mesuré entre 100 et 200 mm. Ces valeurs sont attendues tous les 5 à 10 ans environ.

Les plus fortes précipitations ont concerné la rive nord du Lac Majeur, les Centovalli et les vallées de l'Onsernone, de la Maggia et de la Verzasca, alors que le val Blenio et le district de Moesa ont reçu nettement moins de précipitations. De telles précipitations sur une période de 16 jours se sont rarement produites dans le passé. Dans les régions les moins arrosées, il est tout de même tombé quelque 450 mm de pluie, tandis que la station de Camedo a mesuré une lame d'eau supérieure à 1000 mm. Ces valeurs correspondent à 3 à 5 fois la quantité de précipitations habituellement mesurée en novembre. Les 538 mm de Lugano représentent la valeur la plus élevée jamais mesurée sur une période comparable, tandis que les 1080 mm de Camedo avaient déjà été dépassés en 1993 (1202 mm) et en 2002 (1139 mm).

Les crues de novembre ont une typologie météorologique similaire aux grandes inondations précédentes des années 1993, 2000 et 2002, bien que les impacts sur le paysage aient été différents à chaque fois. Avec une cote à 271.76 mètres, le lac de Lugano est resté à 10 cm seulement au-dessous de son niveau maximal de 2002, tandis que la crue du lac Majeur a pris d'autres proportions. Une cote de 196.42 mètres, comme celle mesurée le 16 novembre, ou plus élevée se produit statistiquement tous les 10 ans. En revanche, la période depuis l'avant-dernière inondation a été inhabituellement longue. Depuis 2004, le lac Majeur n'avait plus dépassé la cote de 195.5 mètres. Depuis quelque 160 années de statistiques avec des données fiables, il n'y a eu qu'une seule période de 9 ans sans inondations, entre 1908 et 1916. Dans les années 1940, connues pour avoir été sèches, il n'y a eu que 8 années entre deux événements avec des inondations.

Figure 3.6
L'île de Brissago le 13 novembre 2014: le lac a inondé les zones basses du jardin botanique. La cote se situait à 196.38 mètres, soit à quelques centimètres seulement au-dessous du pic atteint 3 jours plus tard.



Foto: Marco Omini

Stephan Siegrist et Dani Arnold grimpent sur le Nesthorn, Valais, 3822 mètres sous des conditions météorologiques évoluant de manière incertaine.

Photo: visualimpact.ch; Thomas Senf





4 | Climat global et évolution météorologique 2014

Au niveau mondial, l'année 2014 a été la plus chaude depuis le début des mesures en 1850. Des températures annuelles au-dessus de la moyenne ont été mesurées sur la plupart des surfaces terrestres et maritimes. Les plus grandes régions avec des températures annuelles inférieures à la moyenne se trouvent sur le centre de l'Amérique du Nord, sur le centre de l'Atlantique Nord et du Pacifique Nord, ainsi que régionalement sur les surfaces maritimes autour de l'Antarctique. La situation décrite ci-dessous se fonde principalement sur la Déclaration annuelle de l'Organisation météorologique mondiale (OMM) sur l'état du climat mondial [25].

4.1 L'année la plus chaude au niveau mondial

Avec un excédent thermique global record de 0.57 degré [32], l'année 2014 s'intègre parfaitement dans la série ininterrompue d'années très chaudes depuis la fin du 20^{ème} siècle. L'année 2010 se situe juste derrière avec un excédent de 0.55 degré, de même que les années 2005 et 1998 avec un excédent de 0.54 degré. Tous les écarts de température mentionnés se réfèrent à la norme 1961-1990.

Les plus grands écarts régionaux positifs (2 à 5 degrés par rapport à la norme 1961–1990) se situent sur une vaste région allant du nord de l'Afrique au Proche-Orient et Moyen-Orient, ainsi que de l'Europe à l'Atlantique Nord, de même que sur d'autres régions allant de la Chine orientale à la Russie orientale jusqu'à l'Alaska et le Pacifique Nord.

Les plus grands écarts négatifs (-0.5 à -2 degrés par rapport à la norme 1961–1990) ont été observés sur la région des Grand Lacs jusqu'au centre du Canada, ainsi que sur quelques régions maritimes autour de l'Antarctique [25]. Ce qui est frappant une fois de plus est que l'hémisphère Nord a été nettement plus affecté par des températures au-dessus de la moyenne en 2014 que l'hémisphère Sud.

Le Tableau 4.1. indique les tendances de la température annuelle mondiale. La modification totale de la température globale (terres émergées et océans) de 1864 à 2014 s'élève à +0.80 degré. La température moyenne globale se situe aux alentours de 14 °C. Le schéma de l'évolution à long terme de la température globales, avec une accumulation d'années très chaudes récemment, se retrouve aussi dans la série de températures en Suisse (Figure 5.1). Le changement de température en Suisse est donc cohérent par rapport aux autres continents.

Figure 4.1

Evolution à long terme de la température globale moyenne (terres émergées et océans).
Le graphique indique l'écart annuel de la température à la norme 1961-1990 (rouge = écarts positifs, bleu = écarts négatifs). La courbe noire indique la moyenne pondérée sur 20 ans.
Données: University of East Anglia, 2015 [14], nouveau record HadCRUT4-gi.

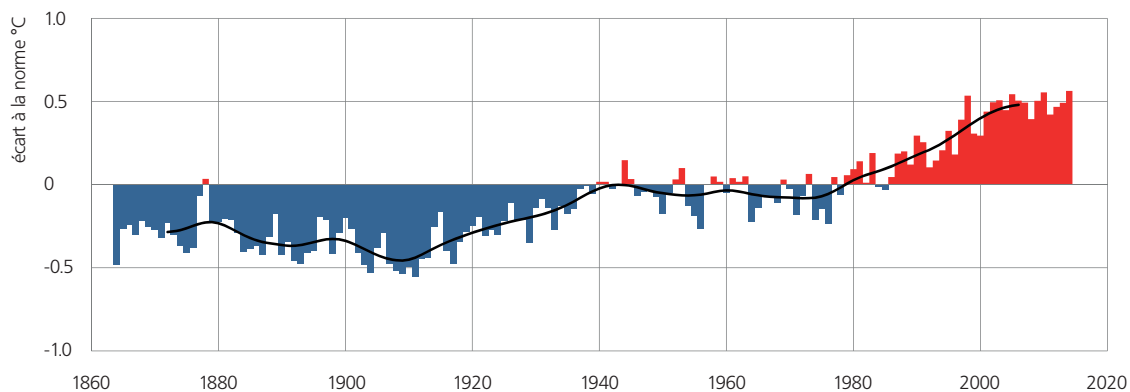


Tableau 4.1

Tendances de la température annuelle globale au cours des périodes 1864–2015, 1900–2015 et 1961–2015, calculées pour les terres émergées et les océans globalement. Données de base: University of East Anglia, 2015 [14], nouveau record HadCRUT4-gi.

Période	°C/10 ans	°C/100 ans
1864–2014	+0.05	+0.53
1901–2014	+0.08	+0.77
1961–2014	+0.14	

4.2 El Niño et La Niña

A partir d'avril 2014, la situation dans la partie équatoriale du Pacifique est passée d'une faible phase La Niña (anomalie climatique froide) à un événement El Niño modérément fort (anomalie climatique chaude) [26]. Des événements modérés El Niño similaires se sont produits à plusieurs reprises au cours des 15 dernières années.

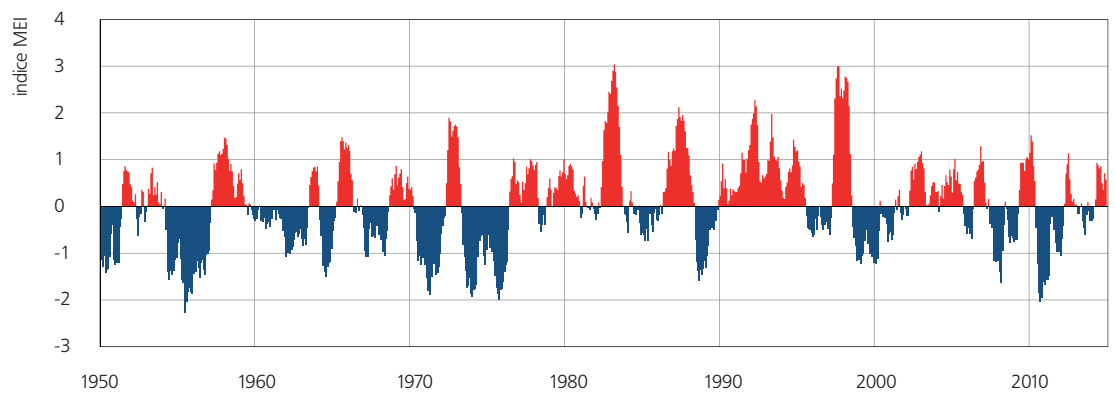


Figure 4.2

Indice multivarié d'El Niño southern oscillation (MEI). Les valeurs indicelles de la phase El Niño (phase chaude) sont indiquées en rouge, les valeurs indicelles de la phase La Niña (phase froide), en bleu. Le MEI est calculé à partir de la pression de surface, des composantes est-ouest et nord-sud du vent de surface, de la température de surface de la mer, de la température de l'air au niveau de la mer et de la couverture nuageuse. Les mesures sont effectuées dans la partie équatoriale de l'Océan Pacifique. Les données sont disponibles sous [26].

4.3 Événements particuliers

En Europe, les dix premiers mois de l'année 2014 ont souvent montré des températures au-dessus de la moyenne. Les températures moyennes sont parfois restées à plus de 2 degrés au-dessus de la norme 1961–1990. La période de janvier à septembre a été la plus chaude en de nombreux endroits en Europe depuis le début des mesures. En raison de la persistance de températures au-dessus de la norme, plusieurs pays européens ont connu leur année la plus chaude depuis le début des mesures. En Amérique du Sud, la période de janvier à octobre a été la deuxième la plus chaude, en Australie la cinquième la plus chaude.

En revanche, en Amérique du Nord, les températures entre janvier et octobre ont fréquemment été au-dessous de la moyenne. Le Midwest et la région du Mississippi ont connu une des dix périodes janvier-octobre les plus froides depuis le début des mesures. Le froid hivernal persistant a été à l'origine de la deuxième plus grande extension des glaces des Grand Lacs au début du mois de mars depuis le début des mesures il y a 40 ans. A contrario, la Californie, située sur la partie pacifique du continent nord-américain, a vécu sa période janvier-octobre la plus chaude depuis le début des mesures.

La région de Hongkong a vécu son mois de juin, ainsi que son mois de juillet le plus chaud depuis le début des mesures en 1884. Une période caniculaire a concerné l'Amérique du Sud en octobre. Les pays concernés ont surtout été l'Argentine, le Brésil, la Bolivie et le Paraguay. Ces régions ont connu le mois d'octobre le plus chaud depuis le début des mesures.

L'activité cyclonique dans la partie tropicale de l'Atlantique Nord a été inférieure à la norme 1981–2010. Pour la première fois depuis août 2012, les côtes américaines ont été à nouveau touchées par un système tropical. Dans le bassin du Pacifique Est, l'activité cyclonique a été au-dessus de la norme, tandis qu'elle a été légèrement en dessous de la norme 1981–2010 dans le bassin du Pacifique Ouest. En août, l'archipel d'Hawaï dans le Pacifique Est a été touché par une tempête tropicale pour la première fois depuis 1992. Les régions à tempêtes tropicales autour de l'Australie et de l'Inde ont connu une activité légèrement inférieure à la moyenne.

4.4 Glaces marines arctiques et antarctiques

La superficie de la banquise arctique s'est rétrécie au cours de la période estivale de fonte pour atteindre la sixième place de l'étendue la plus réduite jamais observée depuis le début des mesures satellite disponibles en 1979. Le minimum saisonnier estival en 2014 a été de 5.02 millions de km², une mesure pratiquement similaire à celle de 2013 avec 5.10 millions de km². Le minimum saisonnier de 2014 a été atteint juste après la mi-septembre et ne représentait plus que 80% de la norme 1981–2010. Au cours du maximum saisonnier hivernal en mars 2014, l'étendue de la banquise arctique a été de 14.91 millions de km², soit 96% de la norme 1981–2010.

La banquise antarctique a atteint en septembre 2014 un maximum de 20.11 millions de km², établissant un nouveau record pour la troisième année consécutive. Cela a été atteint après que l'étendue minimale de la fin de l'été antarctique 2013/2014 ait à nouveau atteint un record. Les données satellitaires pour l'Antarctique sont également disponibles depuis 1979.



Situation anticyclonique automnale. Un front chaud circulant sur le nord de l'Europe dirige des cirrus au-dessus des Alpes. Stephan Siegrist sur le Niederhorn-Gemmenalphorn, Oberland bernois.

Photo: visualimpact.ch; Thomas Senf



5 | Surveillance du climat

48

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 suit la structure GCOS (Global Climate Observing System) des variables climatiques essentielles [22]. Sont ainsi traités le domaine atmosphérique et le domaine terrestre (Tableau 5.1), et, à l'intérieur de ce dernier domaine, les mesures au sol. Il s'agit en l'occurrence des séries de mesures

classiques de la température et des précipitations et des paramètres qui en découlent. Pour pouvoir se concentrer le plus directement possible sur l'évolution du climat au niveau des différents paramètres, l'origine des données et les méthodes sont traitées séparément au point 5.3.

Tableau 5.1
Variables climatiques essentielles selon le GCOS Second Adequacy Report [24], complétées par les variables s'appliquant spécifiquement à la Suisse, tiré de [22].

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		Écoulement, 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

Selon le GCOS, la température et les précipitations constituent deux indicateurs clés des changements climatiques [22]. L'organisation météorologique mondiale (OMM) en a tiré un ensemble d'indicateurs climatiques spécifiques [4] dans le but de cerner l'évolution du régime de température et de précipitations de manière détaillée et globalement uniforme, dont la fréquence des gelées et la fréquence des fortes précipitations (domaine atmosphérique, mesures au sol).

Par ailleurs, nous évoquons des indicateurs climatiques propres à la Suisse, dont la couverture neigeuse, facteur important pour un pays alpin (domaine terrestre). Selon la recommandation de l'OMM, la norme (période allant de 1961 à 1990) doit être utilisée pour les analyses de l'évolution du climat [4], [28]. Ce chapitre applique cette recommandation en conséquence.

Désignation	Type	Définition	Signification/ caractéristique
Température	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 [22] à effacer.
Jours de gel (OMM)	Température	Jours de l'année civile affichant une température minimale $T_{\min} < 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$	Le nombre de jours de gel dépend essentiellement de l'altitude de la station. Indicateur climatique particulièrement pertinent à haute altitude.
Journées d'été (OMM)	Température	Jours de l'année civile affichant une température maximale $T_{\max} \geq 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$	Le nombre de jours d'été dépend essentiellement de l'altitude de la station. Indicateur climatique particulièrement pertinent à basse altitude.
Limite du zéro degré	Température	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	Précipitations	Somme journalière conventionnelle (du matin au matin suivant), agrégée en somme mensuelle et annuelle	Indicateur clé des changements climatiques et variable climatique essentielle [22].
Jours de fortes précipitations (OMM)	Fortes précipitations	Jours de l'année civile présentant des précipitations journalières $P \geq 20 \text{ mm}$	Le seuil de plus de 20 mm ne correspond pas à un niveau de précipitations extrêmes rares. Des niveaux de 20 mm sont enregistrés plusieurs fois par an en Suisse.
Précipitations des jours très humides (OMM)	Fortes précipitations	Somme des précipitations des jours de l'année civile où les précipitations journalières atteignent $P > 95$ percentiles des précipitations journalières (référence: 1961–1990)	Une journée est considérée comme très humide quand 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)	Précipitations	Nombre maximum de jours consécutifs dans l'année civile où les précipitations journalières sont inférieures à $P < 1 \text{ mm}$	Période ininterrompue de jours consécutifs sans précipitations (moins de 1 mm de précipitations).
Indice de sécheresse	Précipitations	SPEI (standardized precipitation evapotranspiration index); Ecart par rapport au bilan hydrique moyen (différence entre les précipitations et l'évaporation potentielle)	La valeur indicelle d'un mois déterminé indique le déficit d'eau accumulé / l'excédent d'eau accumulé au cours de la période qui précède par rapport à la norme.
Somme de neige fraîche	Précipitations	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 [9], [10], [11], [12], [13]
Jours de neige fraîche	Précipitations	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 [4].

5.1 Atmosphère

5.1.1 Mesures au sol

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

Température

La température annuelle en 2014 en Suisse a été en moyenne nationale 2.06 degrés au-dessus de la norme 1961–1990. Le précédent record de 2011 avec un excédent de 2.03 degrés a donc été légèrement battu (Figures 5.1, 5.3). Avec un excédent de 2.3 degrés, l'hiver 2013/14 s'est placé au 3ème rang de la série de mesures sur 151 ans, tandis que le printemps s'est placé au 6ème rang avec un écart à la norme de 2.2 degrés. Le changement a été moins spectaculaire en été avec un excédent thermique considéré comme modeste de 0.8 degré. Enfin, la température de l'automne a été 2.6 degrés au-dessus de la norme 1961–1990, ce qui la place au 2ème rang, proche des records (Figure 5.2).

Sur une base mensuelle, les particularités suivantes ressortent : les mois de mars, avril, juin et décembre ont été chauds, se plaçant entre le 8ème et le 11ème rang. Le mois d'octobre a été le quatrième le plus chaud, tandis que le mois de novembre a été le deuxième le plus chaud depuis le début des mesures en 1864.

Pour l'ensemble de la Suisse, la tendance à long terme de la température annuelle se situe à $+1.2^{\circ}\text{C}/100$ ans ($+0.12^{\circ}\text{C}/10$ ans), ce qui correspond à un changement total de $+1.8$ degré (entre 1864 et 2013). Les tendances saisonnières se situent dans une zone allant de $+1.1^{\circ}\text{C}/100$ ans et $+1.3^{\circ}\text{C}/100$ ans. Le Tableau 5.3 donne une vue d'ensemble des tendances en matière de température.

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

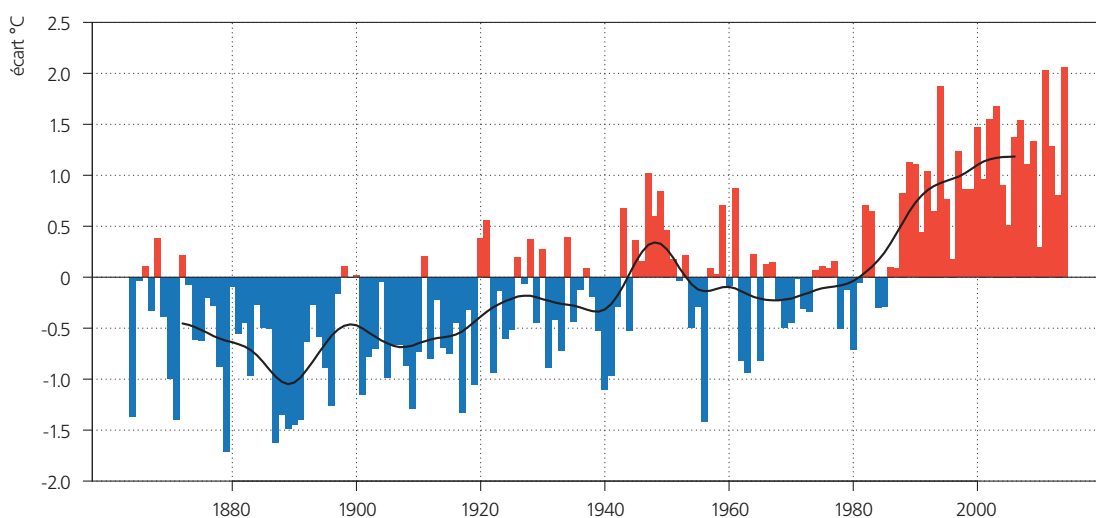
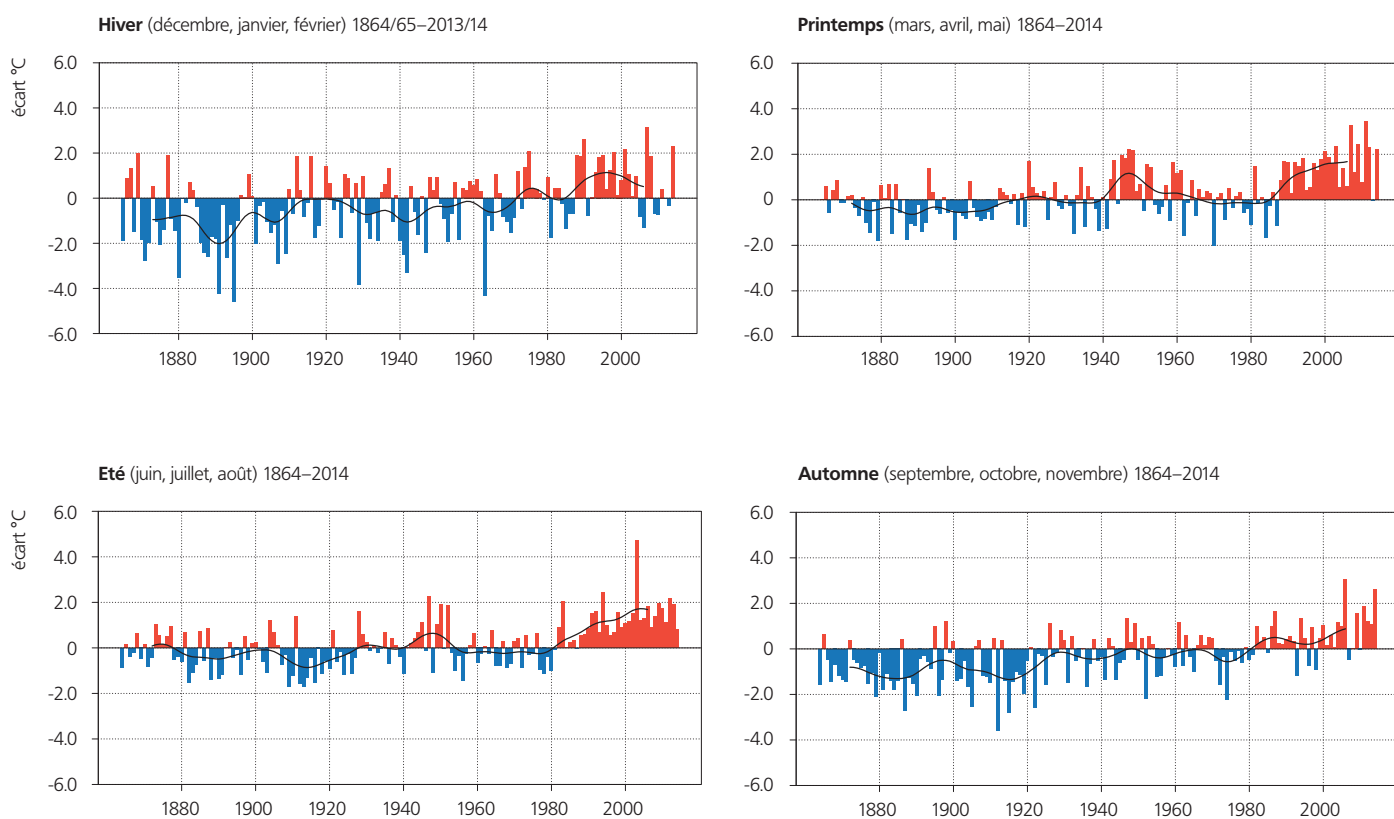


Figure 5.2

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



Sur le site Web de MétéoSuisse, vous trouverez des informations complémentaires sur les indicateurs climatiques:
www.meteosuisse.admin.ch/home/climat/actuel/indicateurs-de-climat.html

Tableau 5.3

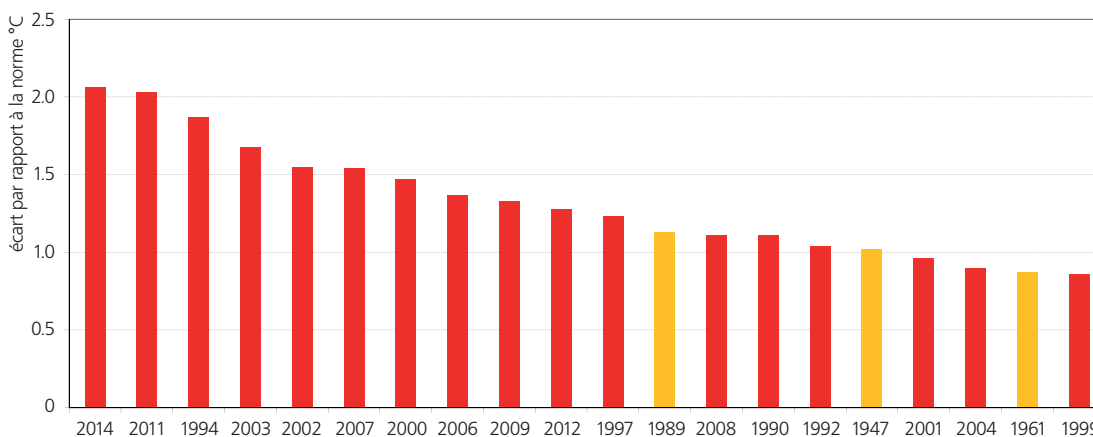
Tendances des températures saisonnières et annuelles en degrés Celsius par tranches de 10 ans au cours des périodes 1864–2014, 1901–2014 und 1961–2014 (valeurs moyennes pour toute la Suisse). La spécification fortement significatif est expliquée dans la section température sous 5.3 origine des données et méthodes.

Période	Printemps mars-mai °C	Été juin-août °C	Automne septembre-novembre °C	Hiver décembre-février °C	Année janvier-décembre °C
1864–2014	+0.12 fortement significatif	+0.11 fortement significatif	+0.13 fortement significatif	+0.13 fortement significatif	+0.12 fortement significatif
1901–2014	+0.15 fortement significatif	+0.18 fortement significatif	+0.18 fortement significatif	+0.14 fortement significatif	+0.17 fortement significatif
1961–2014	+0.48 fortement significatif	+0.47 fortement significatif	+0.28 fortement significatif	+0.30 significatif	+0.37 fortement significatif

Les années affichant une température largement supérieure à la moyenne se sont accumulées depuis la fin des années 1980. Sur les 20 années les plus chaudes enregistrées depuis le début des mesures en 1864, 17 l'ont été depuis 1990 (Figure 5.3). Le schéma de l'évolution à long terme de la température en Suisse, avec une accumulation d'années très chaudes récemment, se retrouve aussi dans la série de températures globale (Figure 4.1). Le changement de température en Suisse est donc cohérent par rapport à celui du monde.

Sans mesures d'intervention efficaces, on attend en Suisse un nouveau réchauffement important d'ici à 2050. D'ici à 2099, selon les scénarios climatiques actuels, à la lumière de la moyenne de la période 1981–2010, le réchauffement saisonnier devrait être de l'ordre de 3.2 à 4.8 degrés. C'est en été que l'on attend le réchauffement le plus important (plus de 4 degrés), avec même une pointe d'environ +5 °C dans les régions méridionales du pays [23].

Tableau 5.3
Tendances des températures saisonnières et annuelles en degrés Celsius par tranches de 10 ans au cours des périodes 1864–2014, 1901–2014 et 1961–2014 (valeurs moyennes pour toute la Suisse). La spécification fortement significatif est expliquée dans la section température sous 5.3 origine des données et méthodes.



Sur le site Web de MétéoSuisse, vous trouverez des informations complémentaires sur l'évolution de la température en Suisse:
www.meteosuisse.admin.ch/home/climat/actuel/tendances-climatiques.html
www.meteosuisse.admin.ch/home/climat/actuel/tendances-climatiques/tendances-observees-aux-stations.html

Jours de gel

En raison de l'hiver très doux, le nombre de jours de gel en 2014 a été nettement au-dessous de la moyenne pour tous les lieux de mesures représentés ici. A Berne sur le nord du Plateau, il a été comptabilisé 74 jours (norme 115), à Sion en Valais 54 (norme 97), à Davos dans les Alpes orientales 171 (norme 203) et à Lugano au sud de la Suisse 6 (norme 35).

Suite au net réchauffement des hivers, on constate une diminution des jours de gel dans les séries de mesures de Berne, Davos et Lugano. Par décennie, on y dénombre environ 5 jours de gel de moins.

Selon les scénarios climatiques actuels et sans mesures efficaces d'intervention à l'échelle globale, il est attendu pour la période 2077–2099, 25 à 50 jours avec gel pour la région de Berne, 50 jours pour la région de Sion et 125 à 150 jours pour la région de Davos. Pour la région de Lugano, pratiquement aucun jour de gel n'est attendu [33].

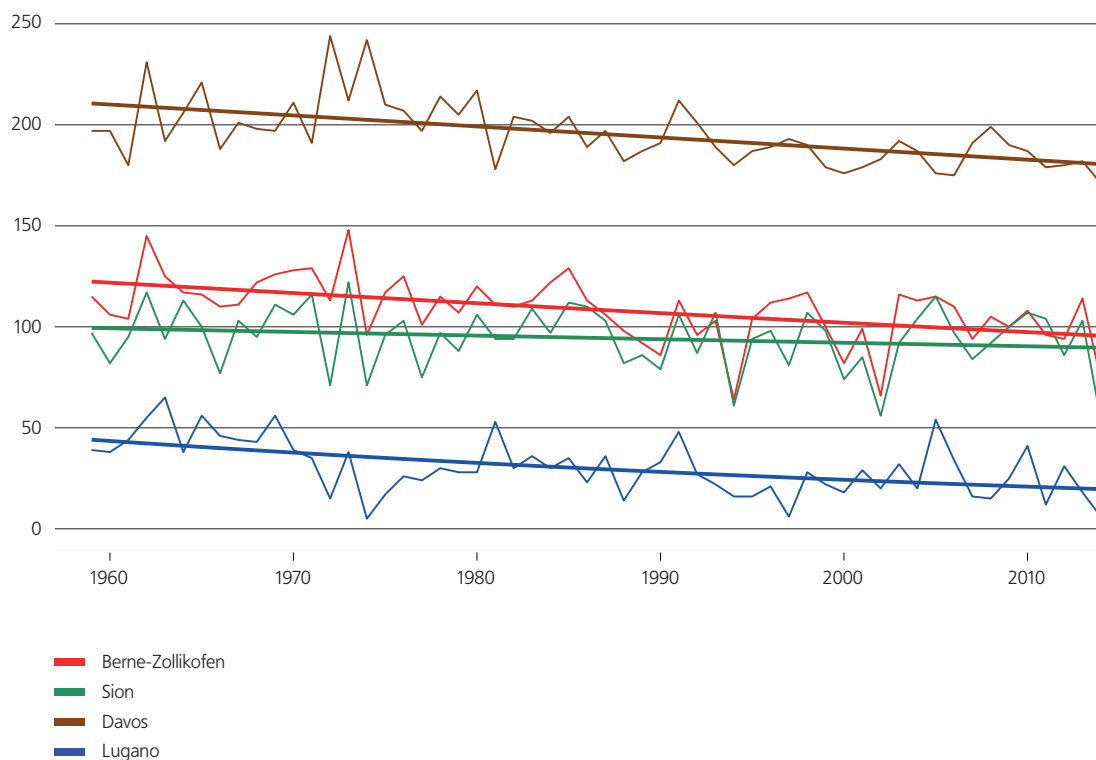


Figure 5.4
Evolution dans le temps
des jours de gel (jours de
l'année civile affichant une
température minimale
<0 °C) pour les stations
de Berne, Sion, Davos
et Lugano.

Journées d'été

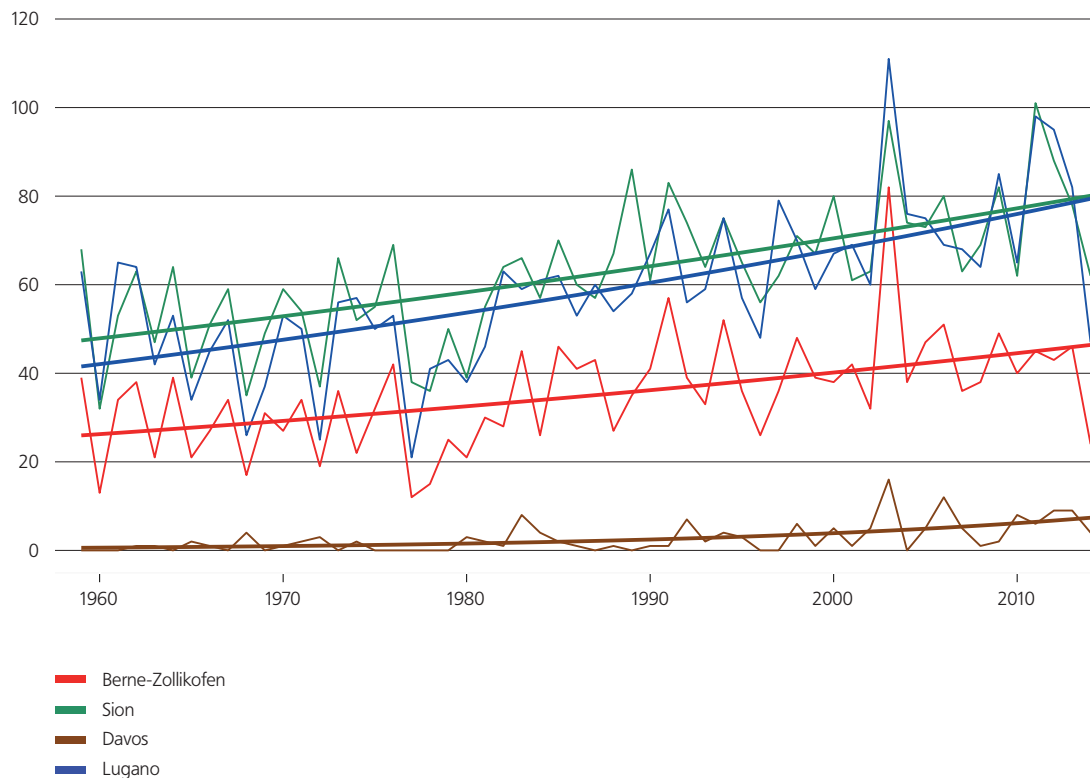
Les deux mois au cœur de l'été 2014, juillet et août, ont été pluvieux et inhabituellement gris. Ils ont entraîné un nombre réduit de journées d'été. A Berne au nord du Plateau il a été comptabilisé 24 journées d'été (norme 30), à Davos dans les Alpes orientales 1 (norme 4) et à Lugano au sud de la Suisse 47 (norme 50). A Sion en Valais, malgré les mois au cœur de l'été également inhabituellement gris, le nombre de journées d'été a été un peu plus élevé que la moyenne avec 62 journées (norme 55).

Le fort réchauffement estival qui a débuté depuis la fin des années 1980, a impliqué une forte augmentation des journées d'été, notamment sur les régions de plaine de la Suisse. Ainsi, le nombre de journées d'été cette année est particulièrement bas en comparaison avec les deux dernières décennies. Des valeurs aussi basses avaient été enregistrées pour la dernière fois en 1996.

Etant donné le réchauffement important noté au printemps et en été depuis les années 1980, il faut s'attendre à une hausse du nombre de journées d'été. Cette tendance apparaît clairement dans les quatre séries de mesures représentées ici. Par décennie, on observe quatre journées d'été de plus à Berne, six à Sion et à Lugano. A Davos, la hausse est d'une à deux journées d'été par décennie.

Selon les scénarios climatiques actuels et sans mesures efficaces d'intervention à l'échelle globale, il est attendu pour la période 2077-2099, 60 à 80 jours d'été pour la région de Berne, plus de 100 pour les régions de Sion et de Lugano et environ 15 pour la région de Davos [33].

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



Limite du zéro degré

La limite du zéro degré climatologique (calculée ici par des stations de mesures au sol, voir annexe) se situe dans la moyenne des années 1961 à 2013 vers 775 m en hiver, aux alentours de 1960 m au printemps, à environ 3360 m en été et à un peu plus de 2450 m en automne.

La limite du zéro degré a considérablement grimpé l'hiver, au printemps et en été au cours de la période 1961–2014 (p-valeurs <0.05). Selon la saison, la limite augmente de 40 (automne) à 75 m environ (printemps) tous les 10 ans.

De manière générale, ces valeurs correspondent à une élévation de la limite du zéro degré de 150 à 200 m environ par degré de réchauffement.

Au cours de l'hiver 2013/14, la limite du zéro degré s'est située vers 1150 mètres, se plaçant au 3ème rang depuis la série de données en 1961, soit nettement au-dessus de l'altitude

moyenne, mais aussi au-dessus de la valeur attendue dans la tendance linéaire. Au cours du printemps 2014, cette limite s'est située vers 2150 mètres, soit nettement au-dessus de l'altitude moyenne, mais exactement au sein de la tendance linéaire attendue à long terme. Au cours de l'été 2014, elle a été vers 3350 mètres, proche de la moyenne des années 1961–2014, mais bien au-dessous de la valeur attendue dans la tendance linéaire à long terme.

Au cours de l'automne 2014, la limite du zéro degré s'est située vers 2800 mètres, soit probablement au 3ème rang depuis 1961, très nettement au-dessus de la moyenne et de la valeur attendue dans la tendance linéaire. L'altitude saisonnière de la limite du zéro degré décrit assez bien les températures saisonnières relevées (troisième hiver le plus chaud depuis 1864, printemps doux (parmi les 10 plus chauds en Suisse), été frais et deuxième automne le plus chaud depuis 1864).

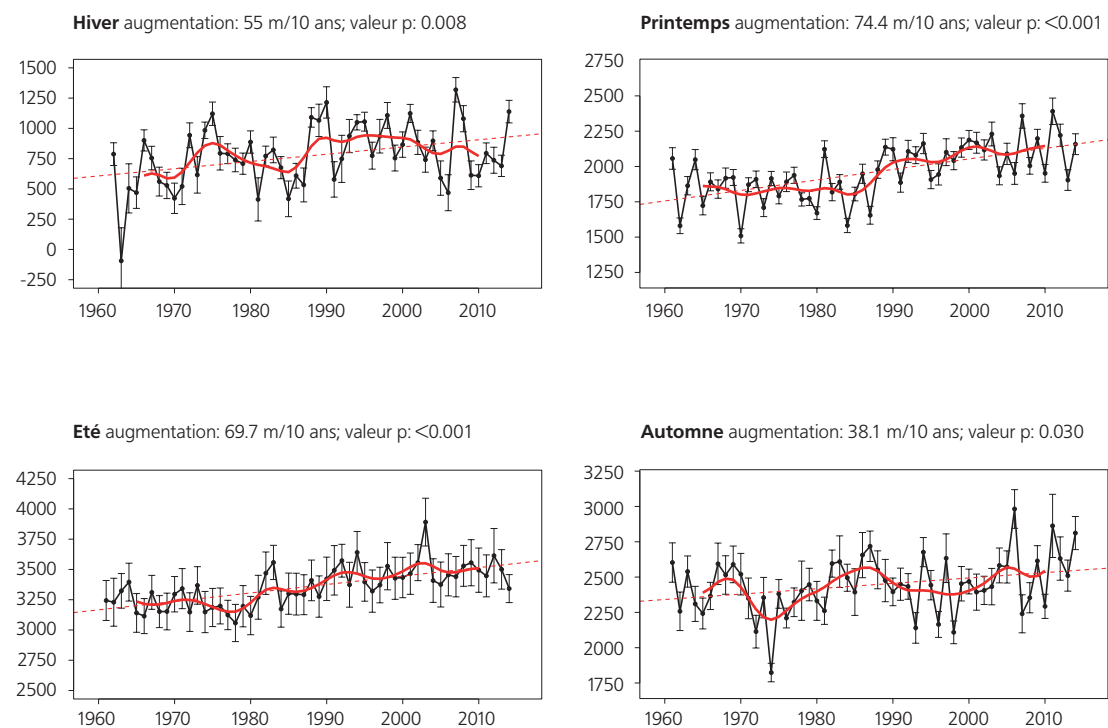


Figure 5.6
Evolution de la limite saisonnière du zéro degré (ligne noire en mètres d'altitude), avec la tendance linéaire (ligne rouge) et les données de la tendance (modification et importance). Les lignes grises verticales représentent les barres d'erreur du calcul de la limite du zéro degré pour chaque année.

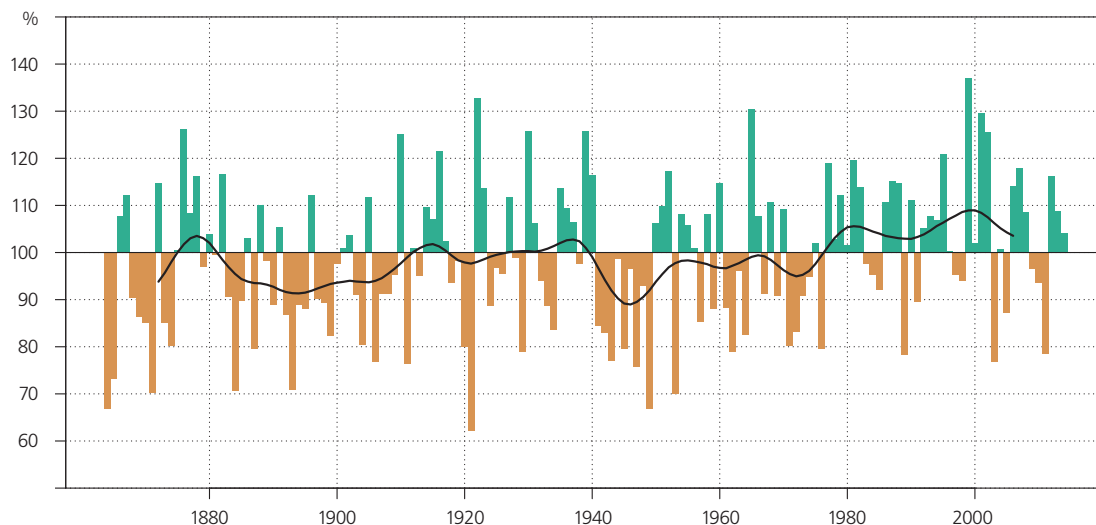
En 2014, les quantités de précipitations ont été légèrement excédentaires sur le nord du pays (Plateau) (Figure 5.7). Les précipitations ont été conséquentes, notamment en été avec un mois de juillet particulièrement pluvieux. L'hiver a également été un peu plus humide. Le nord du pays a connu des précipitations déficitaires au printemps. Les précipitations automnales ont été proches de la norme (Figure 5.8).

Le sud du pays a vécu sa troisième année la plus pluvieuse depuis le début des mesures en 1864 (Figure 5.9). Ce sont surtout l'hiver avec des précipitations record et l'automne très pluvieux qui ont contribué à ce résultat (Figure 5.10). L'été a aussi connu des précipitations régionalement excédentaires, alors que les précipitations du printemps sont restées inférieures à la norme.

Sur le Plateau, on observe une tendance de précipitations à long terme (1864–2013) de +7.8 %/100 ans (+0.8%/10 ans). Sur le plan saisonnier, une tendance significative n'apparaît toutefois qu'en hiver (+21%/100 ans, soit +2.1%/10 ans). Au printemps, en été et en automne, on ne relève aucune tendance à long terme (1864–2013) à une éventuelle augmentation ou baisse des précipitations. La Suisse méridionale ne

montre aucune tendance à long terme à une hausse ou à une diminution des précipitations, pas plus sur base annuelle que sur base saisonnière. Le Tableau 5.4 et le Tableau 5.5 présentent une vue d'ensemble des tendances de précipitations sur les versants nord et sud des Alpes.

Figure 5.7
Evolution à long terme des sommes des précipitations annuelles moyennes sur le Plateau. Est représenté le rapport des sommes des précipitations annuelles à la norme 1961–1990. Les séries de mesures homogènes de Genève, Bâle, Berne et Zurich servent de base de données. La courbe noire indique la moyenne pondérée sur 20 ans.



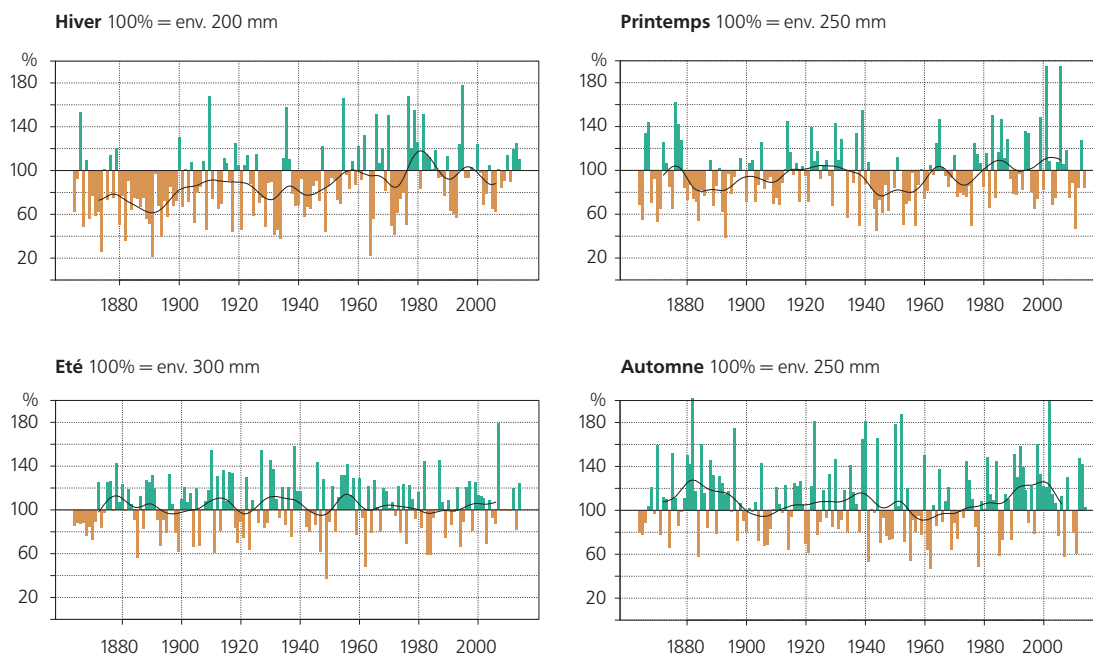


Figure 5.8

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

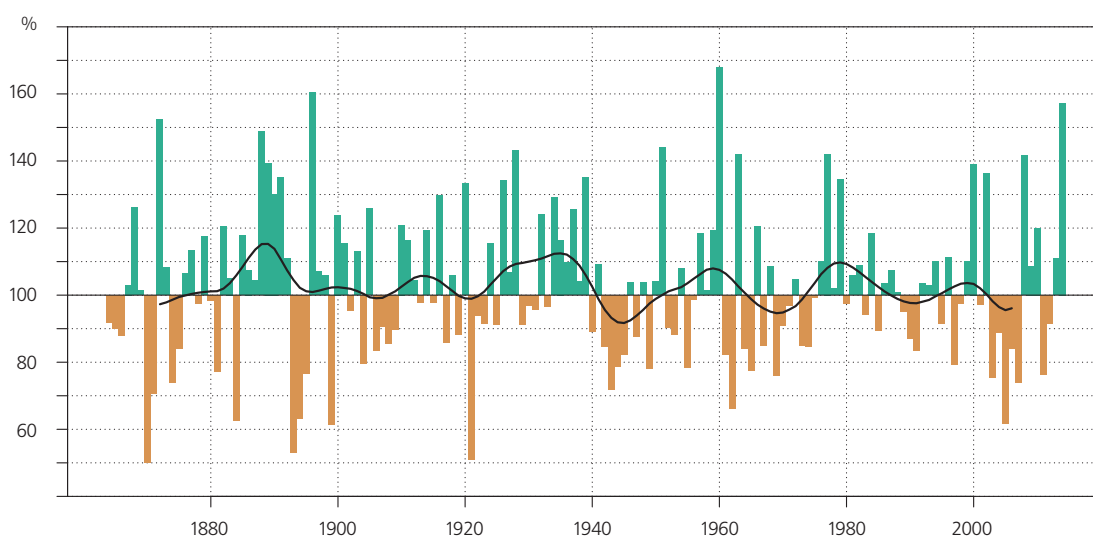


Figure 5.9

Evolution à long terme des sommes des précipitations annuelles moyennes à Lugano (Suisse méridionale). Est représenté le rapport des sommes des précipitations annuelles à la norme 1961-1990. Les séries de mesures homogènes de Lugano servent de base de données. La courbe noire indique la moyenne pondérée sur 20 ans.

Figure 5.10

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

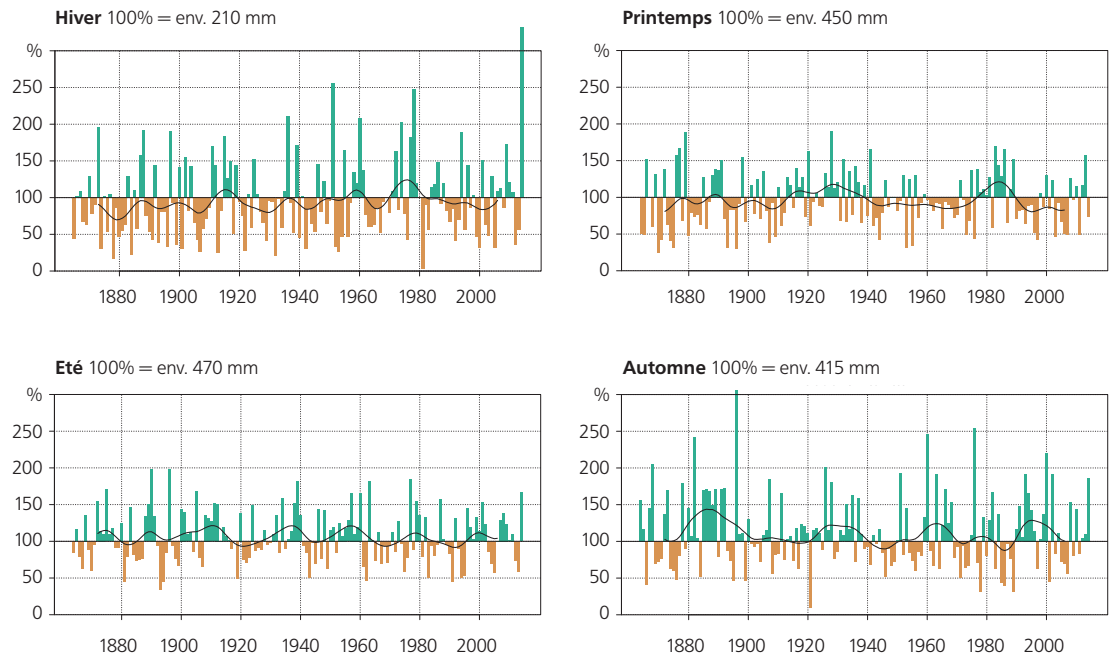


Tableau 5.4

Tendances de précipitations saisonnières et annuelles en pour cent par tranche de 10 ans au cours des périodes 1864–2014, 1901–2014 et 1961–2014, calculées pour le Plateau. Les spécifications fortement significatif, significatif et non significatif sont expliquées dans la section précipitation sous 5.3 origine des données et méthodes.

Période	Printemps mars-mai %	Été juin-août %	Automne septembre-novembre %	Hiver décembre-février %	Année janvier-décembre %
1864–2014	+0.7 non significatif	+0.2 non significatif	+0.1 non significatif	+2.2 fortement significatif	+0.8 fortement significatif
1901–2014	+0.2 non significatif	-0.4 non significatif	+1.1 non significatif	+1.8 significatif	+0.8 non significatif
1961–2014	-0.6 non significatif	+0.9 non significatif	+4.9 non significatif	+0.7 non significatif	+2.1 non significatif

Tableau 5.5

Tendances de précipitations saisonnières et annuelles en pour cent par tranche de 10 ans au cours des périodes 1864–2014, 1901–2014 et 1961–2014, calculées pour la Suisse méridionale. La spécification non significatif est expliquée dans la section précipitation sous 5.3 origine des données et méthodes.

Période	Printemps mars-mai %	Été juin-août %	Automne septembre-novembre %	Hiver décembre-février %	Année janvier-décembre %
1864–2014	+0.3 non significatif	0.0 non significatif	-0.6 non significatif	+1.1 non significatif	-0.1 non significatif
1901–2014	-0.9 non significatif	-0.8 non significatif	0.0 non significatif	+1.0 non significatif	-0.2 non significatif
1961–2014	-0.4 non significatif	+3.5 non significatif	+3.3 non significatif	+0.9 non significatif	+1.7 non significatif

Sans mesures d'intervention efficaces, à partir de 2050, une baisse considérable des précipitations est prévisible en Suisse. D'ici à la fin du siècle, cette baisse pourrait se situer aux alentours de 30% à l'Ouest et au Sud selon les scénarios

climatiques actuels, à la lumière de la moyenne de la période 1981–2010. En revanche, l'hiver, selon les scénarios actuels, la tendance sera plutôt à un accroissement des précipitations, en particulier sur le versant sud des Alpes [23].

Jours de fortes précipitations

Le nombre de jours avec de fortes précipitations a été proche de la norme pour les lieux de mesures de Berne (10, norme 10), Sion (4, norme 5) et Davos (11, norme 10). Pour le lieu de mesures de Lugano, le nombre de jours inhabituellement élevé avec fortes précipitations qui s'élève à 42 (norme 26) montre que le Sud des Alpes a connu une année très pluvieuse.

Comme pour le régime de précipitations en général (à l'exception de l'hiver sur le Plateau, voir Tableau 5.4), aucune tendance significative ne peut être observée en ce qui concerne les journées de fortes précipitations aux stations de mesures mentionnées ici.

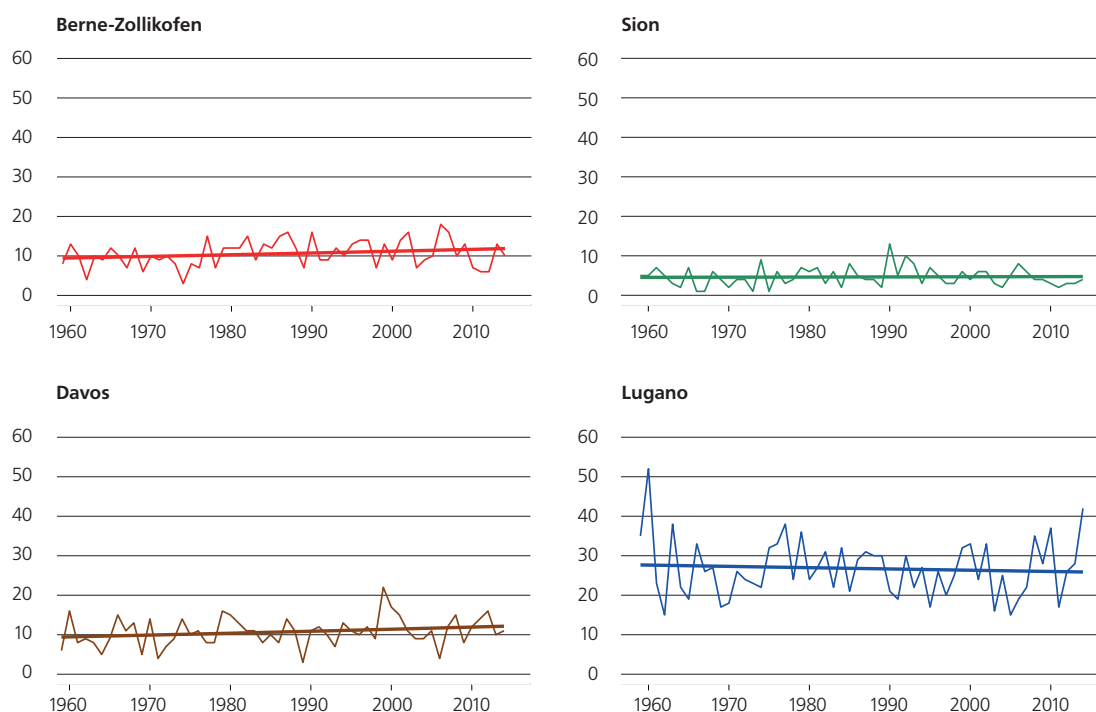


Figure 5.11
Nombre de jours de fortes précipitations (≥ 20 mm) au cours de l'année civile pour les stations de Berne, Sion, Davos et Lugano.



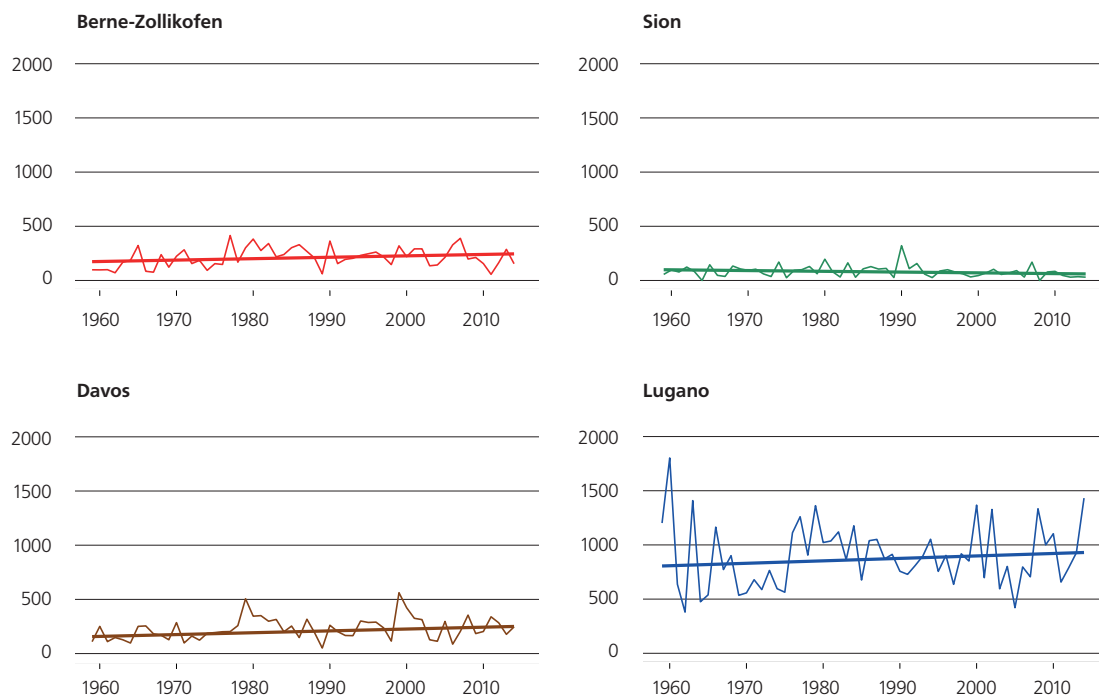
Sur le site Web de MétéoSuisse, vous trouverez des informations complémentaires sur l'évolution des précipitations en Suisse:
www.meteosuisse.admin.ch/home/climat/actuel/tendances-climatiques.html
www.meteosuisse.admin.ch/home/climat/actuel/tendances-climatiques/tendances-observees-aux-stations.html

Précipitations des journées très humides

La somme des précipitations des journées très humides en 2014 a été nettement au-dessous de la norme pour les lieux de mesures de Berne (154 mm, norme 216 mm) et de Sion (30 mm, norme 98 mm). Pour le lieu de mesures de Davos, cette somme a été légèrement au-dessus de la moyenne (247 mm, norme 214 mm). A Lugano, la somme des précipitations des journées très humides a massivement dépassé la norme (1432 mm, norme 858 mm).

Il s'agit de la deuxième valeur la plus élevée depuis le début de la série de mesures mentionnée ici en 1959. Dans l'évolution à long terme des séries de mesures mentionnées, seul le lieu de Davos montre une tendance significative.

Figure 5.12
Somme des précipitations annuelles de toutes les journées très humides pour les stations de Berne, Sion, Davos et Lugano. Sont considérées celles dont la somme des précipitations journalières fait partie des 5% des précipitations quotidiennes maximales. La période de référence va de 1961 à 1990.



Périodes de sécheresse

Comme les deux années précédentes, 2014 n'a pas connu de période de sécheresse particulièrement longue par rapport à la norme 1961–1990. Les plus longues périodes de sécheresse pour les lieux énumérés ici ont été au-dessous de la norme (Berne 17 jours, norme 22; Sion 26 jours, norme 30; Davos 14 jours, norme 22; Lugano 23 jours, norme 33).

En termes d'évolution à long terme, aucune des séries de mesures mentionnées ne fait apparaître une tendance significative indiquant un rallongement des périodes de sécheresse.

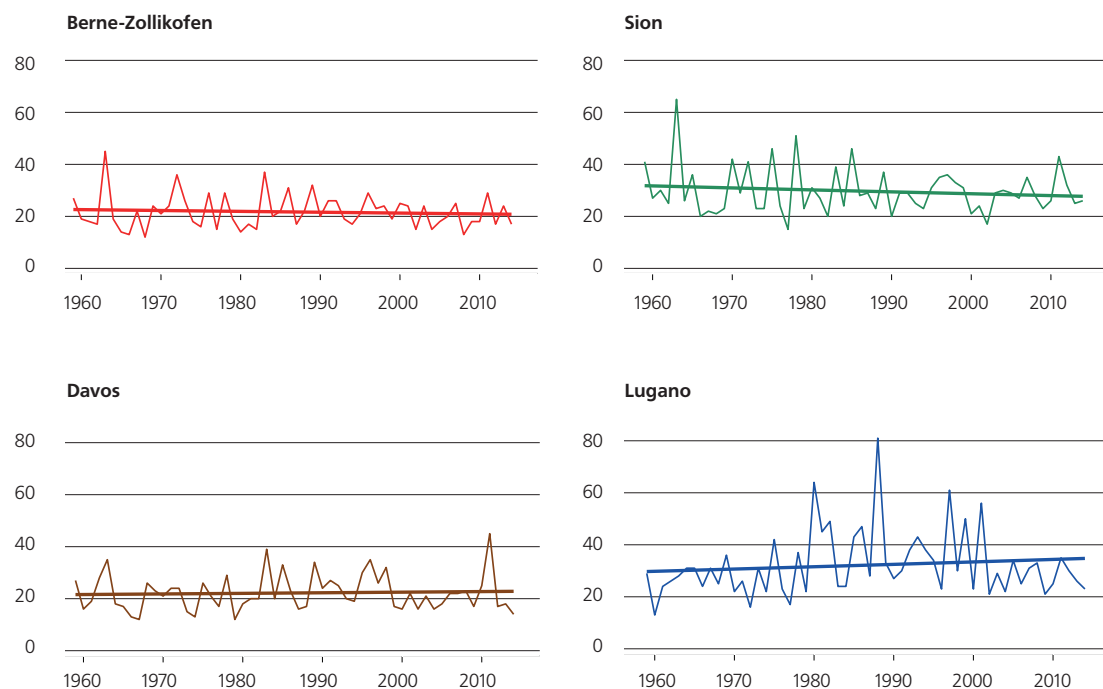


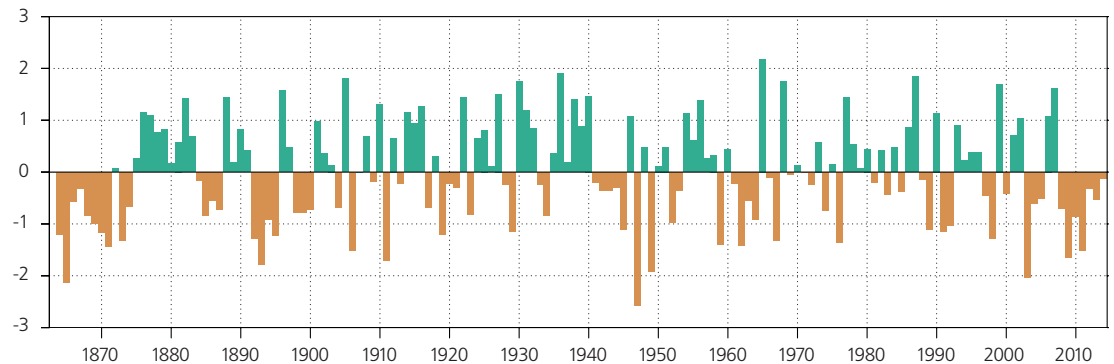
Figure 5.13
**Durée (nombre de jours)
de la plus longue période
de sécheresse par année
civile pour les stations
de Berne, Sion, Davos
et Lugano**

Indice de sécheresse

La sécheresse peut être définie de différentes manières. De manière tout à fait générale, elle se définit comme un déficit de précipitations sur une longue période pouvant aller de plusieurs mois à plusieurs saisons. Selon la durée de la sécheresse, la pénurie d'eau peut affecter diversement différents domaines (agriculture et sylviculture, approvisionnement en eau et en énergie, navigation). Le graphique ici présente le bilan hydrique des mois d'avril à septembre sur la base du SPEI («standardized precipitation evapotranspiration index»).

Le semestre d'été (période de végétation) est la période déterminante pour l'agriculture. Les données actuelles de la station de Berne/Zollikofen montrent que les dernières années ont été plus sèches que la moyenne à long terme pendant la période de végétation, alors que l'année 2014 a été très proche de cette valeur moyenne. Les valeurs SPEI les plus basses (1947, 1865, 2003, 1949, 1893, 1911) de cette série correspondent très exactement aux années au cours desquelles l'agriculture a subi les dégâts les plus importants. Les périodes très prononcées de SPEI négatif correspondent bien aux sécheresses répertoriées au cours des 150 dernières années [19], [18].

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 moyenne, les valeurs négatives, des conditions plus sèches (1864–2014).



Atmosphère libre

Limite du zéro degré

La médiane annuelle de la limite du zéro degré en atmosphère libre, déterminée par les ballons-sondes quotidiens, a atteint en 2014 une altitude de 2760 mètres, la deuxième valeur la plus élevée de la série de mesures depuis 1959. Seule l'année 2011 a connu une valeur plus élevée immédiatement après la très basse valeur relevée en 2010 avec une limite du zéro degré qui était plus de 400 mètres plus basse. Cela démontre la forte variabilité d'une année à une autre.

L'évolution à long terme de la moyenne annuelle de la limite du zéro degré en atmosphère libre suit quasiment l'évolution de la température moyenne annuelle en Suisse. Ce qui frappe plus particulièrement, c'est le changement rapide qui s'opère depuis la fin des années 1980. La moyenne annuelle de la limite du zéro degré en atmosphère libre a augmenté de manière significative au cours de la période 1959–2014, avec une hausse de 69 m tous les 10 ans, une valeur cohérente avec les tendances saisonnières de la limite du zéro degré fournies par les stations de mesures au sol (chapitre 5.1.1).

Altitude de la tropopause

La médiane annuelle de la hauteur de la tropopause a atteint en 2014 une altitude de 11'330 mètres, ce qui est supérieure à la moyenne de la série de mesures depuis 1959. La situation extrêmement basse de 2010 et le maximum consécutif en 2011, attestent de la grande variabilité d'une année sur l'autre, qui rappelle fortement celle de la limite du zéro degré. La moyenne annuelle de l'altitude de la tropopause a augmenté de manière significative au cours de la période 1959–2014, avec une hausse de 53 m tous les 10 ans. C'est parfaitement conforme aux tendances saisonnières de la limite du zéro degré.

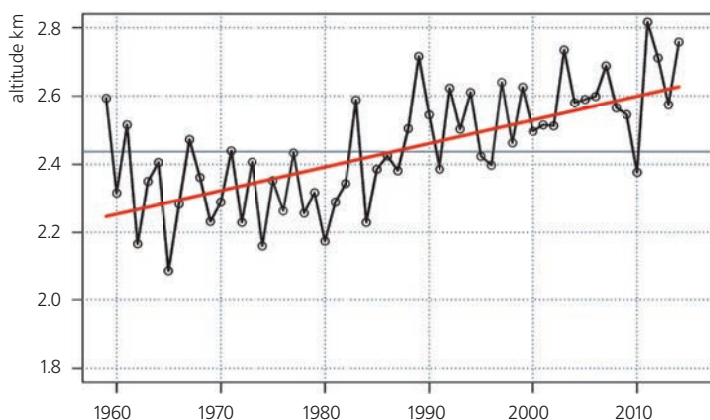


Figure 5.15

Moyenne annuelle de la limite du zéro degré 1959–2014 telle qu'obtenue par des lâchers quotidiens de ballons-sondes à la station aérologique de Payerne. La ligne grise indique la moyenne 1959–2014.

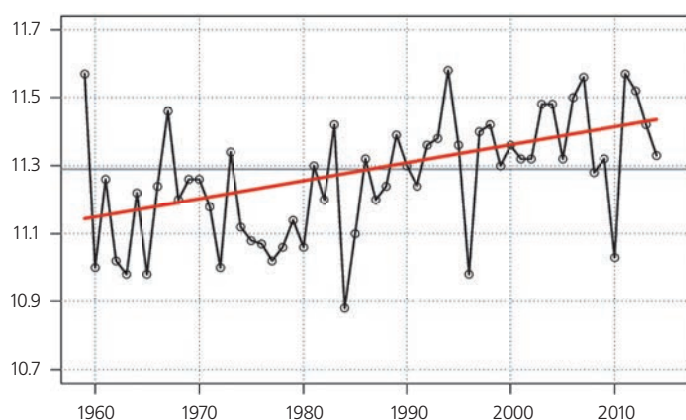


Figure 5.16

Moyenne annuelle de l'altitude de la tropopause 1959–2014 telle qu'obtenue par des lâchers quotidiens de ballons-sondes à la station aérologique de Payerne. La ligne grise indique la moyenne 1959–2014.

Composition de l'atmosphère

Série de mesures de l'ozone d'Arosa

Avec la série de mesures d'Arosa, la Suisse dispose de la plus longue série au monde de mesures de la colonne d'ozone dans l'atmosphère. Du début des mesures en 1926 à 1975 environ, 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 20 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 l'ozone. Ces dernières années, on observe une stabilisation de l'ozone total [8] avec une valeur moyenne entre 1995 et aujourd'hui se situant aux alentours de 315 DU

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

Figure 5.17
Colonne d'ozone total à Arosa au cours de la période 1926–2014. 100 unités Dobson (Dobson Unit) = 1 mm d'ozone pur à 1013 hPa et 0 °C.



Mesures de l'ozone à Payerne

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

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

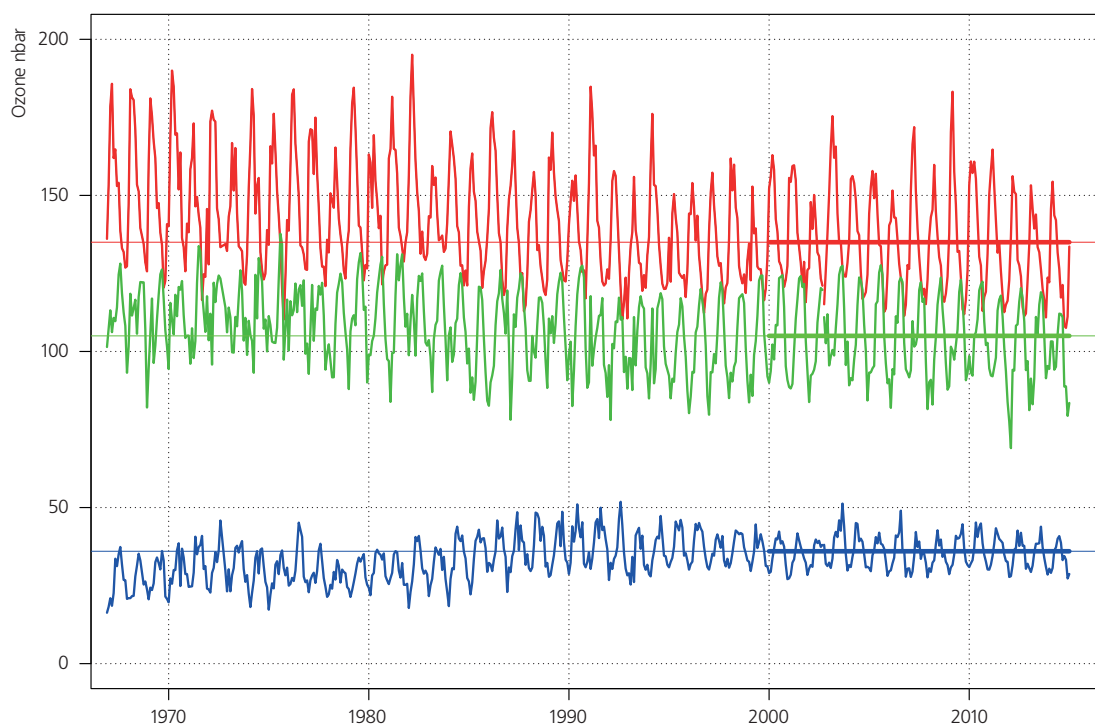


Figure 5.18

Concentration mensuelle d'ozone à trois altitudes durant la période 1967–2014. Bleu: 3 km; rouge: 22 km; vert: 27 km. La concentration d'ozone est donnée en pression partielle exprimée en nanobars (nbar).



Beaucoup d'humidité dans les basses couches avec les sommets les plus élevés qui sortent des nuages. Stephan Siegrist avec Dani Arnold sur le Nesthorn, Valais.

Photo: visualimpact.ch; Thomas Senf

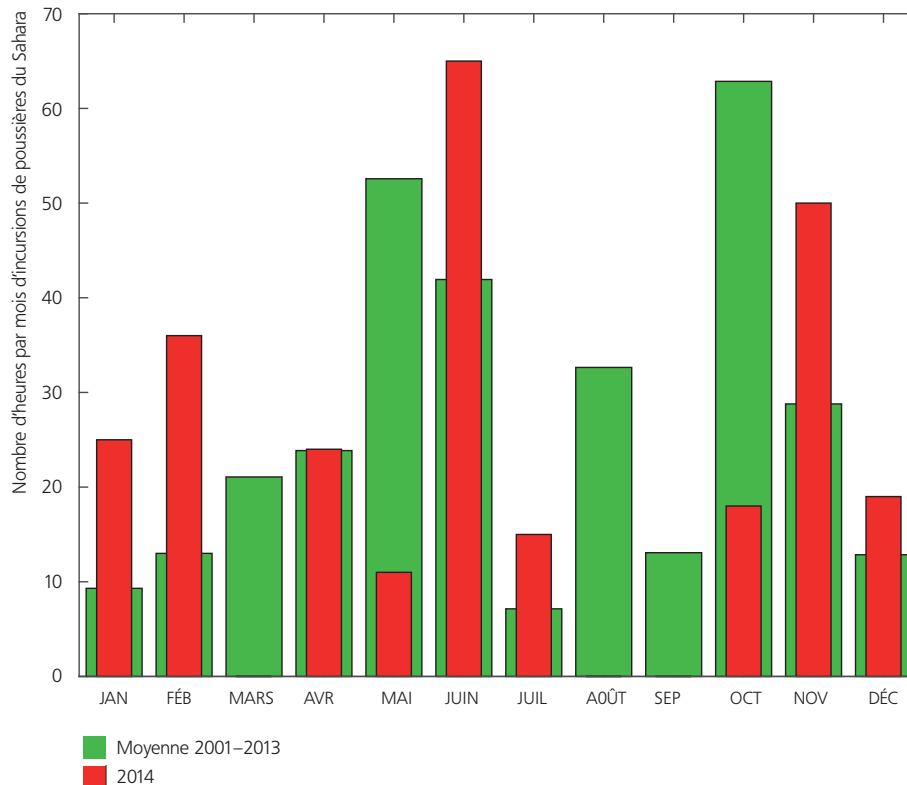


Poussière du Sahara

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

Une climatologie sur douze ans des incursions de poussière du Sahara a été établie. Chaque année, entre 10 et 40 incursions sont mesurées, correspondant à 200 à 650 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 dans les Alpes. L'été, ces incursions sont plus rares et l'hiver, elles sont de très courte durée. La plupart des incursions (48%) ne durent que quelques heures alors qu'un quart (25%) dure plus d'un jour.

Figure 5.19
Nombre d'heures par mois d'incursions de poussières minérales en provenance du Sahara à la station de mesure du Jungfraujoch, la climatologie calculée à partir des mesures 2001–2013 est représentée en vert et les valeurs mensuelles 2014 en rouge. En 2010–2011, les valeurs mesurées n'ont pas pu être utilisées pendant de longues périodes rendant impossible l'enregistrement des SDE.



Intensité des pollens

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

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

de la saison dépend essentiellement de la météo durant la floraison des graminées.

La saison pollinique 2014 a été, pour le bouleau et les graminées, l'une des plus fortes années de floraison (voir chapitre 2). La saison des pollens du bouleau a été très intense, notamment au Tessin et dans quelques stations de mesures de Suisse centrale et orientale. La saison pollinique des graminées a également été un peu plus forte que la moyenne dans toute la Suisse. Au Tessin, la tendance montre ces dernières années une augmentation des pollens des graminées. Cependant, les valeurs absolues sont nettement plus faibles qu'au Nord des Alpes.



Figure 5.20
Intensité de la dispersion des pollens de bouleau (à gauche) et de graminées (à droite) dans les régions au Nord des Alpes entre 1982 et 2014 et au Tessin entre 1991 et 2014. L'indice pollinique saisonnier est la somme des concentrations quotidiennes de pollen. La courbe noire indique la moyenne pondérée sur 5 ans.

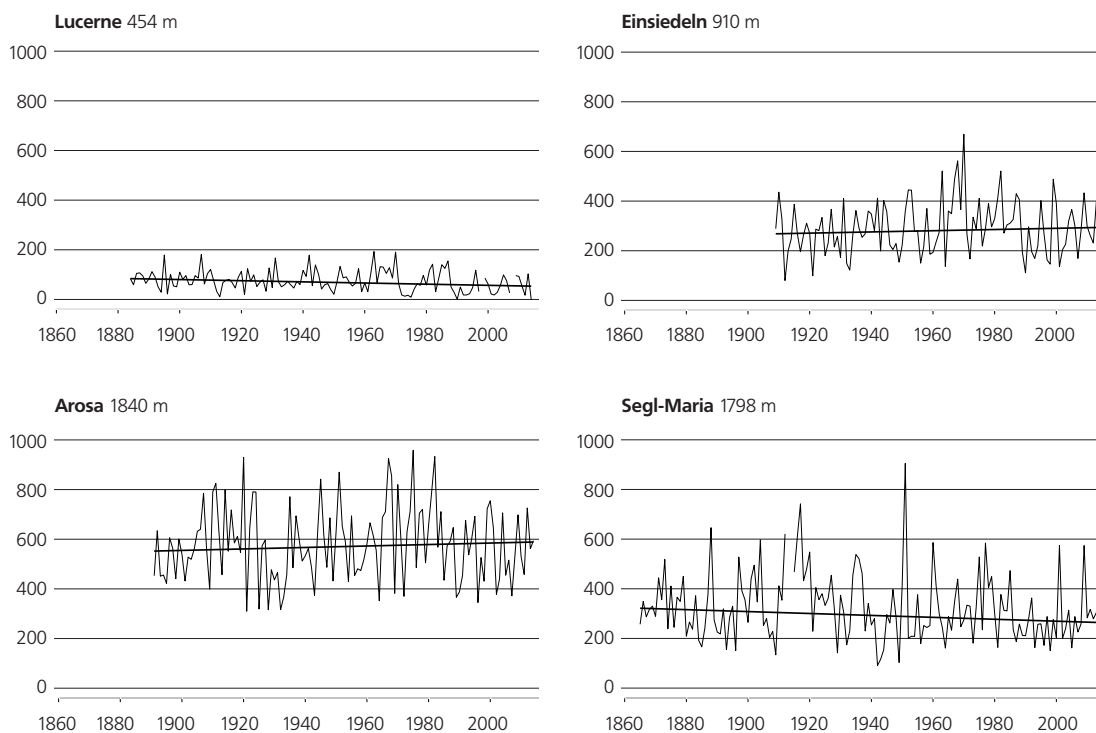
5.2 Terres émergées

Sommes de neige fraîche et journées de neige fraîche

L'hiver doux 2013/14 a été caractérisé par d'énormes quantités de neige au Sud (ch. 3.2), en raison des courants dominants de secteur sud et sud-ouest. A la station de mesures de Segl-Maria en Haute-Engadine, la somme de neige fraîche au cours du semestre hivernal d'octobre à mars a atteint 5.71 m (norme 3.12 m). En revanche, pour les régions de plaine du Nord des Alpes, il n'a régionalement pas du tout neigé, comme cela a été le cas à Lucerne (norme 83 cm). Le long des versants nord des Alpes également, les quantités de neige fraîche du semestre d'hiver sont parfois restées nettement au-dessous de la norme. A Einsiedeln, il est tombé 1.31 m de neige (norme 3.41 m) et à Arosa, à plus haute altitude, 5.94 m (norme 6.31 m).

En ce qui concerne les sommes de neige fraîche tombées au cours du semestre d'hiver, aucune tendance significative ne peut être relevée aux stations de mesures d'Arosa, Einsiedeln et Segl-Maria. A Lucerne, on observe une diminution significative de 2.3 cm/10 ans. Il est toutefois à noter que les enregistrements journaliers et mensuels des quantités de neige ne sont pas disponibles sous la forme de données homogènes.

Figure 5.21
Sommes de neige fraîche en cm durant le semestre d'hiver du début des mesures à 2014 dans les stations de mesures de Lucerne (454 m d'altitude), d'Einsiedeln (910 m), d'Arosa (1840 m) et de Segl-Maria (1798 m).



Journées de neige fraîche

Le nombre de journées de neige fraîche mesurable a été inférieure à la moyenne pour les régions de basse altitude (0 journée à Lucerne, norme 19 journées; 31 journées à Einsiedeln, norme 45 journées). Pour les stations sélectionnées à plus haute altitude, le nombre de journées de neige fraîche mesurable a été proche de la norme (74 journées à Arosa, norme 71 journées; 41 journées à Segl-Maria, norme 42 journées).

Les séries de mesures d'Arosa (+1.8 jour/10 ans) et Einsiedeln (+0.7 jour/10 ans) indiquent une tendance significative à l'augmentation du nombre de jours de neige fraîche. Aucune tendance significative ne se dégage pour les deux stations de mesures de Lucerne et Segl-Maria. Ici aussi, il faut mentionner que les enregistrements journaliers et mensuels des quantités de neige ne sont pas disponibles sous la forme de données homogènes.

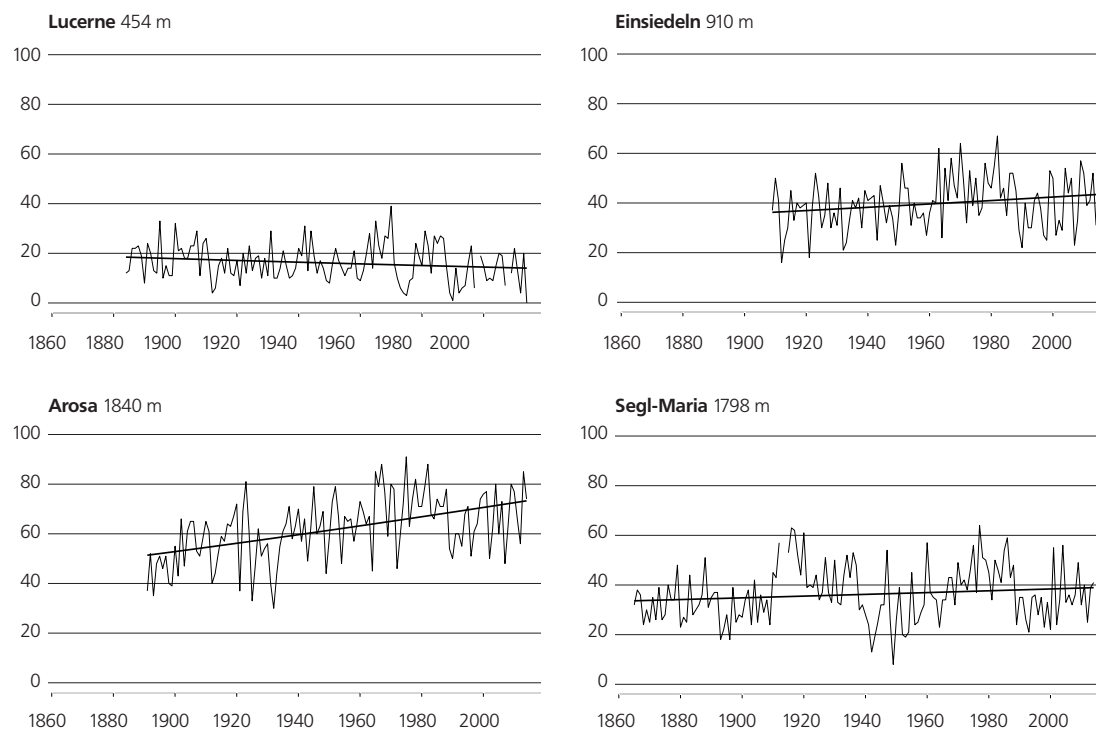


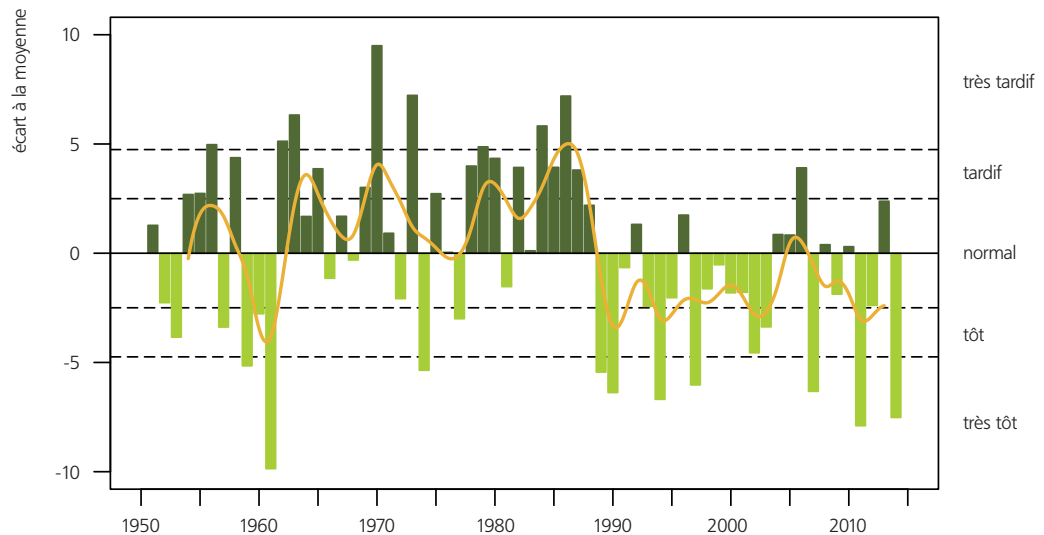
Figure 5.22
Nombre de jours de neige fraîche au semestre d'hiver du début des mesures à 2014 dans les stations de mesures de Lucerne (454 m d'altitude), d'Einsiedeln (910 m), d'Arosa (1840 m) et de Segl-Maria (1798 m).

Indice du printemps

L'indice du printemps est une valeur permettant de caractériser le développement de la végétation au printemps par rapport aux années précédentes et à la moyenne pluriannuelle. Le développement de la végétation au printemps dépend essentiellement des températures relevées au cours de l'hiver et au printemps [7]. Le développement de la végétation au printemps 2014 a été nettement plus précoce que la moyenne 1981–2010 et a été classé comme très précoce. Un développement encore plus précoce n'a été constaté qu'en 1961 et 2011. La végétation a connu une avance d'une à trois semaines par rapport à la moyenne, notamment en mars et avril.

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

Figure 5.23
Etat annuel du développement de la végétation en Suisse (indice du printemps) 1951–2014 en comparaison à la moyenne pluriannuelle. La courbe montre la moyenne pondérée sur 5 ans.



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

La date de floraison des cerisiers dans les environs de la station de Liestal est notée depuis 1894. On observe depuis 1990 environ une tendance à une floraison plus précoce dans cette série. La date du 25 mars 2014 a été la huitième date la plus précoce de toute la série.

La série historique de la date de l'apparition de la première feuille du marronnier officiel à Genève, qui existe depuis 1808, revêt également une grande importance. C'est la plus longue série phénologique de Suisse. A partir de 1900 environ, on observe une nette tendance à l'apparition plus précoce de cette feuille. En 2014, l'apparition de la première feuille du marronnier s'est produite le 5 mars. L'apparition de la feuille du marronnier dépend très fortement des températures. D'autres facteurs comme l'âge de l'arbre ou le climat urbain peuvent aussi jouer un rôle.

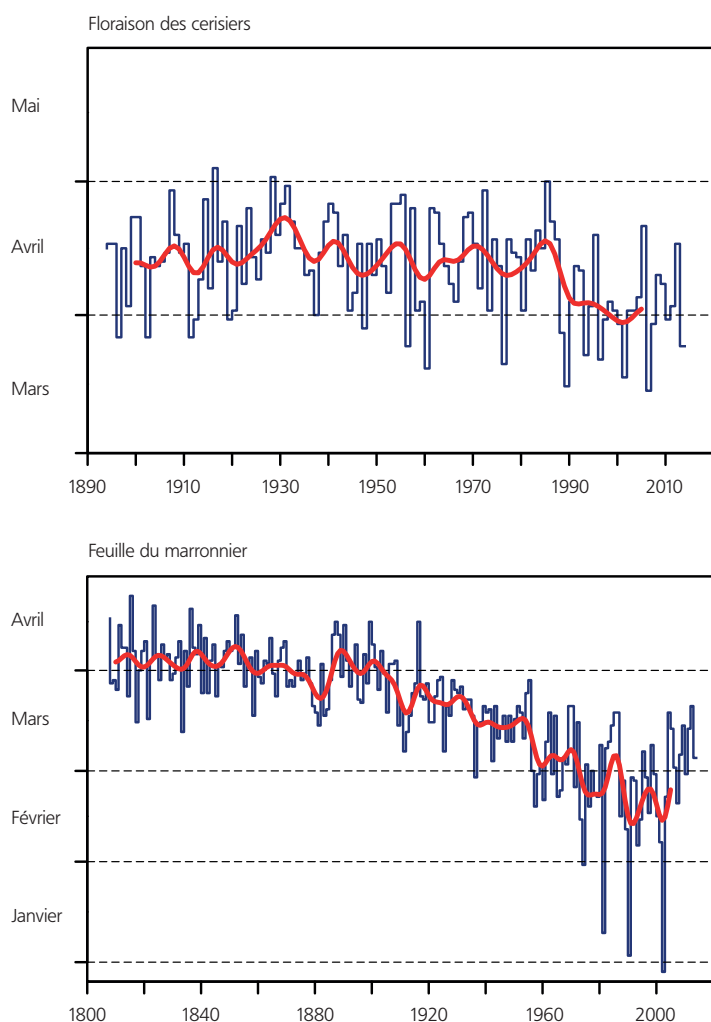


Figure 5.24

Floraison des cerisiers près de Liestal durant la période 1894–2014 (ci-dessus) et apparition de la première feuille du marronnier à Genève au cours de la période 1808–2014 (ci-dessous).

Sous des conditions anticycloniques avec une mer de nuages, Stephan Siegrist conduit un client vers le Mittellegigrat am Eiger, Oberland bernois.

Photo: visualimpact.ch; Thomas Ulrich





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 [4]. 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. Les analyses se basent sur 12 séries de mesures homogènes [2] du réseau suisse de mesures climatiques (Swiss National Basic Climatological Network; Swiss NBCN [1]). Pour les analyses des tendances, il est toujours indiqué à quel point la tendance est nette. On utilise pour ce faire les niveaux «fortement significatif» et «significatif». «Fortement significatif» indique que l'on peut dire avec une très grande certitude qu'on se trouve en présence d'une tendance (valeur $p \leq 0.01$; la marge d'erreur est de 1% ou moins). «Significatif» indique que l'on peut dire avec une grande certitude qu'on se trouve en présence d'une tendance (valeur $p > 0.01$ et ≤ 0.05 ; la marge d'erreur se situe entre 1% et 5%). «Non significatif» indique qu'il n'y a pas de tendance certaine par rapport au seuil de signification choisi (valeur $p = 0.05$).

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

La méthode suivante est utilisée pour calculer la limite du zéro degré: pour chaque moment (saisonnier ici, donc l'hiver 1962 par exemple), la limite du zéro degré est déterminée par régression linéaire entre les températures moyennes homogénéisées et l'altitude (avec une évaluation de la marge d'erreur) [6]. La variation dans le temps de la limite du zéro degré est calculée sur la base des différentes valeurs annuelles (tendance en m/10 ans). L'ensemble des 29 stations du réseau suisse de mesures climatiques (Swiss NBCN) sont mises à contribution [1]. Il est à noter que la marge d'erreur dans le calcul de la limite du zéro degré varie fortement en fonction de la saison (barre d'erreur grise dans le graphique). Au printemps et en automne, il est possible de calculer la limite du zéro degré avec une relative précision, étant donné qu'il existe d'assez bons rapports linéaires entre la température et l'altitude et que la limite du zéro degré se situe encore à des altitudes où l'on trouve des stations de mesures. L'hiver et davantage encore l'été, le calcul est plus incertain, pour des raisons différentes néanmoins. L'hiver, le calcul est plus difficile, parce que des lacs froids, le brouillard et des passages de fronts froids perturbent fortement le rapport entre la température et l'altitude et qu'il n'existe pas alors de rapport linéaire franc entre la température et l'altitude. En été, la relation est certes relativement linéaire mais l'altitude de la limite du zéro degré est située bien au-dessus des stations disponibles. La moindre incertitude au niveau du rapport température-altitude a donc une importante incidence sur la marge d'erreur de la limite du zéro degré.

Précipitations

En Suisse, les régimes de précipitations respectifs des versants nord et sud des Alpes sont très différents, vu leurs 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 sur les versants nord et sud des Alpes. L'évolution des précipitations pour toute la Suisse (moyenne des versants nord et sud des Alpes) n'est pas représentée. Les analyses sont basées sur 12 séries de mesures homogènes [2] du réseau suisse de mesures climatiques (Swiss National Basic Climatological Network; Swiss NBCN [1]). Pour les analyses des tendances, il est toujours indiqué à quel point la tendance est nette. On utilise pour ce faire les niveaux «fortement significatif» et «significatif». «Fortement significatif» indique que l'on peut dire avec une très grande certitude qu'on se trouve en présence d'une tendance (valeur $p \leq 0.01$; la marge d'erreur est de 1% ou moins). «Significatif» indique que l'on peut dire avec une grande certitude qu'on se trouve en présence d'une tendance (valeur $p > 0.01$ et ≤ 0.05 ; la marge d'erreur se situe entre 1% et 5%). «Non significatif» indique qu'il n'y a pas de tendance certaine par rapport au seuil de signification choisi (valeur $p = 0.05$).

Jours de fortes précipitations

La notion utilisée de «fortes précipitations» sur la base d'un seuil ≥ 20 mm ne doit pas être confondue avec celle des précipitations extrêmes rares. Chaque année, on enregistre plusieurs fois un volume de précipitations de 20 mm dans la plupart des régions de Suisse. Le phénomène est donc fréquent. On considère comme rare un événement attendu à peu près tous les 10 ans ou davantage. A Berne, c'est le cas à partir de 65 mm environ, à Sion, à partir de 50 mm, à Davos, à partir de 70 mm et à Lugano, à partir de 130 mm de précipitations journalières. Il est toutefois difficile, par essence, de dégager des tendances pour les événements extrêmes en raison même de leur rareté. Plus les événements sont rares, plus il est compliqué de dégager une tendance [5].

Précipitations des journées très humides

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

Indice de sécheresse

Les indices SPI (standardized precipitation index) et SPEI (standardized precipitation evapotranspiration index) montrent les écarts aux précipitations moyennes et au bilan hydrique moyen (différence entre les précipitations et l'évaporation potentielle). Les valeurs positives indiquent des conditions plus humides

que la moyenne, les valeurs négatives, des conditions plus sèches. Le SPI (standardized precipitation index, [20]) mesure l'anomalie de précipitations sur une période donnée (typiquement de 1 à 48 mois) et se calcule à partir des sommes mensuelles de précipitations. Les précipitations cumulées des derniers (1 à 48) mois sont comparées avec les sommes de précipitations relevées au même moment dans le passé. La distribution de ces sommes de précipitations est transformée en une distribution normale standard autour de zéro. La valeur ainsi transformée d'une somme de précipitations donnée constitue la valeur SPI. Le SPEI (standardized precipitation evapotranspiration index, [21]) est calculé de manière analogue au SPI. La différence réside dans le fait que le calcul s'effectue non sur la base des sommes de précipitations sur une période déterminée mais sur la base du bilan hydrique. Le bilan hydrique correspond aux précipitations moins l'évapotranspiration potentielle. Le SPEI est donc le bilan hydrique transformé en distribution normale standard. Selon la définition de la distribution normale standard, les conditions avec un SPI/SPEI inférieur à -1 correspondent à une fréquence d'environ 15%, celles avec une valeur inférieure à -2, à une fréquence d'environ 2%. La sécheresse ou l'excédent hydrique peut dès lors être classé en différentes catégories en fonction des indices:

SPEI	≤ -2.0	extrêmement sec
-2.0	< SPEI ≤ -1.5	très sec
-1.5	< SPEI ≤ -1.0	sec
-1.0	< SPEI < 1.0	normal
1.0	≤ SPEI < 1.5	humide
1.5	≤ SPEI < 2.0	très humide
SPEI	≥ 2.0	extrêmement humide

Limite du zéro degré en atmosphère libre

Dans des conditions atmosphériques normales, la température de l'air diminue avec une hauteur croissante par rapport à la surface de la Terre. Si la température au sol est positive, il existe en altitude une surface où la température est de 0 °C. Au-dessus de cette surface, la température est négative. La hauteur à laquelle se situe la frontière entre températures positives et négatives est qualifiée d'altitude de la limite du zéro degré. En cas d'inversion où la limite du zéro degré est franchie à deux, voire à trois reprises, le point d'intersection le plus élevé est généralement considéré comme altitude de la limite du zéro degré effective selon les directives de l'OMM. Afin d'obtenir des chiffres comparables concernant l'altitude de la limite du zéro degré, même lorsque les températures au sol sont négatives, une valeur théorique est déterminée dans de telles situations météorologiques. Une altitude ou profondeur fictive de la limite du zéro degré située sous la surface de la Terre est calculée à partir de la température au sol indiquée dans le sondage, en supposant un gradient thermique vertical moyen de 0.5 °C par 100 mètres. De la sorte, on obtient des limites du zéro degré qui se situent sous la surface et, en cas de températures au sol de -2.5 °C ou inférieures, même au-dessous du niveau de la

mer et sont donc négatives [29]. L'altitude de la limite du zéro degré figure dans le rapport de chaque radiosondage. Des moyennes mensuelles sont calculées à partir de ces valeurs et ultérieurement utilisées pour le calcul des tendances climatiques.

Intensité des pollens

L'indice pollinique est calculé à partir de la concentration journalière des pollens dans l'air. La quantité de pollen par mètre cube d'air pour le type de pollen considéré est déterminé quotidiennement. Les chiffres journaliers sont ensuite cumulés pour l'ensemble de l'année. La valeur qui en résulte est en définitive sans dimension.

Stations de mesures polliniques utilisées: Suisse centrale et orientale: Bâle, Buchs, Lucerne, Münsterlingen et Zurich. Suisse romande: Berne, Genève, Neuchâtel. Tessin: Locarno et Lugano. Les données représentées sont disponibles depuis 1989 pour le Nord des Alpes (exception pour Berne avec des données à partir de 1993) et depuis 1991 pour le Tessin.

Sommes 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 80 stations réparties sur tout le territoire suisse. L'indice du printemps utilisé ici est déterminé sur la base des dix phases phénologiques suivantes: floraison du noisetier, floraison du pas-d'âne, floraison de l'anémone des bois, déploiement des feuilles du marronnier d'Inde, floraison du cerisier, déploiement des feuilles du noisetier, déploiement des aiguilles du mélèze, floraison de la cardamine des prés, déploiement des feuilles du hêtre et floraison du pissenlit. Les différentes phases phénologiques dépendent bien entendu des aléas de la météo. Ainsi, la floraison du noisetier peut intervenir précocement s'il a fait doux à la fin de l'hiver; inversement, si elle est suivie d'une longue période de froid, cela retardera de nouveau le développement de la végétation. Le développement de la végétation est en outre tributaire de l'altitude. Dans les stations de mesures de basse altitude, où les conditions sont douces, les phases phénologiques interviennent plus tôt qu'à plus haute altitude, où il fait plus froid. Ces nombreuses données d'observation sont structurées et simplifiées par une analyse des principaux composants et fédérées, dans un souci de clarté, en un indice du printemps pour l'ensemble de la Suisse [7].

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] 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.
- [3] North N., Kljun N., Kasser F., Heldstab J., Maibach M., Reutimann J., Guyer M., 2007: Klimaänderung in der Schweiz. Indikatoren zu Ursachen, Auswirkungen, Massnahmen. Umwelt-Zustand Nr. 0728. Bundesamt für Umwelt, Bern.
- [4] www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/CA_3.php
www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/documents/WCDMP_72_TD_1500_en_1.pdf
- [5] 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.
- [6] siehe www.r-project.org
- [7] Studer S., Appenzeller C. and Defila C., 2005: Inter-annual variability and decadal trends in Alpine spring phenology: A multivariate analysis approach. *Climatic Change* 73: 395-414.
- [8] Favaro G., Jeannet P., Stübi R., 2002: Re-evaluation and trend analysis of the Payerne ozone soundings. Veröffentlichungen der MeteoSchweiz Nr. 63. MeteoSchweiz, Zürich.
- [9] Beniston M., 1997: Variations of snow depth and duration in the swiss alps over the last 50 years: Links to changes in large-scale climatic forcings, *Climatic Change* 36 (1997), 281-300.
- [10] Scherrer S.C., Appenzeller C., Latenser M., 2004: Trends in Swiss Alpine snow days: The role of local- and large-scale climate variability. *Geophys. Res. Lett.*, 31, L13215, doi: 1029/2004GL020255.
- [11] Latenser M., Schneebeli M., 2003: Long-term snow climate trends of the Swiss Alps (1931-99). *International Journal of Climatology* 23: 733-750.
- [12] Marty C, 2008: Regime shift of snowdays in Switzerland, *Geophys. Res. Lett.* 35, L12501, doi: 10.1029/2008GL033998.
- [13] Wüthrich C., 2008: Lange Schneemessreihen der Schweiz, Aufarbeitung der längsten Schneemessreihen und Trendanalyse ausgewählter Schneeparameter, Geographisches Institut der Universität Bern, Diplomarbeit.
- [14] University of East Anglia, 2015: Temperature anomaly (from the base period 1961-90) datasets HadCRUT4. www.metoffice.gov.uk/hadobs/hadcrut4/data/current/time_series/HadCRUT.4.3.0.0.annual_ns_avg.txt
- [15] 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.
- [16] Collaud Coen M., Andrews E., Asmi A., Baltensperger U., Bukowiecki N., Day D., Fiebig M., Fjaeraa A.M., Flentje H., Hyvärinen A., Jefferson A., Jennings S.G., Kouvarakis G., Lihavainen H., Lund Myhre C., Malm W.C., Mihapopoulos N., Molnar J.V., O'Dowd C., Ogren J. A., Schichtel B.A., Sheridan P., Virkkula A., Weingartner E., Weller R. and Laj, P. 2013: Aerosol decadal trends – Part 1: In-situ optical measurements at GAW and IMPROVE stations, *Atmos. Chem. Phys.*, 13, 869-894, doi:10.5194/acp-13-869-2013.

- [17] Begert M., Schlegel T., Kirchhofer W., 2005: Homogeneous temperature and precipitation series of Switzerland from 1864 to 2000. *International Journal of Climatology* 25: 65-80.
- [18] 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.
- [19] 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://www.occc.ch/reports_e.html).
- [20] 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.
- [21] 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.
- [22] Seiz G., Foppa N., 2007: Nationales Klima-Beobachtungssystem (GCOS Schweiz). Publikation von MeteoSchweiz und ProClim, 92 S. www.meteoschweiz.admin.ch/web/de/klima/klima_international/gcos/publikationen/Berichte.Par.0026.DownloadFile.tmp/seiz2007.pdf
- [23] CH2011, 2011: Swiss Climate Scenarios CH2011, published by C2SM, MeteoSwiss, ETH, NCCR Climate, and OcCC, Zurich, Switzerland, 88 pp.; www.ch2011.ch
- [24] WMO, 2003: GCOS-82. Second Report on the Adequacy of the Global Observing Systems for Climate in Support of the UNFCCC. WMO TD 1143.
- [25] WMO 2014: WMO Statement on the status of the global climate in 2014 (Draft). www.wmo.int/pages/mediacentre/press_releases/documents/1009_Draft_Statement_2014.pdf
- [26] MEI-Daten unter: www.esrl.noaa.gov/psd/people/klaus.wolter/MEI/table.html
- [27] 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.
- [28] Wright W., 2012: Discussion paper on the calculation of the standard Climate normals: a proposal for a dual system. www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/GCDS_1.php
www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/documents/Rev_discussion_paper_May2012.pdf
- [29] 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).
- [30] MétéoSuisse, 2012: Rapport climatologique 2011. Office fédéral de météorologie et de climatologie MétéoSuisse, Zürich. 68 pp.
- [31] MeteoSwiss, 2015: 2014 Jour par jour. Température, Précipitations, Durée d'ensoleillement. Office fédéral de météorologie et de climatologie MétéoSuisse, Zürich. 6 pp.
- [32] WMO 2015: Warming Trend Continues in 2014. WMO Press Release N° 1, 2 February 2015.
- [33] Zubler E. M., Scherrer S. C., Croci-Maspoli M., Liniger M.A. und Appenzeller C., 2014: Key climate indices in Switzerland; expected changes in a future climate, *Climatic Change*: 123(2), 255-271.

printed in
switzerland



Adresses

Bundesamt für Meteorologie
und Klimatologie MeteoSchweiz
Operation Center 1
Postfach 257
CH-8058 Zürich-Flughafen

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

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

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

Website

www.meteosuisse.admin.ch

Contact

serviceclient@meteosuisse.ch