Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

Rapport climatologique 2012

printed in
switzerland
FSC
www.fsc.org
MIX
Papier aus verantwortungsvollen Quellen
Papier issu de sources responsables
Carta da fonti gestite in maniera responsabile
FSC® C016848
Swiss Climate
CO2neutre
Impression
SC2013060402•www.swissclimate.ch

Rapport climatologique 2012

Editeur

Office fédéral de météorologie et de climatologie
MétéoSuisse
Département climat
Krähbühlstrasse 58
CH–8044 Zurich

klimainformation@meteosuisse.ch
www.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 Thomas Herren, Dr Pierre Jeannet, Dr Eliane Maillard Barras, Dr Rolf Philipona, Dr Simon Scherrer, Thomas Schlegel, Dr Christoph Spirig, Dr René Stübi, Dr Laurent Vuilleumier

Illustration de couverture: «L'automne à la rencontre de l'hiver», vue du Sasso Torrasco au-dessus de Bellinzone et des Alpes Morisciolo vers les Alpes valaisannes. Photo: Stefano Zanini, 16 novembre 2012

Merci de bien vouloir citer le présent rapport comme suit: MétéoSuisse, 2013: Rapport climatologique 2012. Office fédéral de météorologie et de climatologie. MétéoSuisse, Zurich. 70 p.

© MeteoSuisse 2013
ISSN: 2296-1496

Tables des matières

Tables des matières 4

Résumé 5

Summary 6

Nouvelles normes climatiques 1981-2010 9

1 Evolution du climat au cours de l'année 2012 11

2 Diagrammes représentant l'évolution annuelle 21

3 Particularités de l'année 2012 31
3.1 Vague de froid extrême en février 31
3.2 Une trombe spectaculaire sur le lac de Zurich 34
3.3 Beaucoup de neige au début de l'hiver 35

4 Evolution globale du temps en 2012 – un bref aperçu 37
4.1 Encore une année très chaude 37
4.2 L'influence de La Niña 38
4.3 Evénements particuliers 39
4.4 Glaces marines arctiques avec record minimum estival 39

5 Surveillance du climat 41
5.1 Atmosphère 43
5.1.1 Mesures au sol 43
Température 43
Jours de gel 46
Journées d'été 47
Limite du zéro degré 48
Précipitations 49
Jours de fortes précipitations 52
Précipitations des journées très humides 53
Périodes de sécheresse 54
Indice de sécheresse 55
5.1.2 Atmosphère libre 56
Limite du zéro degré 56
Altitude de la tropopause 56
5.1.3 Composition de l'atmosphère 57
Série de mesures de l'ozone d'Arosa 57
Mesures de l'ozone à Payerne 58
Poussière du Sahara 59
Intensité des pollens 60
5.2 Terres émergées 62
Sommes de neige fraîche et journées de neige fraîche 62
Indice du printemps 64
Floraison des cerisiers près de Liestal
et apparition de la première feuille du marronnier à Genève 65
5.3 Origine des données et méthodes 66

Références 68

Résumé

En 2012, la température moyenne annuelle en Suisse était supérieure de 0.5 °C à la norme 1981-2010. Les précipitations annuelles se sont traduites par un excédent d'environ 6% par rapport à la norme. L'année a débuté sur une note très hivernale avec beaucoup de neige en montagne et une vague de froid massive en février. Le printemps a été extrêmement chaud, très ensoleillé et relativement sec. L'été a, en revanche, tardé à s'installer et il a fallu attendre le mois d'août pour connaître le plein été ainsi qu'une vague de chaleur. Après des chutes de neige jusqu'en moyenne montagne au début de l'automne, le mois d'octobre a d'abord valu à la Suisse un magnifique été indien, aussitôt suivi par des chutes de neige jusqu'en plaine. La neige est restée d'actualité avec une arrivée en force de l'hiver fin novembre sur le versant sud des Alpes, en Valais et dans le Jura et des chutes de neige abondantes dans tout le pays jusqu'en plaine, durant la première quinzaine de décembre.

Dès la fin de l'année 2011, l'enneigement était supérieur à la moyenne dans les Alpes suisses. Un fort courant du nord-ouest dans les premiers jours de l'année 2012 a de nouveau entraîné la chute de grandes quantités de neige en altitude. Le temps est en revanche resté doux et globalement sans neige en plaine. Dès le début du mois de février, la Suisse a connu la vague de froid la plus forte depuis 27 ans.

Dans tout le pays, le mois de mars a été le deuxième le plus chaud et même le plus chaud sur le versant sud des Alpes, depuis le début des mesures en 1864. Le temps est ensuite resté instable et frais jusqu'à la fin avril. Le 28 avril, les températures ont atteint, dans certaines stations de mesure, les plus hautes valeurs d'avril depuis le début des mesures, grâce au foehn.

Le mois de mai et la première quinzaine de juin étaient couverts et humides dans tout le pays. Un temps instable et frais a également prédominé en juillet. Il a fallu attendre le mois d'août pour connaître un temps réellement estival. Après le 15 août, la Suisse a même été frappée par une véritable vague de chaleur.

Une irruption marquée d'air polaire accompagnée de chutes de neige jusque sur les cols alpins a mis fin à l'été à la charnière août-septembre. Un magnifique été indien s'est installé durant la deuxième quinzaine d'octobre. Même en moyenne altitude, les températures sous le soleil ont parfois dépassé 20 degrés, ce qui était extrêmement doux pour la saison. Une offensive massive d'air polaire dans les derniers jours d'octobre a toutefois déposé un manteau neigeux sur une grande partie de la Suisse.

Après de fortes chutes de neige dans les montagnes du versant sud des Alpes et dans le Jura fin novembre, la première quinzaine de décembre a également apporté beaucoup de neige jusqu'en plaine sur le reste de la Suisse. En plaine, le vert a repris le dessus à Noël et l'année s'est terminée dans la douceur.

En termes d'évolution à long terme du climat, l'année 2012, à nouveau chaude, a contribué une nouvelle fois à l'élévation des températures en Suisse, tant en ce qui concerne l'ensemble de l'année que le printemps, l'été et l'automne. Parallèlement au réchauffement général, le nombre de jours d'été a considérablement augmenté au cours de la période analysée depuis 1959; à l'inverse, le nombre de jours de gel a fortement baissé. La limite du zéro degré est remontée d'environ 350 m au cours de la même période; ce phénomène concerne surtout l'hiver, le printemps et l'été. Le réchauffement généralisé se manifeste par un développement plus précoce de la végétation.

L'évolution des précipitations à long terme affiche sur le versant nord des Alpes une tendance à des sommes de précipitations plus élevées pour l'année en hiver. Comme précédemment, les autres saisons n'enregistrent aucun changement à long terme des sommes de précipitations. Sur le versant sud des Alpes, aucune modification à long terme des précipitations n'est observée tant au niveau des sommes annuelles que des sommes saisonnières. Le nombre de jours de fortes précipitations n'a généralement pas changé au cours de la période analysée depuis 1959. Sur le versant sud des Alpes, on observe toutefois par endroits une diminution des jours de fortes précipitations. Les précipitations des journées très humides ont augmenté à l'échelon régional mais aucune modification n'a été relevée en maints endroits. La durée des périodes de sécheresse les plus intenses n'a pas changé. Au cours des 100 années de mesures de l'enneigement, aucune modification n'a été observée ni au niveau des sommes de neige fraîche ni en termes de jours de neige fraîche.

La situation de l'ozone dans la haute atmosphère au-dessus de la Suisse est restée stable ces dernières années, après une baisse de 6% de l'ozone total entre 1970 et 1995.

Summary

In 2012 the annual mean temperature in Switzerland was about 0.5 deg Celsius above the norm value 1981-2010. Annual precipitation amounted to a surplus of 6 percent compared to the norm. The year started in a very wintery fashion with above-average snow in the mountains and an intensely cold spell in February. The spring was extremely warm, very sunny and rather dry. The summer however developed rather slowly and only August brought real high-summer weather including a heat wave. Some snowfall down to medium altitudes in early autumn produced a first hint of winter while October was characterized by a glorious Indian Summer followed by an abrupt change with snow down to the lowlands. The snow theme remained in the foreground with an episode of severe wintery weather at the end of November on the southern slopes of the Alps, in the Valais and Jura and with intensive snowfall all over Switzerland down to low altitudes in the first half of December.

As the year 2011 came to its close there was already an above-average amount of snow in many parts of the Swiss Alps. A strong north-westerly front in the first days of 2012 brought again large amounts of snow at high altitudes. In the Swiss lowlands, however, temperatures remained mild and there was scarcely any snow. Just with the beginning of February Switzerland was seized by the most powerful cold spell in 27 years.

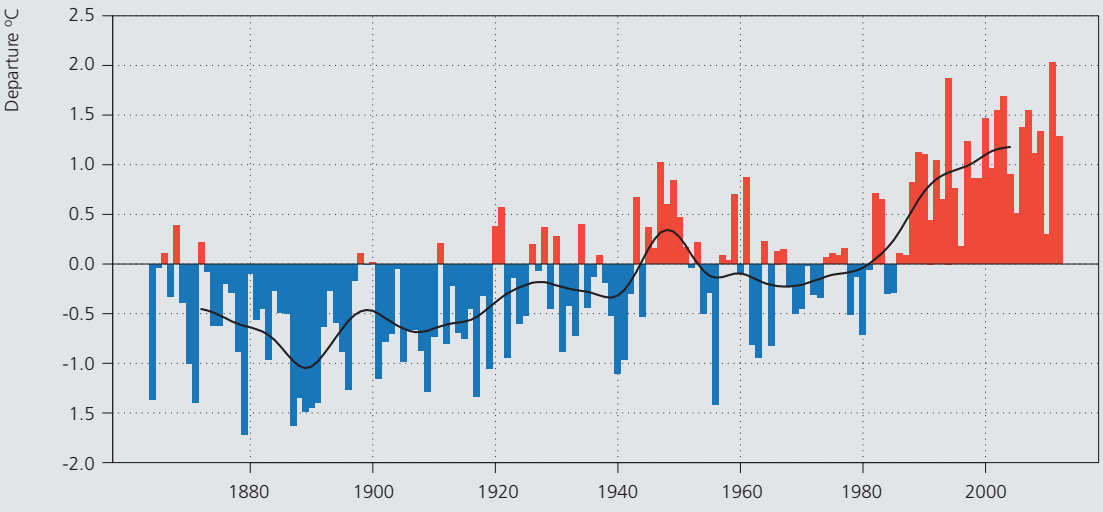
In the second half of February temperatures turned out exceptionally mild, starting south of the Alps. The exceptional warmth finally extended to all Swiss regions and lasted up to the first days of April. Overall, it was the second warmest March in Switzerland, south of the Alps even the warmest since observations began in 1864.

Later on the weather continued unsettled and cool until the end of April. On 28 April during a Foehn-event the highest April temperatures were recorded by some weather stations since observations began.

During May and the first part of June the weather was cloudy and wet. The first three weeks of July were also dominated by unsettled weather episodes and the repeated influx of cool air masses. Only August brought persistent warm summer conditions to all of Switzerland. After the middle of the month the entire country was seized by an intense heat wave. A powerful polar front on the threshold of August to September put paid to the summer heat of 2012. There was a lot of precipitation on the northern slopes of the Alps and some Alpine passes had to be closed due to snowfall. During the second half of October Switzerland enjoyed a splendid Indian Summer. Even in medium altitudes temperatures rose partly above 20°C in sunny weather conditions, which is exceptionally mild for this season. In the last days of October however a massive influx of polar air masses spread a wintery cover over most parts of Switzerland.

After a period with heavy snowfall to the end of November in the Southern Alps and in the Jura mountains, the first weeks of December brought a lot of snow to all of Switzerland. In low altitudes, however, before Christmas the snow cover disappeared due to rainfall and mild temperatures.

With a view to the long-term climate development the warm year 2012 has again contributed to the temperature increase in Switzerland, both in terms of the annual development and the spring, summer and autumn seasons. In accordance with generally higher temperatures the number of summer



Time series of the yearly temperature anomalies [°C] for 12 representative Swiss surface stations for the years 1864-2012. Color bars represent anomalies in respect to the long-term mean 1961-1990, red indicating positive and blue negative anomalies. The black contour line represents the 20-year running mean. According to recommendations of the WMO the standard climate period (climate normals) for climate evolution analyses is 1961-1990.

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 350 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 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 so far for the remaining seasons. South of the Alps no long-term change in the precipitation pattern has been registered so far, 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; south of the Alps, however, a decrease of days with heavy precipitation can be observed regionally. 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 do not indicate any changes in the fresh snow totals nor in the number of days with fresh snow.

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 und 1995.

Nouvelles normes climatiques 1981-2010

Les normes climatiques permettent de comparer la situation climatique observée dans une région avec le climat actuel. Cette comparaison montre si une période était par exemple trop humide, trop chaude ou trop ensoleillée. Dans un climat changeant, il est cependant important que les normes climatiques ne se situent pas trop loin dans le passé. En tant que base de comparaison, les normes doivent effectivement correspondre au climat moyen escompté, à savoir au climat actuel. Selon une définition de l'organisation météorologique mondiale (OMM) établie en 1935, les mêmes périodes de 30 ans sont utilisées partout dans le monde pour la détermination des normes (périodes dites standard; 1901-1930, 1931-1960, 1961-1990). Jusqu'en 2012, MétéoSuisse a utilisé la plus récente de ces périodes standard, à savoir 1961-1990.

Pourquoi avons-nous besoin d'une norme plus récente?

Depuis plus de 25 ans, aucune année n'a plus été plus froide en Suisse que la moyenne à long terme de la période 1961-1990. Cette affirmation explicite certes de manière percutante le changement climatique qui progresse également en Suisse. Mais il est également évident que la période 1961-1990 a perdu sa validité en tant que valeur expectative, du moins pour ce qui est de la température, car elle ne représente plus le climat actuel. Les conditions climatologiques régionales et locales ont également changé avec l'avancée du réchauffement climatique mondial. Ainsi, la température moyenne en Suisse au cours des 30 dernières années est-elle supérieure d'environ 0.5 à 1.0 °C à celle de la norme 1961-1990 utilisée jusqu'à présent.

La norme 1981-2010 pour le climat actuel et le climat prévu dans un proche avenir

L'OMM propose à présent de mettre à disposition des normes pour des périodes de 30 ans réajustées tous les 10 ans (p. ex. 1971-2000, 1981-2010) en plus de la période standard 1961-1990. Il s'agit ainsi de mettre à disposition des normes qui offrent une description appropriée du climat actuel et du climat attendu dans un proche avenir. A ce titre, elles sont par exemple utilisées dans le tourisme ou la construction. Conformément à la recommandation de l'OMM, MétéoSuisse utilise depuis 2013 et donc aussi dans ce rapport climatologique la norme 1981-2010 pour les comparaisons en relation avec le climat actuel. Ceci concerne les chapitres 1 à 3 de ce rapport.

La norme 1961-1990 comme référence pour l'évolution du climat

En qualité de référence, les normes servent également de base à la représentation et à la poursuite de l'évolution à long terme du climat. L'utilisation d'une période de référence internationale uniforme, stable et valable à long terme permet de comparer les séries de mesures à l'échelle suprarégionale et la cohérence des conclusions est assurée sur une longue période. Selon la recommandation de l'OMM, la norme (période allant de 1961 à 1990) doit par conséquent être utilisée pour les analyses de l'évolution du climat [28]. Ceci concerne le chapitre 5 de ce rapport.

Le site Internet de MétéoSuisse offre un complément d'information sur le thème de la nouvelle norme 1981-2010. http://www.meteoschweiz.admin.ch/web/fr/climat/climat_en_suisse/Normes_1981_2010.html

1| Evolution du climat au cours de l'année 2012

Au niveau national, la température moyenne de l'année 2012 s'est montrée 0.5 degré au-dessus de la norme 1981-2010. Les précipitations annuelles se sont avérées légèrement excédentaires avec un écart de 6% par rapport à la norme 1981-2010. L'année a démarré de manière très hivernale avec beaucoup de neige en montagne et une vague de froid en février. En revanche, le printemps a été extrêmement chaud, très ensoleillé et plutôt sec. Puis, l'été s'est péniblement installé et une période de fortes chaleurs ne s'est manifestée qu'au mois d'août. Après une première offensive hivernale au début de l'automne avec de la neige jusqu'en moyenne montagne, quelques magnifiques journées ensoleillées et très douces ont suivi en octobre, donnant un air d'été indien. Toutefois, à la fin du mois, il a neigé jusqu'en plaine. La neige est restée d'actualité en novembre avec une puissante offensive hivernale à la fin du mois au Sud des Alpes, en Valais et dans le Jura. D'autres chutes de neige ont touché l'ensemble de la Suisse au cours de la première quinzaine de décembre.

Beaucoup de neige en montagne au début de l'année

Déjà à la fin de l'année 2011, un enneigement plus important que d'habitude recouvrait les Alpes suisses. Un fort courant du nord-ouest s'est installé au début de l'année 2012 et d'importantes chutes de neige sont à nouveau tombées en montagne, ce qui a généré un fort danger d'avalanches. A Andermatt, dans les Alpes centrales, la hauteur de neige a atteint un peu plus de 2 mètres, soit la 3ème plus haute valeur pour un mois de janvier depuis le début des mesures en 1966. En plaine, le temps est resté doux et sans chutes de neige.

Froid glacial en février

Après une phase avec un temps ensoleillé et doux, une vague d'air froid la plus importante depuis 27 ans a envahi la Suisse au début du mois de février. De l'air froid sibérien s'est installé sur les régions de plaine de la Suisse orientale avec des températures moyennes comprises entre -9 et -10 degrés du 1er au 14 février. En Suisse romande, les températures étaient légèrement moins basses et au Sud, elles étaient comprises entre -2 et -8 degrés. Sur les régions de plaine du nord des Alpes, les valeurs minimales sont descendues localement en dessous de -20 degrés, en Engadine en dessous de -30 degrés. Au cours de la deuxième semaine de février, les petits lacs du Plateau ont gelé. Le lac de Pfäffikon était praticable pour marcher sur la glace et le Greifensee l'a également été pendant une brève période. On pouvait également marcher sur la baie de Rapperswil du lac de Zurich et de nombreux patineurs ont en profiter. Le lac de Neuchâtel a également gelé du côté d'Yverdon.

Au cours de cette vague de froid, il est tombé un peu de neige au Nord des Alpes. Ainsi, une couche de neige était souvent présente au sol sur les régions de plaine au cours de la première quinzaine du mois. Cependant, les quantités de neige gisante étaient faibles.

Forte douceur à la suite du froid extrême

Une douceur inhabituelle s'est installée au cours de la deuxième moitié du mois de février, d'abord au Sud des Alpes. Le 25 février 2012, la température a grimpé jusqu'à 23.3 degrés à Locarno-Monti. Il s'agit d'un record pour un mois de février depuis le début des mesures en 1935. Le précédent record mensuel de chaleur datait du 9 février 1948 avec une valeur de 22.0 degrés.

Cette douceur inhabituelle a finalement concerné toutes les régions de la Suisse et s'est prolongée jusqu'aux premiers jours du mois d'avril. Au niveau national, le mois de mars a été le deuxième le plus chaud depuis le début des mesures en 1864 et même le plus chaud au Sud des Alpes. Au Nord des Alpes, l'ensoleillement a atteint des valeurs records pour de nombreuses régions, alors que dans les Alpes, les précédents records ont été égalisés.

Une chaleur estivale au printemps

Suite aux records de chaleur de mars, le temps s'est montré très capricieux et frais jusqu'à la fin du mois d'avril. Une tempête de foehn survenue à la fin du mois d'avril a provoqué des conditions estivales. Le 28 avril, les températures ont atteint des records de chaleur pour certaines stations depuis le début des mesures avec par exemple 28.2 degrés à Berne (début de mesures en 1864) et 29.1 degrés à Lucerne (début des mesures en 1886). Il faisait également extrêmement doux dans les Alpes avec par exemple 19.4 degrés à Davos à 1600 mètres (valeur record égalée depuis le début des mesures en 1877 avec celle du 25 avril 2007). Quelques jours plus tard, le plein été s'installait. Le 11 mai, on a relevé de 27 à 29 degrés et le seuil de la journée tropicale (température supérieure ou égale à 30 degrés) a même été franchi pour quelques stations. Pour les régions de plaine de la Suisse alémanique, des valeurs tropicales relevées aussi tôt en mai sont très inhabituelles. L'isotherme du zéro degré a grimpé jusqu'à 4140 mètres, ce qui n'était jamais arrivé ces 40 dernières années au cours de la première quinzaine de mai.

Un début d'été maussade et humide

Juste un jour après la chaleur estivale, de l'air polaire a envahi la Suisse. Les pluies ont été copieuses et les températures en plaine étaient à peine supérieures à 10 degrés. A la mi-mai, il a neigé jusqu'à une altitude de 600 mètres. D'autres fortes précipitations ont suivi au cours de la troisième décade de mai. La première quinzaine de juin a été maussade et humide sur toute la Suisse. L'ensoleillement n'a atteint que 10 à 20% de la durée possible au Nord des Alpes, 30% en Valais et au Sud des Alpes. Les 3 premières semaines de juillet ont également été variables avec plusieurs advections d'air froid. Vers la fin de cette période peu estivale, une imposante trombe a été observée sur le lac de Zurich le 21 juillet sous un temps d'ouest changeant et frais.

Plein été seulement en août

Depuis le début de l'été, le temps ne s'est montré pleinement estival qu'à de brèves occasions, au cours de la dernière décade de juin et de juillet. En revanche, le Sud des Alpes a déjà pu profiter de conditions estivales sur l'ensemble du mois de juillet. Il a fallu attendre le mois d'août afin que la Suisse ait bénéficié d'une longue période pleinement estivale. Après la mi-août, une période caniculaire a affecté la Suisse. Des valeurs au-dessus de 30 degrés ont été relevées jusqu'à des altitudes supérieures à 1500 mètres avec des records de chaleur pour un mois d'août pour certaines stations situées en altitude. La station du Jungfraujoch a même mesuré la température la plus élevée à cet endroit avec une valeur de 12.8 degrés. La température la plus élevée de l'année en Suisse a été mesurée à Sion avec une valeur de 36.9 degrés. C'est également la température la plus élevée mesurée en Suisse depuis la canicule de l'été 2003. Cette année-là, les températures étaient encore plus élevées.

Première offensive hivernale

Une puissante advection d'air polaire est arrivée au moment du changement de mois entre août et septembre et a mis fin aux conditions estivales. De grosses quantités de précipitations sont tombées le long des versants nord des Alpes et quelques cols alpins ont dû être provisoirement fermés en raison de la neige fraîche. Après une phase avec des conditions anticycloniques estivales, une nouvelle offensive hivernale s'est manifestée entre le 12 et le 13 septembre avec des chutes de neige jusqu'en moyenne montagne. Plusieurs trombes ont été observées sur le lac de Constance le 13 septembre, alimentées par l'air froid arrivant depuis le nord sur un lac encore chaud. Quelques jours plus tard, un nouvelle coulée d'air froid avec de la neige en montagne a interrompu une courte phase de beau temps d'arrière-été.

Au cours des derniers jours de septembre, une situation prononcée de foehn s'est installée avec des précipitations de barrage localement abondantes au Sud des Alpes. Les fortes précipitations tombées entre le 26 et le 27 septembre ont fait grimper le niveau de la rivière Maggia jusqu'à des seuils critiques. Jusqu'à la mi-octobre, le temps a fréquemment alterné entre des journées ensoleillées et douces et des journées grises et pluvieuses. A la mi-octobre, une puissante advection d'air froid a à nouveau été à l'origine de fortes précipitations. Le long des Alpes orientales, une couche de neige s'est constituée au-dessus de 800 mètres et on relevait dans les Grisons de 10 à 20 cm de neige fraîche au-dessus de 1000 mètres. Sur le Plateau, les températures sont restées inférieures à 10 degrés.

Eté indien

Après ce bref intervalle hivernal, l'été indien s'est installé en Suisse du 17 au 25 octobre. Même en moyenne montagne, les températures ont parfois dépassé les 20 degrés ce qui est extrêmement doux pour la période de l'année. Pour quelques stations de montagne, des records de températures ont été battus pour une seconde quinzaine d'octobre. A partir du 23 octobre, une couche compacte de stratus recouvrait les régions du Nord des Alpes situées en dessous de 1000 à 1400 mètres. Ailleurs, le temps est resté ensoleillé et doux.

L'hiver en octobre jusqu'en plaine

Les derniers jours d'octobre ont été caractérisés par une offensive marquée de l'hiver qui a blanchi les sols d'une grande partie du pays. Le 28, la Suisse alémanique était recouverte par une couche de neige fraîche comprise entre 1 et 10 cm en plaine, entre 10 et 20 cm sur les collines du Plateau et même localement plus de 20 cm. Les chutes de neige persistantes ont finalement déposé une couche de 33 cm à Saint-Gall, ce qui constitue un nouveau record d'enneigement pour un mois d'octobre, dépassant largement le précédent record de 18 cm (30/31.10.1974, série de mesures depuis 1959). A Langnau im Emmental, on relevait 30 cm de neige, dépassant le record de 27 cm mesuré le 30 octobre 2008 (série de mesures depuis 1958). Pour les régions les plus basses, les valeurs d'enneigement étaient nettement plus réduites. A Zurich, on mesurait une couche de 19 cm de neige en matinée du 29 octobre. Le record d'enneigement pour un mois d'octobre date du 30.10.2008 avec 20 cm (série de mesures depuis 1931). Les deux événements sont ainsi comparables. Plus en direction des Alpes, les hauteurs de neige étaient moins spectaculaires par rapport à de précédents épisodes neigeux survenus en octobre. Les sols n'ont pas été blanchis sur les régions les plus basses du Tessin, des vallées de l'Aar, de la Reuss et du Rhin ainsi que des principales vallées des Alpes valaisannes et sur le Bassin lémanique qui a été, en revanche, touché par une tempête de bise le 28 avec des rafales comprises entre 75 et 97 km/h.

A la mi-novembre, beau temps de fin d'automne avec de la douceur

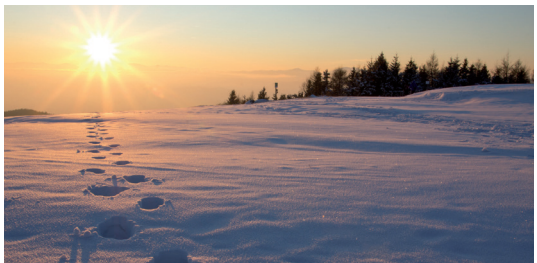
A partir du 12 novembre, une situation anticyclonique automnale persistante s'est installée avec un temps ensoleillé et doux en montagne. L'isotherme du 0 degré était supérieure à 3000 mètres avec une température maximale supérieure à 3 degrés au Jungfraujoch. Alors que le Tessin a bénéficié de belles journées ensoleillée, les régions de plaine du Nord des Alpes sont restées sous une couche de brouillard, typique à cette période de l'année.

Chutes de neige abondantes le long des versants sud des Alpes

Vers la fin du mois de novembre, de fortes précipitations sont tombées en Suisse romande et surtout au Sud des Alpes. La limite des chutes de neige s'est abaissée jusque vers 800 mètres dans le Jura, sur le Nord du Tessin et dans la région du Simplon. Le long des versants sud des Alpes, du Mont-Rose à la Mesolcina en passant par le Simplon et le Tessin, il est tombé entre 80 et 120 cm de neige fraîche. Sur la crête principale des Alpes et sur le Haut-Valais, on a mesuré entre 30 et 50 cm de neige. Sur les crête du Jura, il est tombé entre 40 et 60 cm de neige au-dessus de 1500 mètres. Les précipitations les plus importantes se sont concentrées sur la région de Locarno et dans le Val Maggia. Le 29 novembre, de l'air froid venant du nord a afflué sur les régions de plaine du Nord des Alpes, produisant quelques chutes de neige. Le long des Préalpes, il est tombé jusqu'à 40 cm de neige fraîche au-dessus de 700 à 900 mètres, alors qu'en direction des Alpes, les quantités mesurées de neige fraîche étaient plus faibles.

Beaucoup de neige pour le début de l'hiver

La première journée sans dégel s'est produite exactement au début de l'hiver météorologique (1.12) pour de nombreuses régions du Nord des Alpes. Pour rendre le paysage encore plus hivernal, un front neigeux actif a touché l'ensemble du Nord des Alpes le lendemain. Le Plateau a été recouvert par une couche de neige poudreuse comprise entre 2 et 10 cm, localement jusqu'à 20 cm. Entre le 3 et le 4 décembre, le Valais a été bien enneigé. A Sion, il est tombé 30 cm de neige fraîche, tandis que la ville de Brigue s'est retrouvée sous un demi-mètre de neige. A Ulrichen dans la vallée de Conches, la couche de neige a crû de 80 cm. La deuxième semaine de décembre a été très hivernale. De fortes chutes de neige sont tombées jusqu'en plaine dans la nuit du 7 au 8 et presque l'ensemble de la Suisse était enneigée le samedi matin (8.12.2012). Du lac Léman au lac de Constance, on mesurait un manteau neigeux compris entre 5 et 35 cm. Le long des versants nord des Alpes, on relevait régionalement entre 50 et 65 cm de neige. On a également relevé 1 cm de neige à Locarno-Monti au Tessin. Les régions de plaine du Nord des Alpes ont conservé ce manteau neigeux pendant une semaine environ avant que la pluie et la douceur aient fait fondre celui-ci au cours de la troisième semaine de décembre. Au Sud des Alpes, en revanche, il a abondamment neigé à la fin de la semaine, si bien que les régions de plaine du Tessin étaient passagèrement recouvertes par 10 à 20 cm de neige.



Bilan annuel

Au niveau national, la température moyenne de l'année 2012 s'est montrée 0.5 degré au-dessus de la norme 1981-2010. Au Tessin et en Valais, l'excédent thermique a atteint régionalement jusqu'à 1.0 degré. Ailleurs, les écarts à la norme ont été généralement compris entre 0.2 et 0.6 degré.

Sur le Nord de Suisse et régionalement le long des Alpes orientales, des précipitations nettement excédentaires sont tombées, comprises entre 110 et 125% de la norme 1981-2010. Au Sud des Alpes ainsi que sur le Nord et le Centre des Grisons, il est tombé parfois l'équivalent de 110 à 120% de la norme. Ailleurs, les précipitations ont été comprises entre 95 et 110% de la norme.

L'ensoleillement a atteint 105 à 115% de la norme 1981-2010 sur le Plateau, du lac Léman au lac de Constance. Sur la plupart des autres régions, il s'est situé entre 95 et 110% de la norme.

Tableau 1.1:
Valeurs annuelles pour une sélection de stations MétéoSuisse en comparaison avec la norme 1981-2010.

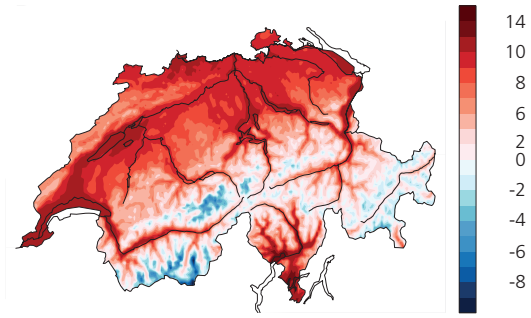
Station	Altitude	Température °C			Durée d'ensoleillement h			Précipitations mm		
	m	moyen	norme	écart	somme	norme	%	somme	norme	%
Berne	553	9.3	8.8	0.5	1915	1682	114	1128	1059	106
Zurich	556	9.8	9.3	0.5	1779	1544	115	1292	1134	114
Genève	420	11.0	10.5	0.5	1938	1828	106	970	1005	97
Bâle	316	10.9	10.5	0.4	172	1637	105	1048	842	124
Engelberg	1036	6.7	6.4	0.3	1427	1350	106	1634	1559	105
Sion	482	11.0	10.1	0.9	2212	2093	106	615	603	102
Lugano	273	13.3	12.4	0.9	2180	2069	105	1412	1559	91
Samedan	1709	2.4	2.0	0.4	1863	1733	108	699	713	98

norme moyenne climatologique 1981-2010
écart écart de la température à la norme 1981-2010
% rapport à la norme 1981-2010 (norme = 100%)

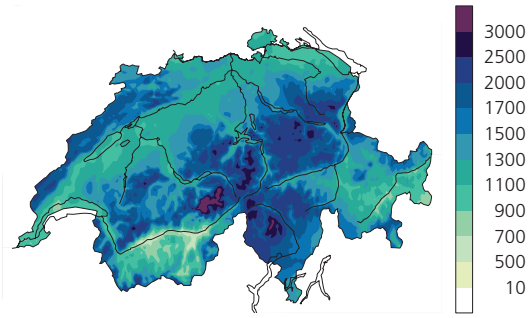
Températures, précipitations et durée d'ensoleillement de l'année 2012

Valeurs mesurées en 2012

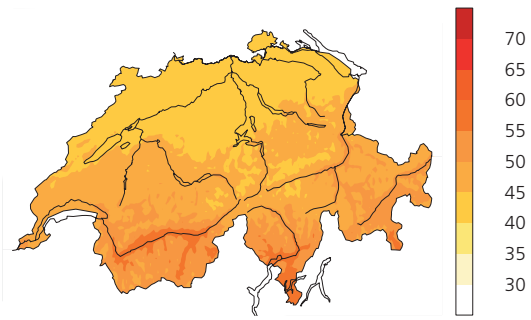
Températures moyennes annuelles en °C



Somme annuelle des précipitations en mm

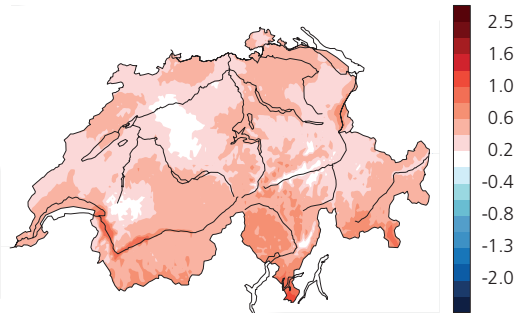


Rapport à l'ensoleillement annuel maximal en %

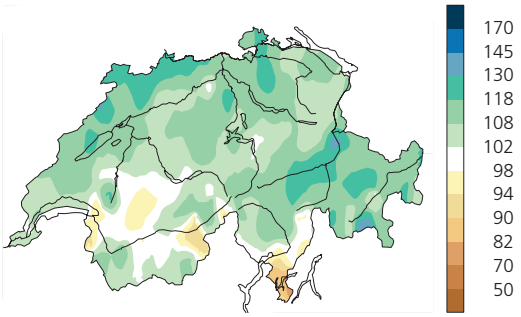


Ecarts à la norme 1981-2010

Ecart à la norme de la température moyenne en °C



Somme des précipitations en % de la norme



Durée d'ensoleillement en % de la norme

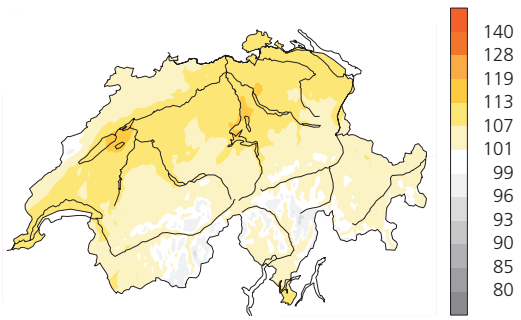
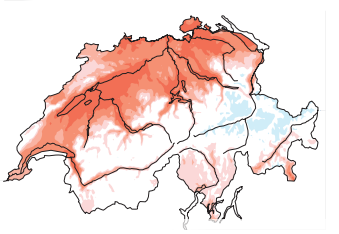


Figure 1.1:
Répartition spatiale des températures, des précipitations et de la durée d'ensoleillement en 2012 Les valeurs mesurées sont représentées à gauche et les rapports à la norme climatologique 1981-2010, à droite.

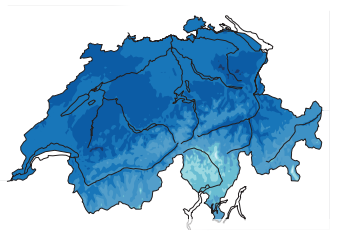
Température mensuelle 2012: écart à la norme 1981-2010

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

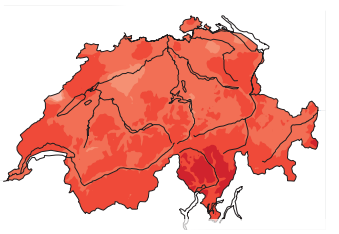
Janvier 2012



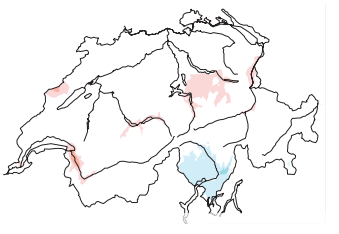
Février 2012



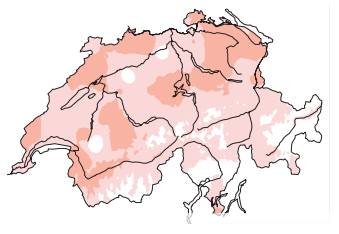
Mars 2012



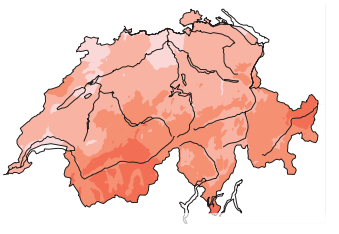
Avril 2012



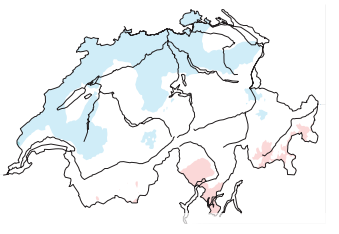
Mai 2012



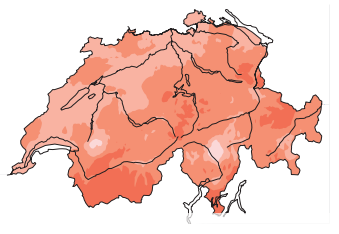
Juin 2012



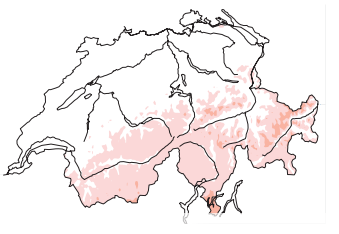
Juillet 2012



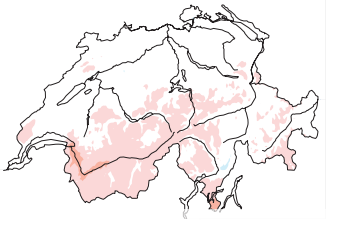
Août 2012



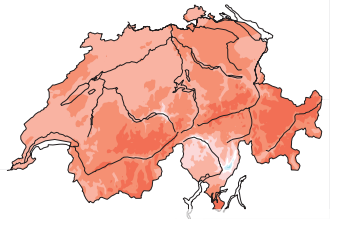
Septembre 2012



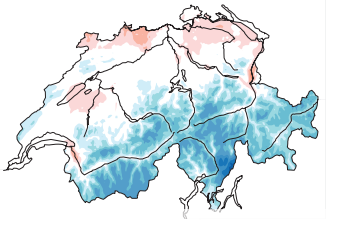
Octobre 2012

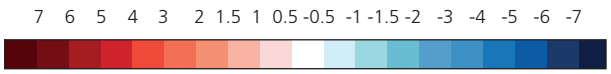


Novembre 2012



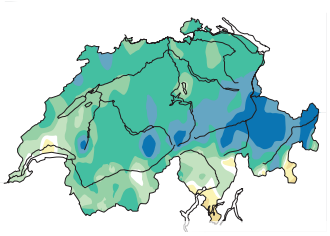
Décembre 2012



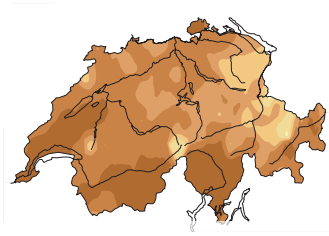


Précipitations mensuelles 2012 en pour cent de la norme 1981-2010

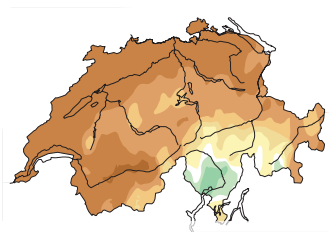
Janvier 2012



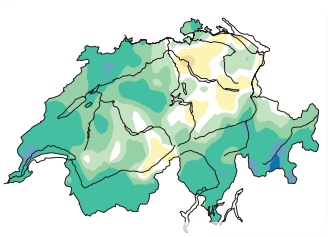
Février 2012



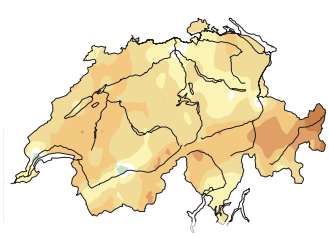
Mars 2012



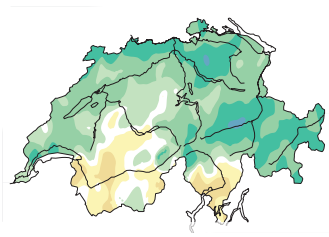
Avril 2012



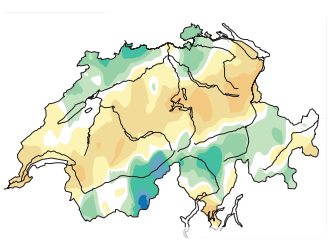
Mai 2012



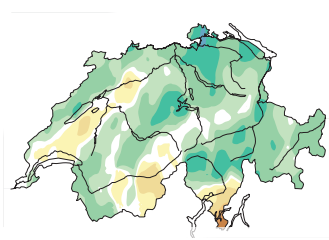
Juin 2012



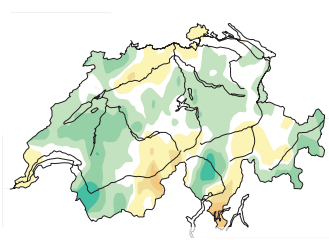
Juillet 2012



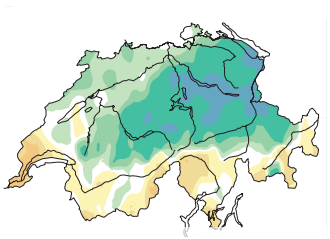
Août 2012



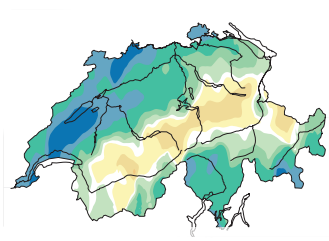
Septembre 2012



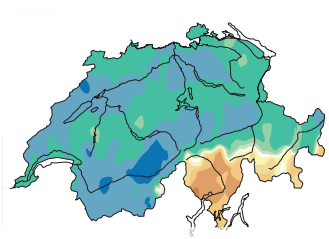
Octobre 2012



Novembre 2012



Décembre 2012



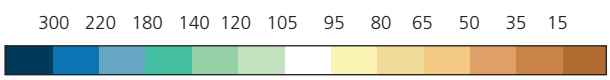
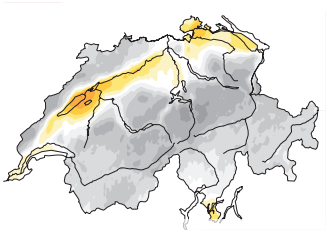


Figure 1.3:
Répartition spatiale des précipitations mensuelles en pour cent de la norme 1981-2010.

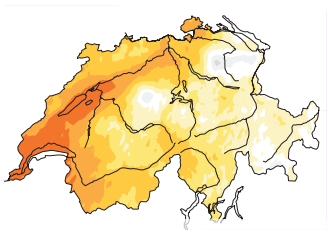
Durée mensuelle d'ensoleillement en pour cent de la norme 1981-2010

Figure 1.4:
Répartition spatiale de la durée mensuelle d'ensoleillement en pour cent de la norme 1981-2010.

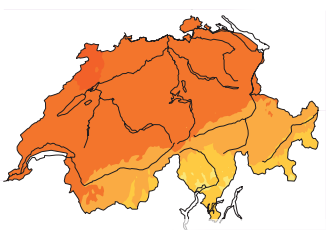
Janvier 2012



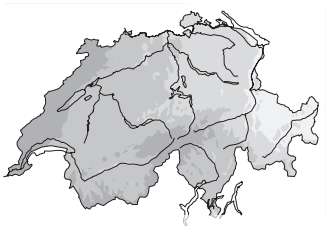
Février 2012



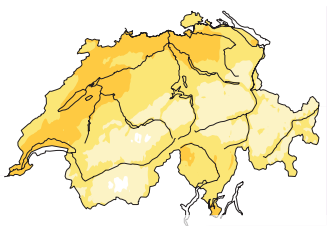
Mars 2012



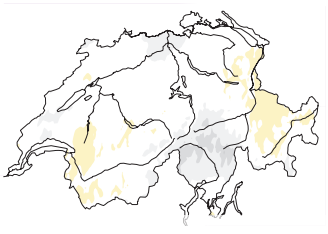
Avril 2012



Mai 2012

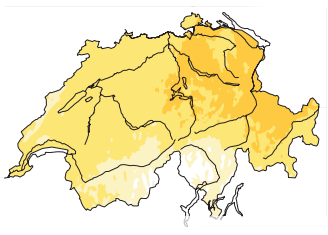


Juin 2012

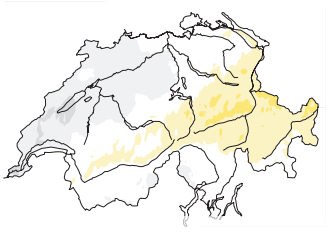


Juillet 2012

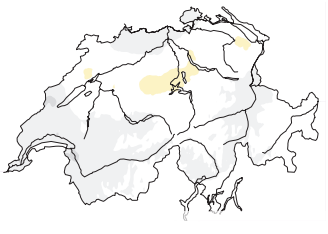
Août 2012



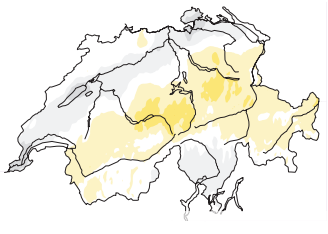
Septembre 2012



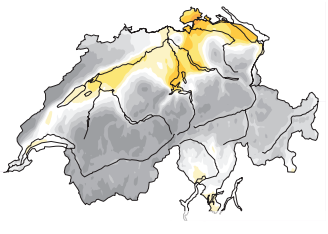
Octobre 2012

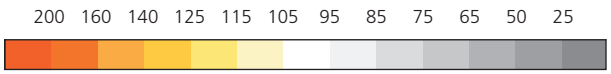


Novembre 2012



Décembre 2012





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.

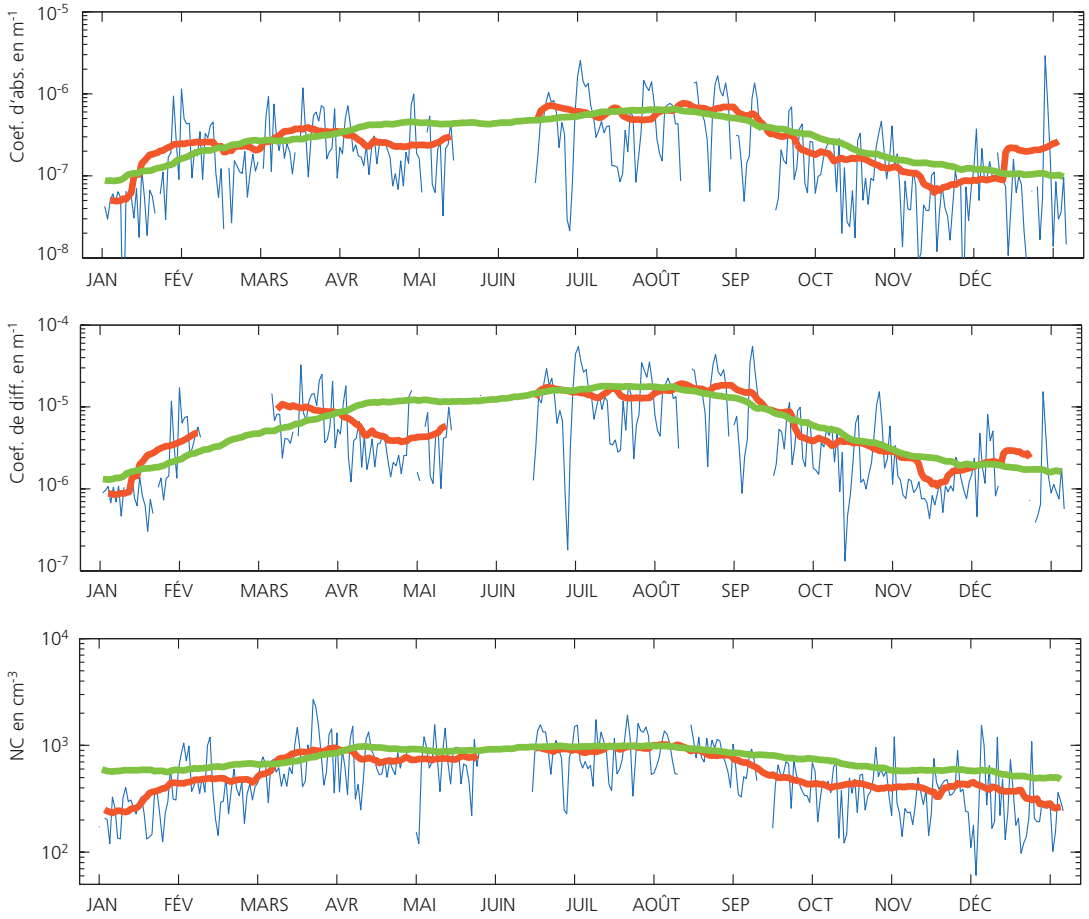


Figure 2.10:
Evolution en 2012 des coefficients d'absorption à 880 nm (au-dessus) et de diffusion à 450 nm (au centre) ainsi que de la concentration en nombre (en dessous) des aérosols au Jungfraujoch. Courbe bleue: moyenne journalière 2012. Courbe rouge: moyenne mensuelle mobile 2012. Courbe verte: moyenne mensuelle mobile de la période 1995- 2011.

3| Particularités de l'année 2012

3.1 Vague de froid extrême en février

En février 2012 s'est produite la vague de froid la plus importante depuis 27 ans. A la station de mesure de Zürich-Fluntern (556 m), la température moyenne relevée entre le 1er et le 14 février a été de -9.9 °C, ce qui en fait une des quinzaines les plus froides depuis le début des mesures en 1864. Depuis le milieu du 20e siècle, seuls trois événements peuvent lui être comparés.

Janvier 1985: le dernier grand froid

La vague de froid de janvier 1985 s'est traduit par une moyenne minimale de -11.8 °C à la station de mesures de Zürich-Fluntern sur une période de quinze jours. Elle présente de nombreuses similitudes avec la vague de froid de février 2012, notamment une phase très intense, suivie après un léger réchauffement d'une deuxième phase moins importante (figure 3.1, en haut). La situation est comparable en Suisse romande, avec toutefois dans les deux cas des températures un peu moins froides (exemple de Neuchâtel, figure 3.1, en bas).

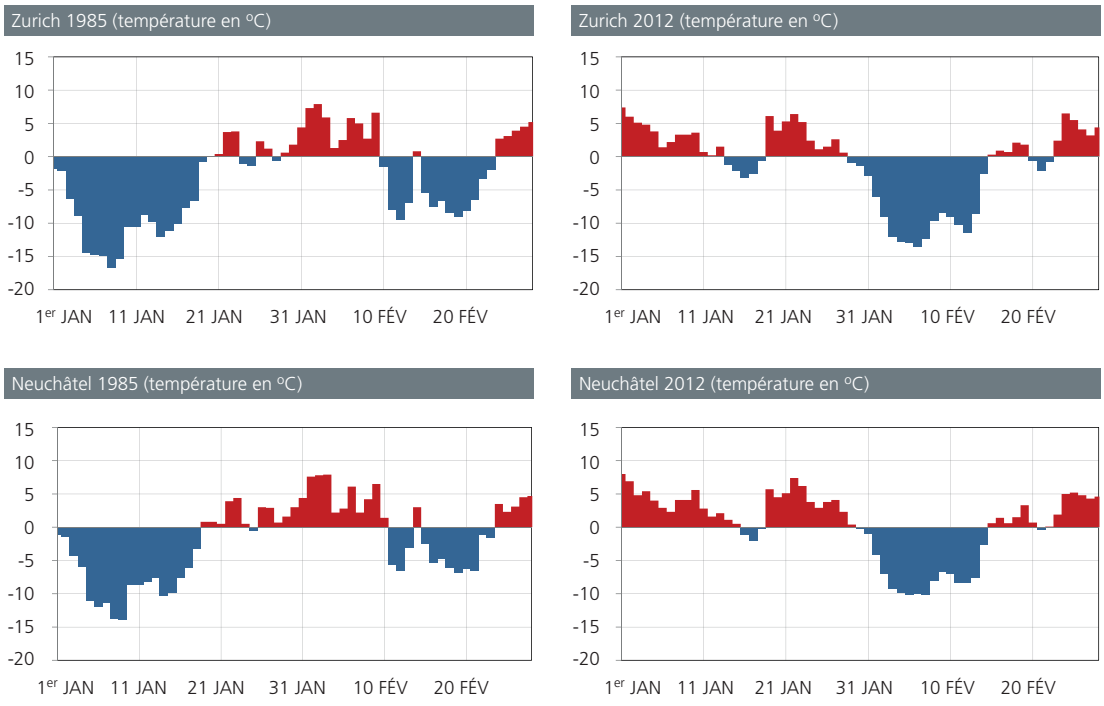


Figure 3.1:
Comparaison des vagues de froid de janvier 1985 et de février 2012. Station de mesure de Zürich-Fluntern en haut, station de mesure de Neuchâtel en bas. Est représentée l'évolution des températures journalières moyennes homogénéisées du 1er janvier au 28 février. En bleu les valeurs négatives, en rouge les valeurs positives. Dans les deux cas, les températures sont un peu moins froides à Neuchâtel qu'à Zürich-Fluntern.

Durant la vague de froid de janvier 1987 (fig. 3.2), la phase de températures les plus basses n'a duré que peu de temps. La température moyenne sur 14 jours était de -8.0 °C à la station de mesures de Zurich, soit environ 4 °C de plus qu'en 1985 et environ 2 °C de plus que la vague de froid de février 2012. La vague de froid de février 1986 s'est achevée le 4 mars et a enregistré une température moyenne de -6.2 °C sur 14 jours à la station de mesures de Zurich. Elle a été une des moins intenses, malgré sa durée exceptionnelle.

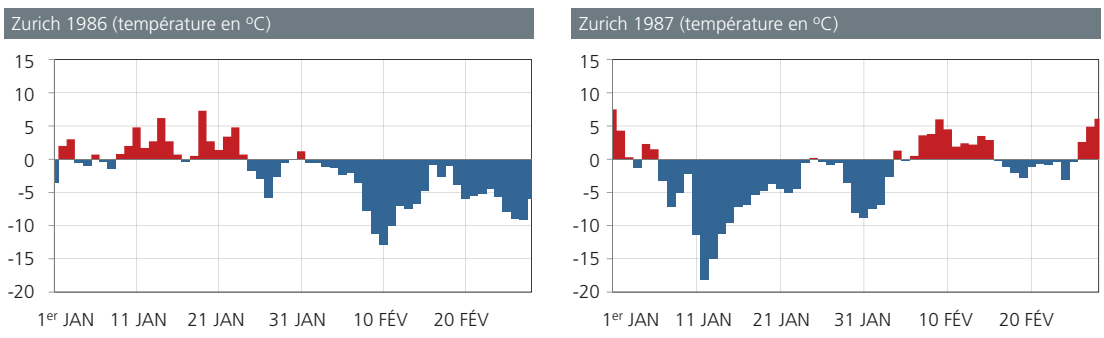


Figure 3.2:
Vague de froid de janvier 1987 et de février 1986 à la station de mesure de Zürich-Fluntern. Est représentée l'évolution des températures journalières moyennes homogénéisées du 1er janvier au 28 février. En bleu les valeurs négatives, en rouge les valeurs positives. La vague de froid de février 1986 s'est achevée le 4 mars 1986.

Vagues de froid extrêmes

Les vagues de froid les plus extrêmes du 20e siècle datent des années 1929, 1956 et 1963 (figure 3.3). Les températures moyennes sur 14 jours enregistrées durant ces événements ont été les suivantes: février 1929 -11.1 °C, février 1956 -11.7 °C et janvier 1963 -10.9 °C.

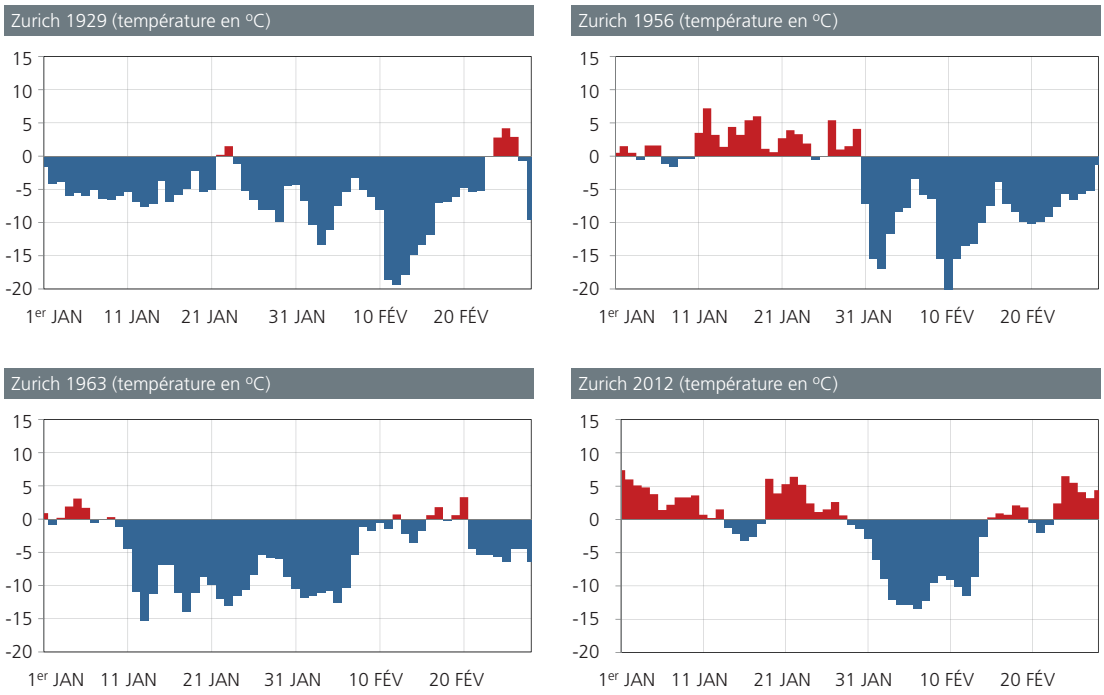


Figure 3.3:
Les vagues de froid les plus extrêmes du 20e siècle à la station de mesure de Zürich-Fluntern (1929, 1956 et 1963) comparées à la vague de froid de février 2012. Est représentée l'évolution des températures journalières moyennes homogénéisées du 1er janvier au 28 février. En bleu les valeurs négatives, en rouge les valeurs positives.

Depuis 1864, 15 vagues de froid avec une température moyenne journalière sur 14 jours inférieure à -9.0 °C se sont produites à la station de mesures de Zurich. Dans ce contexte, la vague de froid de février 2012 appartient aux 10 événements les plus froids en termes d'intensité, définie ici par le biais de la moyenne minimale sur 14 jours (figure 3.4). Les vagues de froid ont toujours concerné les mois de janvier et février, à l'exception de la vague de froid de décembre 1879. A cette occasion, la nature a été impitoyable car une nouvelle vague de froid a touché la Suisse deux mois plus tard, en février 1880.

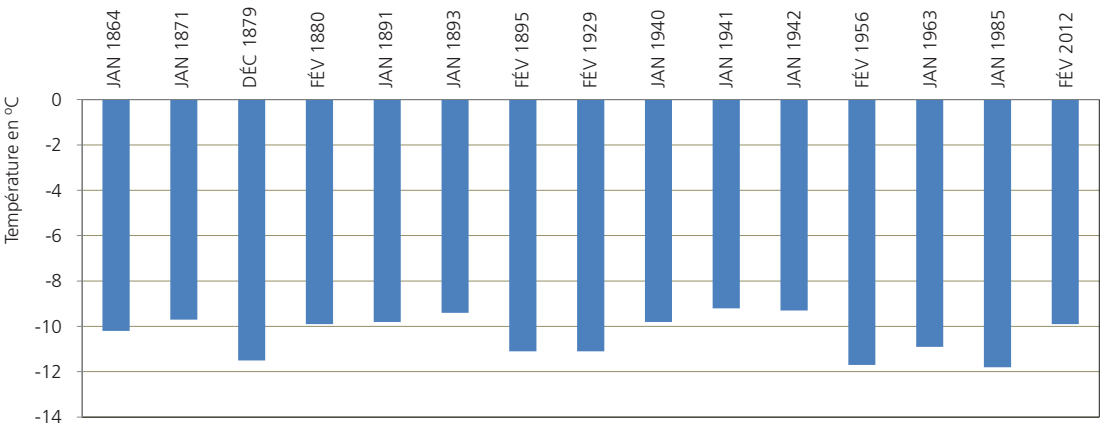


Figure 3.4:
Vagues de froid avec une température moyenne journalière sur 14 jours de -9.0 °C ou moins à la station de Zurich entre 1864 et 2012 (valeurs journalières moyennes homogénéisées).

De moins en moins de vagues de froid

Des vagues de froid de plus de deux semaines se sont produites de plus en plus rarement au cours de ces 150 dernières années (figure 3.5). Entre le début des mesures en 1864 et le début du 20e siècle, elles se sont manifestées plus fréquemment que par la suite. On relèvera pourtant une concentration de vagues de froid dans les années 40. Durant les quatre dernières décennies, l'occurrence de vagues de froid a été particulièrement faible; on a enregistré durant cette même période une forte augmentation de la température hivernale en Suisse.

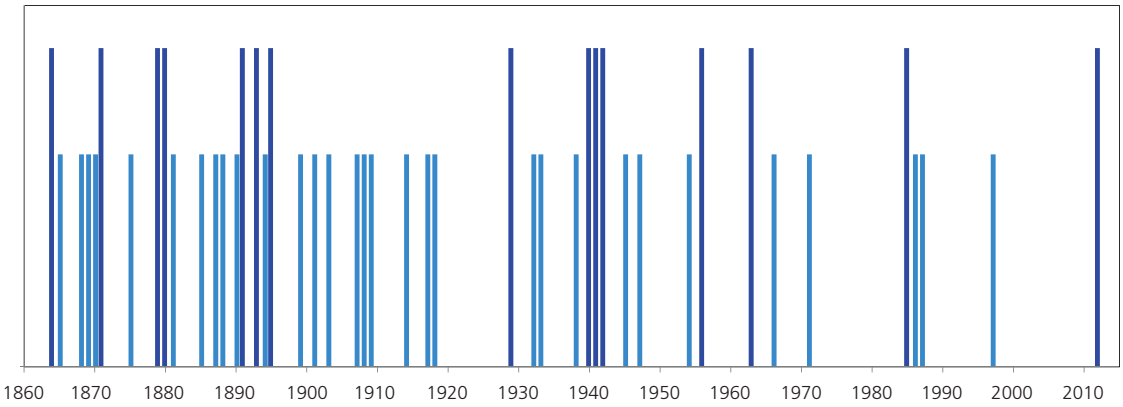


Figure 3.5:
Fréquence des vagues de froid à la station de Zurich de 1864 à 2012. Sont représentées les vagues de froid avec une température moyenne sur 14 jours de -9.0 °C ou moins ainsi que celles avec une température moyenne sur 14 jours de -6.0 °C ou moins (valeurs moyennes journalières homogénéisées).

3.2
Une trombe spectaculaire sur le lac de Zurich

Après le passage d'un front la veille sur le versant nord des Alpes, un temps changeant ponctué d'averses orageuses s'est installé le 21 juillet 2012. Dans la région du lac de Zurich, les températures maximales ont oscillé entre 15 et 17 °C. En soirée, de l'air plus froid en altitude est arrivé à partir du nord-ouest et a affecté le Nord-Est de la Suisse.

L'instabilité des couches atmosphériques s'est encore accentuée et des averses et des orages plus intenses se sont développés. L'atmosphère était donc parcourue de forts mouvements ascendants, une condition essentielle à la formation des trombes. La conjonction (convergence) d'un air environnant frais et de l'air chaud et humide plus léger au-dessus du lac a entraîné la formation de tourbillons à la surface de l'eau, qui, en cas de combinaison optimale d'un nuage orageux en forte expansion et de tourbillons proches du sol, peuvent engendrer la formation du tuba de la trombe entre la face inférieure du nuage d'orage et la surface du lac.

La trombe s'est formée le 21 juillet 2012 vers 17 heures à hauteur de Thalwil, Rüschlikon, Kilchberg. Le tuba clair et bien formé était parfaitement visible sur le fond noir du ciel d'orage chargé de nuages. Il existe donc de nombreuses photos intéressantes de cet événement.

Les trombes au-dessus du lac de Zurich sont extrêmement rares. Selon le Schweizerisches Sturmarchiv [29], trois observations au 20e siècle sont connues (1920, 1950, 1961). Il existe aussi certaines descriptions de trombes remontant à des siècles antérieurs. Depuis les années 2000, 3 événements ont été recensés (2003, 2007 et 2012).

D'autres trombes ont également été observées ces dernières années sur d'autres lacs suisses, par exemple sur le Haut-Lac Léman, le lac de Neuchâtel, le lac de Zoug et de plus en plus fréquemment sur le lac de Constance. Plusieurs trombes s'y sont même formées simultanément le 13 septembre 2012 lors de la progression d'un front d'air froid, près de deux mois après l'événement sur le lac de Zurich.

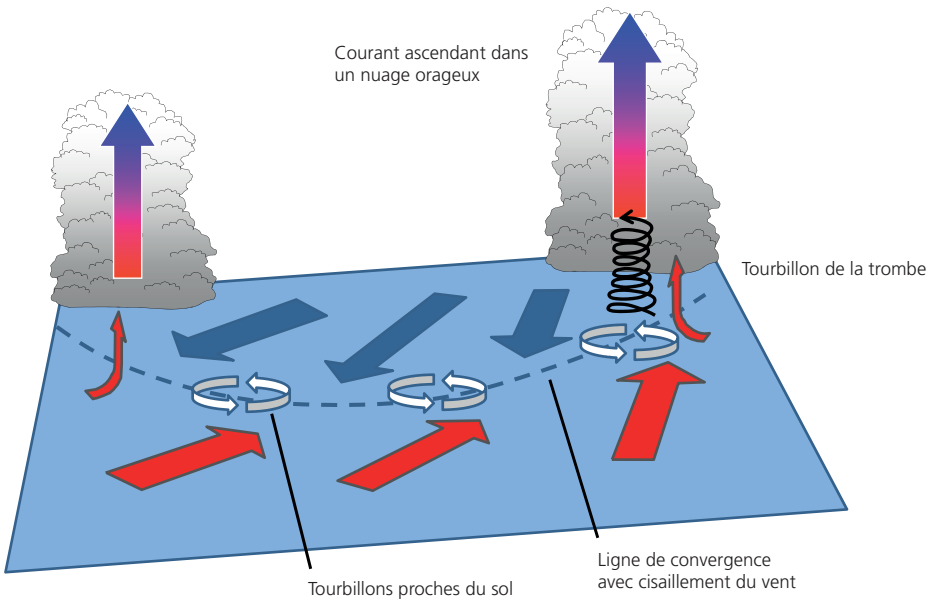


Figure 3.6:
Représentation schématique de la formation d'une trombe. Bleu ciel: surface de l'eau; flèches bleues: air frais environnant; flèches rouges: air chaud et humide au-dessus de la surface de l'eau. Représentation selon [30].

Figure 3.7:
21 juillet 2012, à 17h00: trombe spectaculaire sur le lac de Zurich. Photo: Peter Meurer

3.3
Beaucoup de neige au début de l'hiver

Les fortes chutes de neige jusqu'en plaine à la fin octobre 2012 ont eu tôt fait de donner une touche très hivernale à cette année. A Zurich (556 m, début des mesures en 1931), la somme de neige fraîche a atteint un record de 26 cm en octobre. La deuxième valeur la plus élevée de 20 cm remonte à octobre 2008, la troisième, avec une hauteur de 18 cm, à octobre 1939. A St-Gall (776 m, début des mesures en 1938), une somme de neige fraîche de 40 cm a été relevée en octobre 2012.

Il n'y a que dans la série de mesures de 1941 à St-Gall qu'une neige d'octobre beaucoup plus abondante de 59 cm a été enregistrée. A l'époque, la station de mesures était située environ 100 m au-dessous de son niveau actuel, de sorte qu'il faut s'attendre à une somme d'octobre encore plus importante, compte tenu du site de mesure actuel. Dans tous les autres mois d'octobre depuis le début des mesures, la somme de neige fraîche à St-Gall a atteint une fois 31 cm et sinon moins de 30 cm.

La somme de neige fraîche à Zurich a une nouvelle fois atteint un record de 60 cm (figure 3.8). Les valeurs des années 2010, 1979 et 1962 avec respectivement 58 cm et de 1981 avec 56 cm n'ont été que légèrement inférieures. Une somme de 83 cm a été atteinte à St-Gall, ce qui est certes élevé mais ne constitue en rien un record.

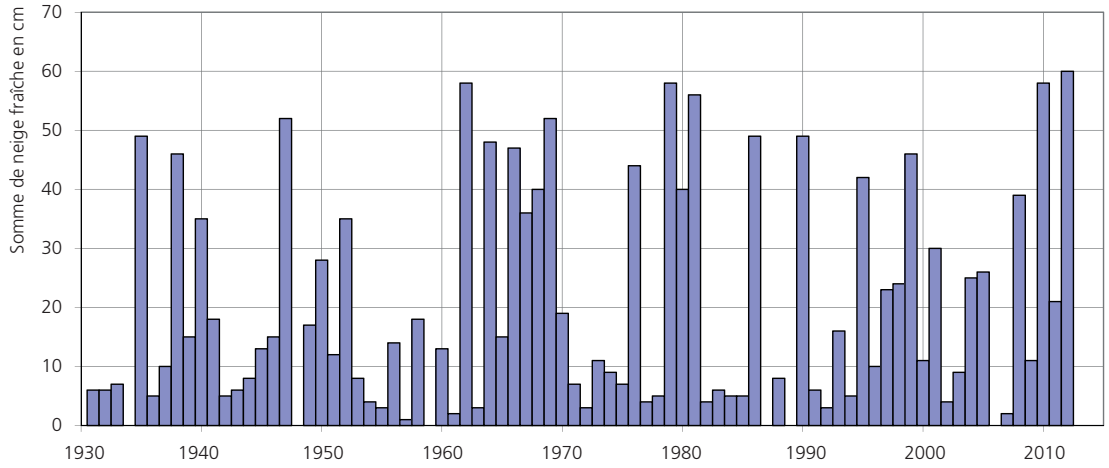


Figure 3.8:
Somme de neige fraîche en décembre à Zurich 1931-2012.

Les chutes de neige abondantes au cours des mois d'octobre et de décembre et le peu de neige fraîche tombée en novembre ont atteint une hauteur de 100 cm à Zurich et représentent donc la deuxième plus importante somme de neige fraîche des mois d'octobre à décembre dans la série de mesures réalisée depuis 1931 (figure 3.9). Il n'y a qu'en 1966 que la somme de neige fraîche a été un peu plus importante avec 109 cm. Toutes les autres années, les sommes de neige fraîche d'octobre à décembre ont été nettement moins élevées.

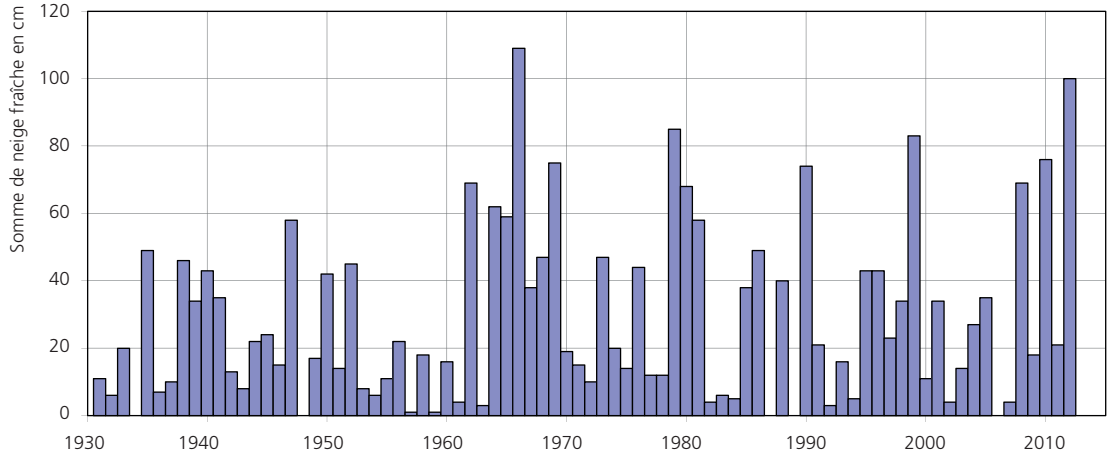


Figure 3.9:
Somme de neige fraîche des mois d'octobre à décembre à la station de mesure de Zurich 1931-2012.

4| Evolution globale du temps en 2012

A l'échelle globale, l'année 2012 a été la neuvième année la plus chaude depuis le début des mesures en 1880, selon l'Organisation météorologique mondiale (OMM) [25]. La température moyenne globale a été supérieure de 0.45 °C (± 0.11 °C) à la norme 1961-1990, qui est de 14 °C. Des températures annuelles moyennes supérieures à la moyenne ont été mesurées sur la plus grande partie des terres émergées. 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 Encore une année très chaude

L'année 2012 s'inscrit à nouveau parfaitement dans la série ininterrompue d'années très chaudes enregistrée depuis la fin du 20e siècle. Les écarts positifs les plus importants sont à mettre sur le compte de l'Amérique du Nord, de l'Europe du Sud, de la Russie occidentale et de certaines régions d'Afrique et d'Asie. Des températures inférieures à la moyenne ont été enregistrées en Alaska, en Australie septentrionale et orientale et en Asie centrale.

Les températures à la surface des océans étaient globalement supérieures à la moyenne. Une zone étendue de la partie tropicale centrale au nord-est du Pacifique, des parties de l'Atlantique Sud et des régions océaniques périphériques de l'Antarctique ont affiché des températures à la surface des océans inférieures à la moyenne.

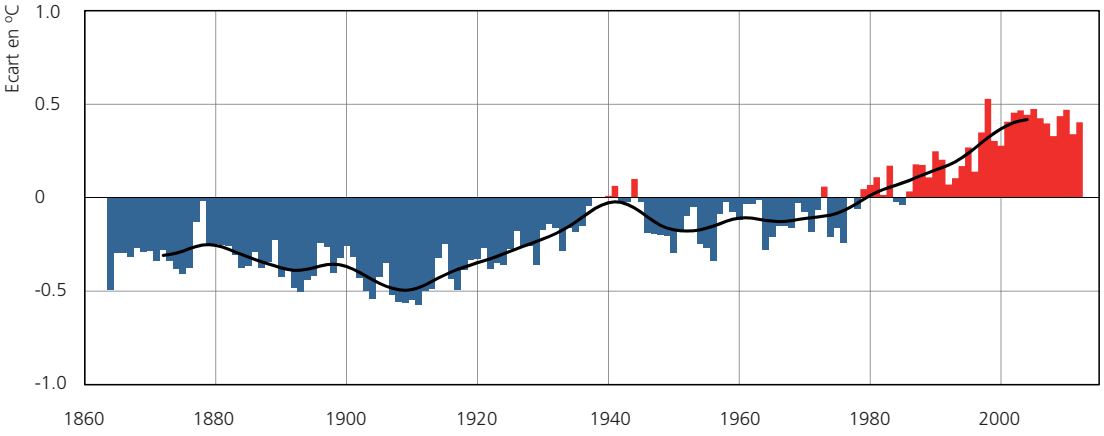


Figure 4.1:
Evolution à long terme de la température globale moyenne (terres émergées et océans). Le graphique indique l'écart annuel de la température à la norme 1961-1990 (rouge = écarts positifs, bleu = écarts négatifs). La courbe noire indique la moyenne pondérée sur 20 ans. Données: University of East Anglia, 2012 [14].

4.2
L'influence de La Niña

Durant le premier trimestre 2012, la météo dans le monde a été fortement influencée par un événement La Niña (anomalie climatique froide dans la zone équatoriale du Pacifique) faible à modéré, qui s'est formé dès septembre 2011 et s'est poursuivi jusqu'en mars 2012 (figure 4.2). D'expérience, on sait qu'un événement La Niña en début d'année a un effet rafraîchissant, ce qui a aussi été le cas en 2012. La moyenne mondiale des températures sur les trois mois de janvier à mars 2012 a atteint son plus bas niveau depuis 1997.

Par la suite, la situation dans le Pacifique équatorial a brièvement basculé sur un événement El Niño (anomalie climatique chaude) faible à modérée, avant d'adopter une certaine neutralité vers la fin de l'année. La fin de La Niña s'est également accompagnée d'une remontée de la température globale moyenne.

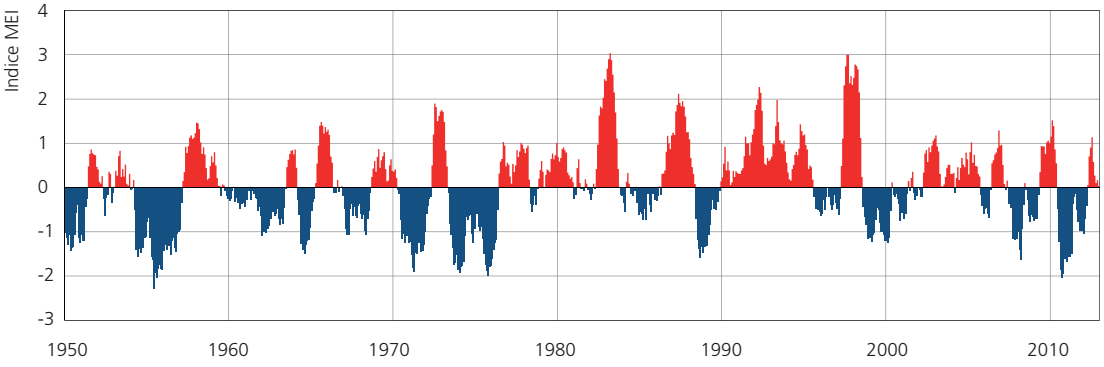


Figure 4.2:
Indice multivarié d'El Niño southern oscillation (MEI). Les valeurs indicielles de la phase El Niño (phase chaude) sont indiquées en rouge, les valeurs indicielles de la phase La Niña (phase froide), en bleu. Le MEI est calculé à partir de la pression de surface, des composantes est-ouest et nord-sud du vent de surface, de la température de surface de la mer, de la température de l'air au niveau de la mer et de la couverture nuageuse. Les mesures sont effectuées dans la partie équatoriale de l'Océan Pacifique. Les données sont disponibles sous [26].

4.3
Evénements particuliers

La majeure partie de l'Europe et des régions étendues d'Asie ont été confrontées à une vague de froid inhabituelle de la fin janvier à la mi-février. Le mois de février le plus froid des trois dernières décennies a été enregistré dans plusieurs pays. C'était la vague de froid la plus massive dans le monde en 2012. L'hiver a en outre été caractérisé par une sécheresse marquée dans de nombreuses régions d'Europe, de janvier à mars.

Parallèlement, le sud des Etats-Unis et le nord du Mexique ont eux aussi été touchés par une sécheresse persistante. Une période de sécheresse débutée en 2011 s'est ainsi poursuivie dans certaines régions des Etats-Unis. D'avril à octobre (semestre hivernal dans l'hémisphère sud), la majeure partie de l'Australie a également été affectée par une sécheresse hivernale marquée.

Fin octobre, l'ouragan Sandy a engendré des précipitations record sur la côte orientale des Etats-Unis avec des inondations correspondantes. Parallèlement, certaines régions côtières ont subi le raz-de-marée (pénétration d'eau de mer dans des zones côtières sous l'action du vent) le plus violent à ce jour avec des niveaux d'eau record. L'activité des cyclones tropicaux dans le monde s'est située dans la moyenne de 1981-2010.

Une fonte estivale des neiges s'étendant pratiquement à toute la calotte glacière (97% de la surface glacée) a pu être observée au Groenland en juillet 2012, pour la première fois depuis que les mesures par satellite ont commencé en 1979. Dans une moyenne à long terme, environ la moitié de la calotte glacière est concernée par la fonte estivale des neiges. Cette fonte des neiges très marquée s'expliquait par un anticyclone persistant qui ramenait constamment de l'air chaud depuis le sud.

4.4
Glaces marines arctiques avec record minimum estival

Durant la période de fonte estivale en 2012, la surface des glaces arctiques a affiché la plus faible extension de la série de mesures satellitaires disponibles, depuis 1979. La deuxième plus faible extension remonte à l'été 2007 et l'été passé, en 2011, se classe troisième. Les plus faibles extensions maximales hivernales remontent aux hivers 2005, 2006, 2007 et 2011, qui affichaient tous des surfaces de glaces marines tout aussi faibles.

En Antarctique, la quatrième plus grande surface de glaces marines a été enregistrée pendant la période de fonte de février/mars 2012. La plus grande surface de glaces marines hivernale depuis le début des mesures en 1979 a été atteinte en septembre 2012, durant la phase de croissance.

5| Surveillance du climat

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

Le chapitre 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.

Domaine		Variables climatiques essentielles
Atmosphérique	Mesures au sol	Température de l'air, précipitations, pression atmosphérique, bilan du rayonnement en surface, vitesse et direction du vent, vapeur d'eau
	Atmosphère libre	Bilan radiatif (rayonnement solaire incl.), température, vitesse et direction du vent, vapeur d'eau, nuages
	Composition	Dioxyde de carbone, méthane, ozone, autres gaz à effet de serre, aérosols, pollen
Océanique	Variables de surface	Température de surface de la mer, salinité, niveau de la mer, état de la mer, glaces marines, courants, activité biologique, pression partielle en CO_2
	Variables sub-superficielles	Température, salinité, courants, nutriments, carbone, traceurs océaniques, phytoplancton
Terrestre		Ecoulement, lacs, eaux souterraines, utilisation de l'eau, isotopes, couverture neigeuse, glaciers et calottes glaciaires, pergélisol, albédo, couverture terrestre (y compris le type de végétation), indice de surface foliaire, activité photosynthétique, biomasse, perturbation par le feu, phénologie

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].

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.

Tableau 5.2:
Indicateurs climatiques utilisés dans le domaine atmosphérique et le domaine terrestre. Les indicateurs OMM sont définis dans l'OMM/ETCCDI [4].

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].
Jours de gel (OMM)	Température	Jours de l'année civile affichant une température minimale $T_{min} < 0$ °C	Le nombre de jours de gel dépend essentiellement de l'altitude de la station. Indicateur climatique particulièrement pertinent à haute altitude.
Journées d'été (OMM)	Température	Jours de l'année civile affichant une température maximale $T_{max} \geq 25$ °C	Le nombre de jours d'été dépend essentiellement de l'altitude de la station. Indicateur climatique particulièrement pertinent à basse altitude.
Limite du zéro degré	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 $P \geq 20$ 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 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 indicielle d'un mois déterminé indique le déficit d'eau accumulé / l'excédent d'eau accumulé au cours de la période qui précède par rapport à la norme.
Somme de neige fraîche	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)	

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).

Sur le site Web de MétéoSuisse, vous trouverez des informations complémentaires sur les indicateurs climatiques: http://www.meteoschweiz.admin.ch/web/fr/climat/climat_aujourdhui/indicateurs_de_climat/indicateur_browser.html

Température

En moyenne, en Suisse, l'année 2012 a été la neuvième la plus chaude depuis le début des mesures en 1864 (figure 5.1). Le printemps a été le cinquième le plus chaud, l'été, le quatrième le plus chaud et l'automne, le septième le plus chaud depuis le début des mesures en Suisse. La température hivernale correspondait précisément à la norme sur la période 1961-1990 (figure 5.2). Le mois de mars a été le deuxième le plus chaud, le mois d'août, le quatrième le plus chaud et le mois de février, le neuvième le plus froid.

Pour l'ensemble de la Suisse, la tendance à long terme de la température annuelle se situe à +1.2 °C/100 ans (+0.12 °C/10 ans), ce qui correspond à un changement total de +1.8 degré (entre 1864 et 2012). Les tendances saisonnières se situent également autour de +1.2 °C/100 ans. Le tableau 5.3 fournit une vue d'ensemble des tendances en matière de température.

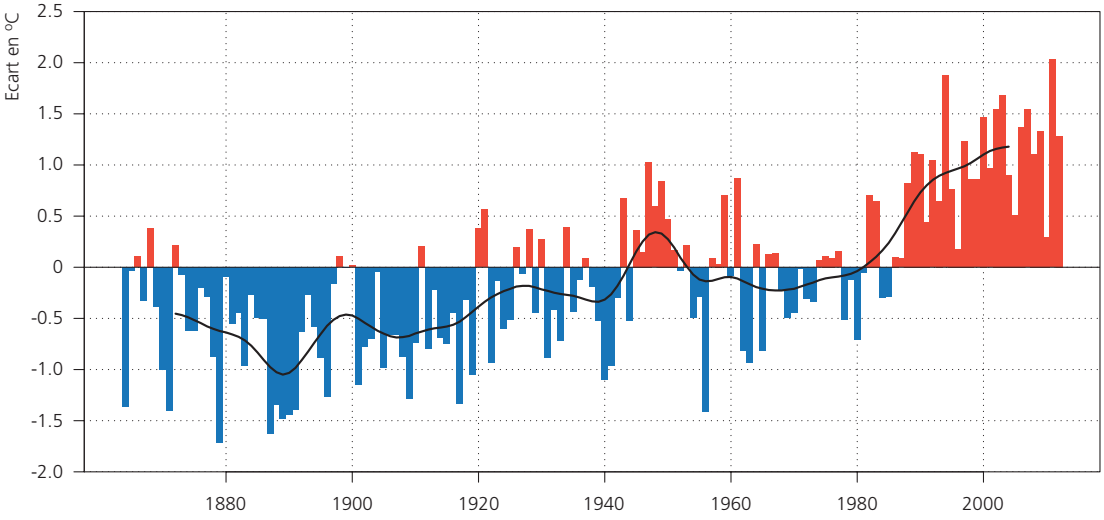


Figure 5.1:
Evolution à long terme de la température annuelle moyenne pour l'ensemble de la Suisse. Le graphique indique l'écart annuel de la température à la norme 1961- 1990 (rouge = écarts positifs, bleu = écarts négatifs). La courbe noire indique la moyenne pondérée sur 20 ans. Les 12 séries de mesures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

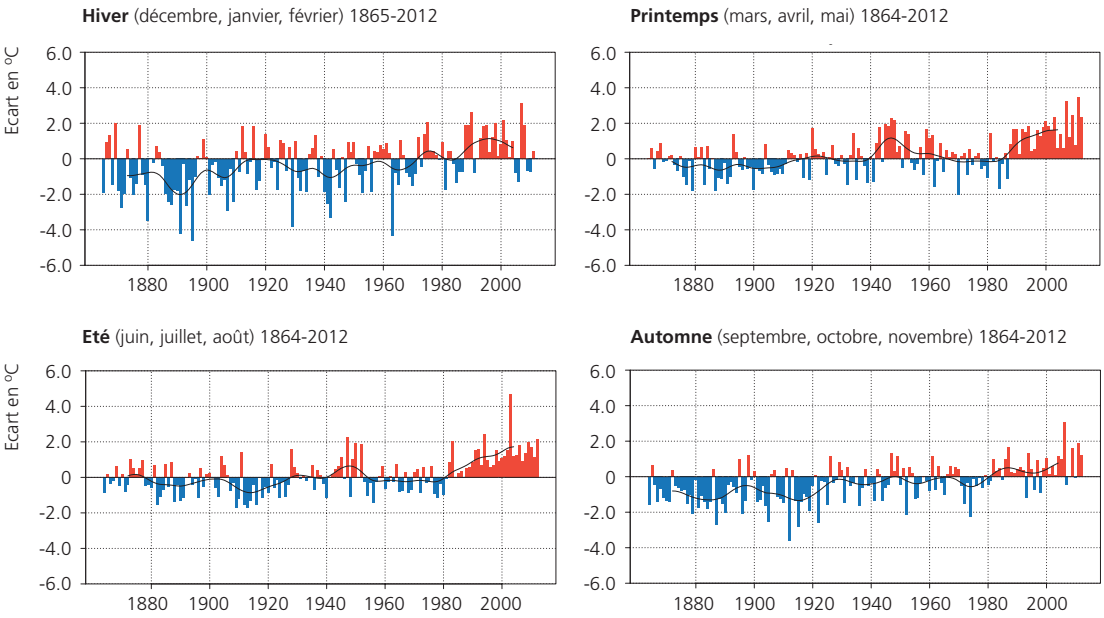


Tableau 5.3:
Tendances des températures saisonnières et annuelles en degrés Celsius par tranches de 10 ans au cours des périodes 1864-2012, 1901-2012 et 1961-2012 (valeurs moyennes pour toute la Suisse).

Période	Printemps mars-mai	Eté juin-août	Automne septembre-novembre	Hiver décembre-février	Année janvier-décembre
1864-2012	+ 0.12 °C fortement significatif	+ 0.11 °C fortement significatif	+ 0.12 °C fortement significatif	+ 0.12 °C fortement significatif	+ 0.12 °C fortement significatif
1901-2012	+ 0.16 °C fortement significatif	+ 0.17 °C fortement significatif	+ 0.17 °C fortement significatif	+ 0.14 °C fortement significatif	+ 0.16 °C fortement significatif
1961-2012	+ 0.52 °C fortement significatif	+ 0.50 °C fortement significatif	+ 0.24 °C fortement significatif	+ 0.30 °C fortement significatif	+ 0.38 °C fortement significatif

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 devrait être de l'ordre de 3 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].

L'important réchauffement attendu dans le futur s'inscrit dans l'évolution relevée au cours des deux dernières décennies. 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.

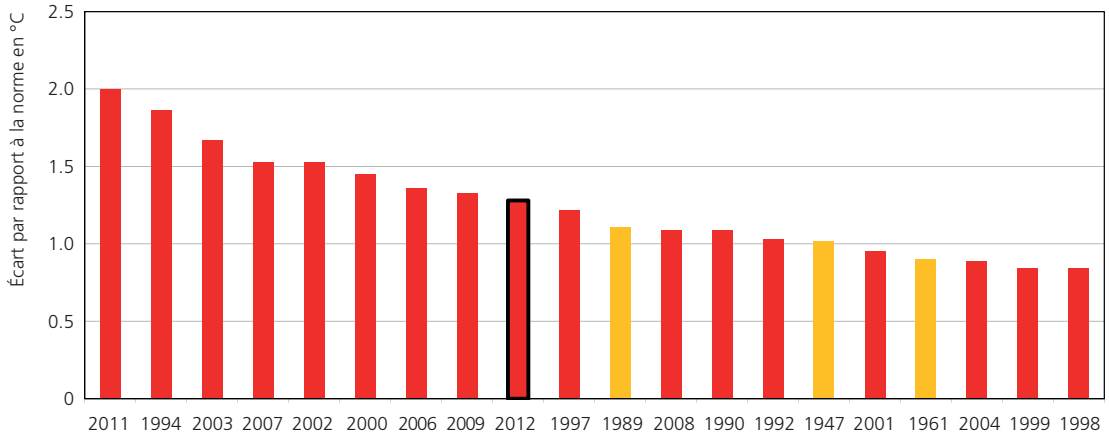


Figure 5.3:
Classement des 20 années les plus chaudes depuis 1864. Les barres montrent l'écart de la température annuelle moyenne en Suisse à la norme 1961-1990. Les années de chaleurs record depuis 1990 sont représentées en rouge. L'année 2012 est encadrée en noir.

Sur le site Web de MétéoSuisse, vous trouverez des informations complémentaires sur l'évolution de la température en Suisse:

http://www.meteoschweiz.admin.ch/web/fr/climat/climat_aujourdhui/tendances_en_suisse.html
http://www.meteoschweiz.admin.ch/web/fr/climat/climat_aujourdhui/evolution_aux_different_stations.html

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 lissées sur les terres émergées globales (figure 5.4). Le changement de température en Suisse est donc cohérent par rapport aux autres continents. Le tableau 5.4 indique les tendances de la température annuelle mondiale. La modification totale de la température globale de 1864 à 2012 s'élève à +0.75 degré. La température moyenne globale se situe aux alentours de 14 °C.

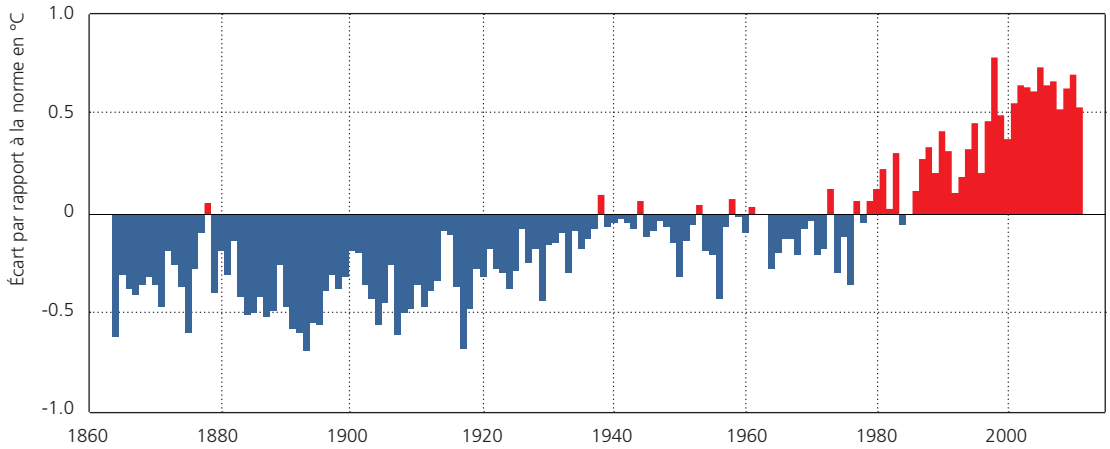


Figure 5.4:
Evolution à long terme de la température annuelle globale sur les terres émergées. Le graphique indique l'écart annuel de la température à la norme 1961-1990 (rouge = écarts positifs, bleu = écarts négatifs). Données: University of East Anglia, 2013 [14].

Période	Terres émergées et océans		Terres émergées	
	°C/10 ans	°C/100 ans	°C/10 ans	°C/100 ans
1864-2012	+ 0.05	+ 0.50	+ 0.06	+ 0.64
1901-2012	+ 0.08	+ 0.76	+ 0.09	+ 0.87
1961-2012	+ 0.13	-	+ 0.19	-

Tableau 5.4:
Tendances de la température annuelle globale au cours des périodes 1864-2012, 1901-2012 et 1961-2012, calculée pour les terres émergées et les océans globalement et uniquement pour les terres émergées. Données de base: University of East Anglia, 2013 [14].

Jours de gel

En 2012, le nombre de jours de gel était inférieur à un niveau normal (Berne 98/norme 115, Sion 89/norme 98) dans les régions de basse altitude du nord de la Suisse (Berne) et en Valais (Sion). A plus haute altitude, dans les Alpes orientales (Davos), le chiffre était inférieur à la moyenne (180/norme 203). En Suisse méridionale (Lugano), le nombre de jours de gel s'est situé à un niveau normal (33/norme 35).

Suite au net réchauffement des hivers, on observe une diminution du nombre de jours de gel. Cette tendance est significative dans les séries de mesures de Berne, Davos et Lugano. Par décennie, on y dénombre quatre à cinq jours de gel de moins.

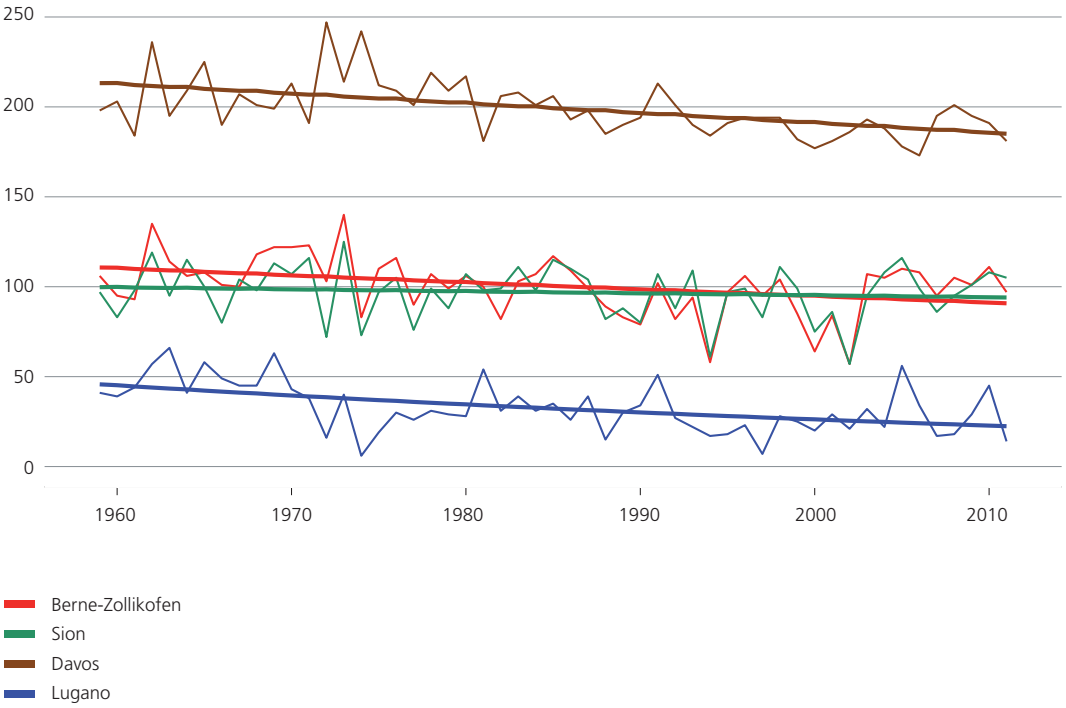


Figure 5.5:
Evolution dans le temps des jours de gel (jours de l'année civile affichant une température minimale <0 °C) pour les stations de Berne, Sion, Davos et Lugano.

Journées d'été

L'année 2012 qui a été très chaude a produit des journées d'été particulièrement nombreuses en Valais et au Tessin. A Sion, en Valais, on a atteint le troisième nombre de journées le plus élevé, soit 88 journées (norme 55). Seule l'année 2003, avec sa canicule estivale, et l'année record 2011 ont affiché un plus grand nombre de journées d'été, avec respectivement 97 et 101 journées. A Lugano, l'été s'est également hissé à la 3e place, avec 95 journées (norme 50). Le record est toujours détenu par l'année 2003, avec 111 journées d'été. L'année 2011 avec son record de températures n'a valu que quelque journées d'été supplémentaires (98) à Lugano.

A Berne, l'année 2012 n'a cependant pas produit un nombre inhabituel de journées d'été (43/norme 30). Là, l'année 2003, avec son été très chaud, détient le record absolu de 82 journées d'été. La situation est comparable à Davos mais à un niveau nettement inférieur (9/norme 1.4), en raison de l'altitude élevée (1600 m); avec 16 journées d'été, l'année 2003 y apparaît beaucoup moins exceptionnelle par rapport aux autres années par comparaison avec les séries de mesures à plus faible altitude.

Etant donné le réchauffement important noté au printemps et à l'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. Par décennie, on observe quatre journées d'été de plus à Berne, six à Sion et sept à Lugano. A Davos, la hausse est d'une à deux journées d'été par décennie.

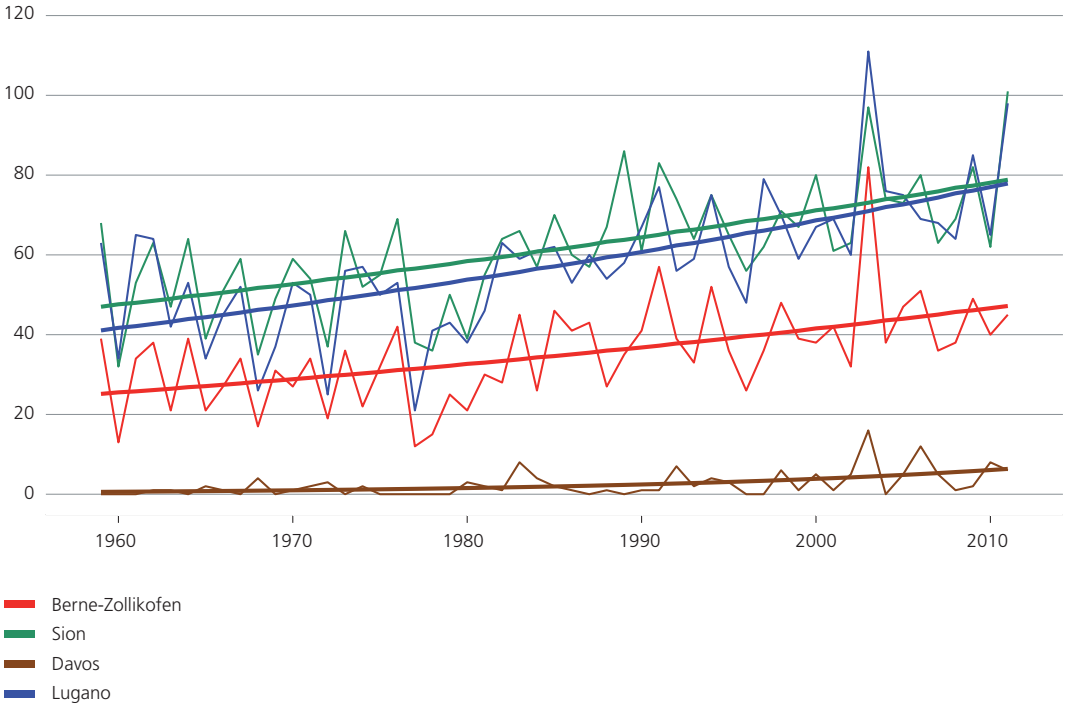


Figure 5.6:
Evolution dans le temps des journées d'été (jours de l'année civile affichant une température maximale ≥25 °C) pour les stations de Berne, Sion, Davos et Lugano.

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 2012 (vers 750 m en hiver, aux alentours de 1950 m au printemps, à environ 3350 m en été et à un peu plus de 2400 m en automne).

Au cours de l'hiver 2011/2012, la limite du zéro degré située vers 750 mètres était dans la moyenne. Au printemps 2012, elle a atteint le troisième niveau le plus élevé avec environ 2200 m et en été avec 3600 m, elle s'est également hissée à la troisième place de la série de mesures depuis 1961. En automne, la limite du zéro degré a atteint sa sixième valeur la plus élevée depuis 1961 avec un peu plus de 2600 m.

L'altitude saisonnière de la limite du zéro degré reproduit donc assez bien la température des saisons (cinquième printemps le plus chaud, quatrième été le plus chaud, septième automne le plus chaud, hiver à un niveau normal par rapport à la norme 1961-1990).

La limite du zéro degré a considérablement grimpé l'hiver, au printemps et en été au cours de la période 1961-2012. Selon la saison, la limite augmente de 30 (automne) à 80 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.

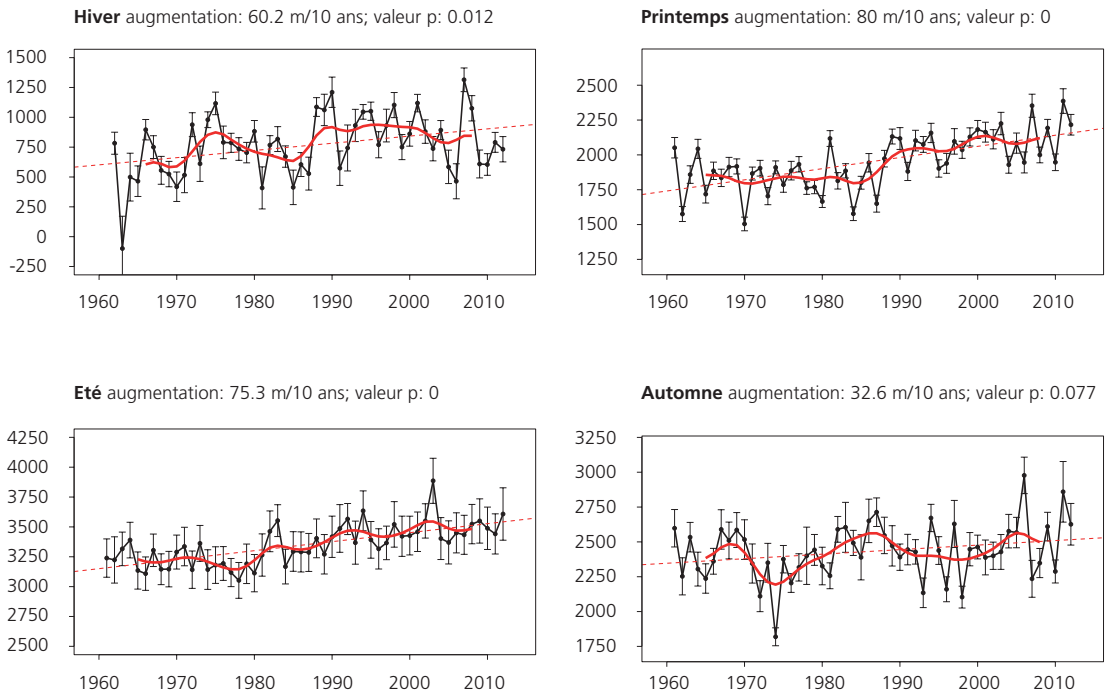


Figure 5.7:
Evolution de la limite saisonnière du zéro degré (ligne noire en mètres d'altitude), avec la tendance linéaire (ligne rouge) et les données de la tendance (modification et importance). Les lignes grises verticales représentent les barres d'erreur du calcul de la limite du zéro degré pour chaque année.

Précipitations

Après trois années de précipitations annuelles inférieures à la moyenne, des quantités supérieures à la moyenne sont à nouveau tombées dans les plaines septentrionales (Plateau) en 2012. Les précipitations ont été particulièrement fortes en automne (figure 5.8 et figure 5.9). En Suisse méridionale, les précipitations annuelles ont été inférieures à la moyenne et moins fortes qu'en 2011, l'hiver 2011/2012 ayant notamment été trop sec (figure 5.10 et figure 5.11).

Sur le Plateau, on observe une tendance de précipitations à long terme (1864-2012) de +7.6%/100 ans (+0.8%/10 ans). Sur le plan saisonnier, une tendance significative n'apparaît toutefois qu'en hiver (+20 %/100 ans, soit +2.0 %/10 ans). Au printemps, l'été et en automne, on ne relève aucune tendance à long terme (1864-2012) 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 5.5. et le tableau 5.6 présentent une vue d'ensemble des tendances de précipitations sur les versants nord et sud des Alpes.

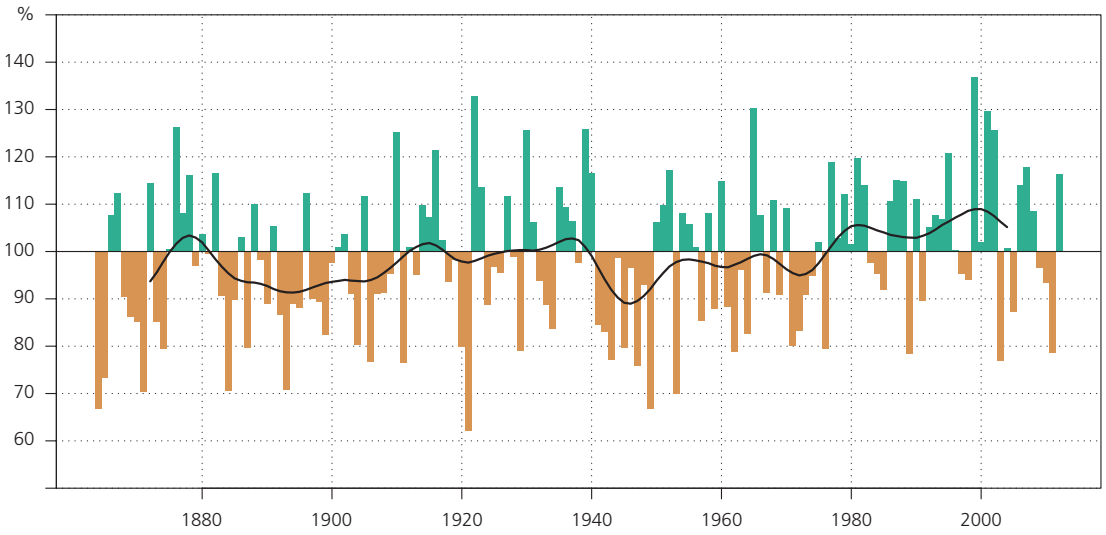


Figure 5.8:
Evolution à long terme des sommes des précipitations annuelles moyennes sur le Plateau. Est représenté le rapport des sommes des précipitations annuelles à la norme 1961-1990. Les séries de mesures homogènes de Genève, Bâle, Berne et Zurich servent de base de données. La courbe noire indique la moyenne pondérée sur 20 ans.

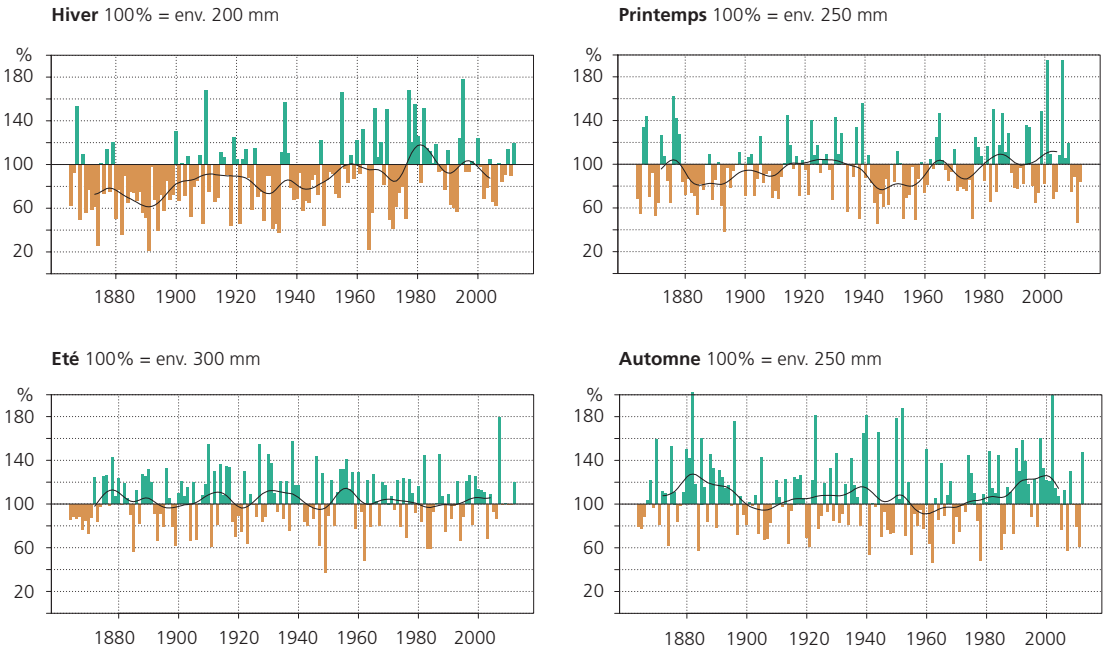


Figure 5.9:
Evolution à long terme des sommes des précipitations saisonnières moyennes sur le Plateau. Est représenté le rapport des sommes des précipitations saisonnières à la norme 1961-1990 (vert = écarts positifs, brun = écarts négatifs). Les séries de mesures homogènes de Genève, Bâle, Berne et 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 5.10:
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.

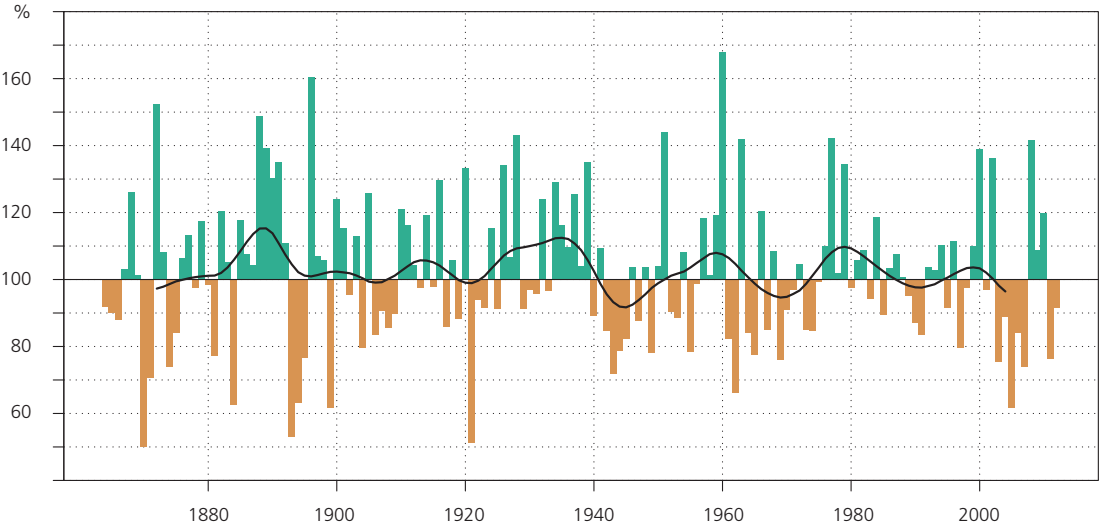
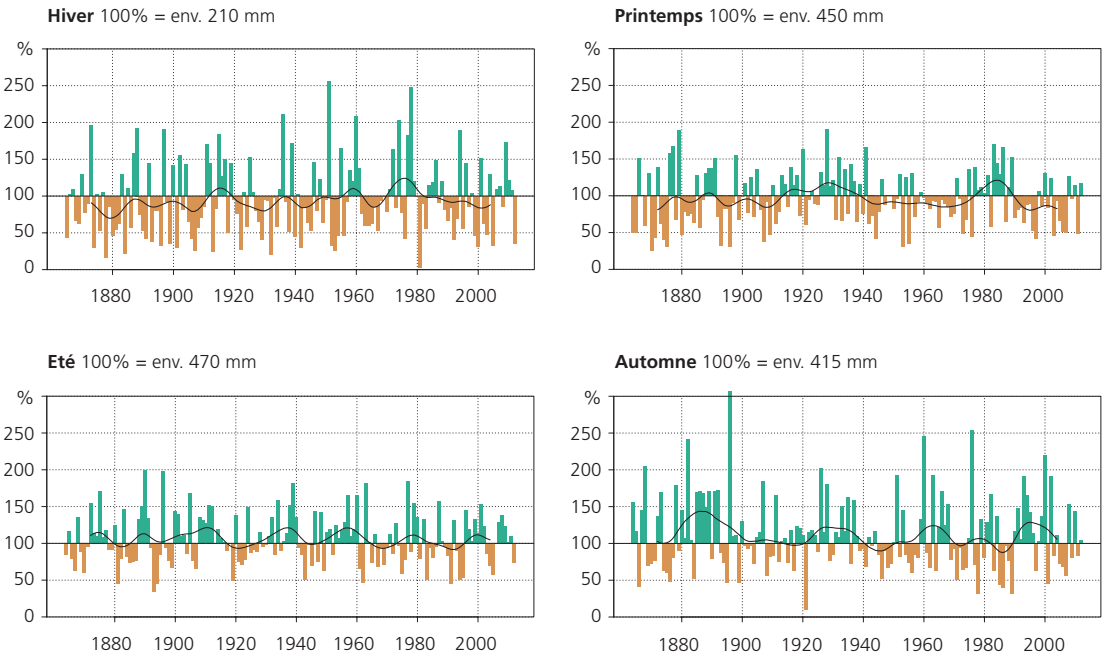


Figure 5.11:
Evolution à long terme des sommes des précipitations saisonnières, série de mesures homogène, Lugano (Suisse méridionale). Est représenté le rapport des sommes des précipitations saisonnières à la norme 1961-1990 (vert = écarts positifs, brun = écarts négatifs). La courbe noire indique la moyenne pondérée sur 20 ans.



Période	Printemps mars-mai	Eté juin-août	Automne septembre-novembre	Hiver décembre-février	Année janvier-décembre
1864-2012	+ 0.6% non significatif	+ 0.2% non significatif	0.0% non significatif	+ 2.0% fortement significatif	+ 0.8% fortement significatif
1901-2012	+ 0.2% non significatif	- 0.4% non significatif	+ 1.0% non significatif	+ 1.6% non significatif	+ 0.8% non significatif
1961-2012	- 1.2% non significatif	+ 0.1% non significatif	+ 4.8% non significatif	- 0.3% 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 1864-2012, 1901-2012 et 1961-2012, calculées pour le Plateau.

Période	Printemps mars-mai	Eté juin-août	Automne septembre-novembre	Hiver décembre-février	Année janvier-décembre
1864-2012	+ 0.2% non significatif	0.0% non significatif	- 0.8% non significatif	+ 1.0% non significatif	- 0.3% non significatif
1901-2012	-1.1% non significatif	- 0.9% non significatif	- 0.4% non significatif	+ 0.8% non significatif	- 0.5% non significatif
1961-2012	- 1.2% non significatif	+ 3.6% non significatif	+ 1.2% non significatif	+ 0.4% non significatif	+ 0.6% non significatif

Tableau 5.6:
Tendances de précipitations saisonnières et annuelles en pour cent par tranche de 10 ans au cours des périodes 1864-2012, 1901-2012 et 1961-2012, calculées pour la Suisse méridionale.

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].

Sur le site Web de MétéoSuisse, vous trouverez des informations complémentaires sur l'évolution des précipitations en Suisse:

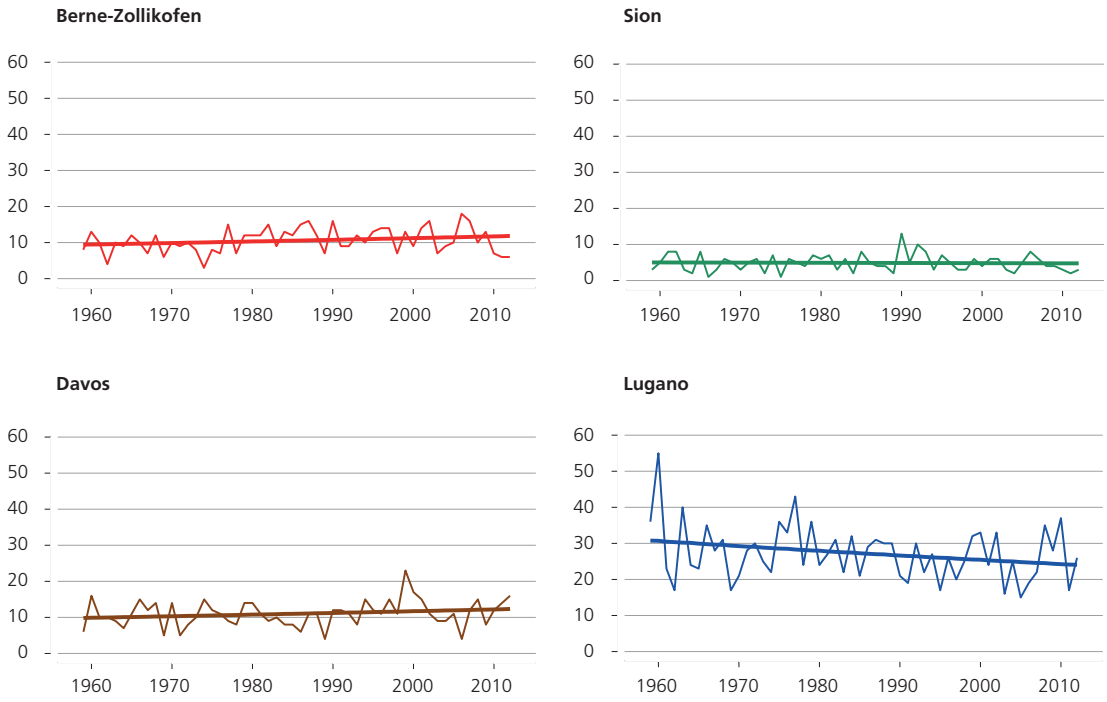
http://www.meteoschweiz.admin.ch/web/fr/climat/climat_aujourdhui/tendances_en_suisse.html
http://www.meteoschweiz.admin.ch/web/fr/climat/climat_aujourdhui/evolution_aux_different_stations.html

Jours de fortes précipitations

L'intensité des précipitations en 2012 est comparable à celle de l'année précédente. Le nombre de journées à fortes précipitations a été inférieur à la norme 1961-1990 aux stations de mesures de Berne avec six jours (norme 10) et de Sion avec trois jours (norme 5). Elles ont été conformes à la norme à la station de mesures de Lugano, avec 26 journées (norme 28). En revanche, pour la station de mesures de Davos, l'année 2012 a été une des plus prolifiques avec 16 journées (norme 10). Il n'y a qu'en 1999 (23) et 2000 (17) qu'il y a eu encore davantage de journées de fortes précipitations.

Tout comme pour le régime de précipitations en général, aucune tendance significative ne peut être observée en ce qui concerne les journées de fortes précipitations aux stations de mesures de Berne, Sion et Davos. Le site de mesures de Lugano sur le versant sud des Alpes présente toutefois une tendance à peine significative en faveur de journées de fortes précipitations moins nombreuses. La baisse est toutefois limitée et représente une journée par décennie. Ce recul n'est pas observable à la la station de mesures de Locarno-Monti (versant sud des Alpes).

Figure 5.12:
Nombre de jours de fortes précipitations (≥20 mm) au cours de l'année civile pour les stations de Berne, Sion, Davos et Lugano.



Précipitations des journées très humides

La somme des précipitations des journées très humides en 2012 se comporte comme les journées à très fortes précipitations. Elle a été inférieure à la norme 1961-1990 à Sion avec 267 mm (norme 332 mm) et à Lugano avec 681 mm (norme 827 mm). Elle a été conforme à la norme à la station de mesures de Berne, avec 426 mm (norme 440 mm).

A la station de mesures de Davos, les journées très humides ont, en revanche, livré l'une des sommes les plus élevées depuis 1961 avec 647 mm (norme 445 mm) en 2012. La somme des précipitations des journées très humides n'a été plus importante qu'en 1999, 2000, 2011, 2008 et 1979.

En ce qui concerne l'évolution à long terme, parmi les séries de mesures mentionnées, seule celle de Davos présente une tendance significative. Comme pour les jours de fortes précipitations, il est frappant de constater qu'au niveau des précipitations relevées durant les journées très humides, la tendance à long terme à la station de mesure de Lugano (versant sud des Alpes) va dans le sens d'une diminution des quantités, contrairement à ce qui a pu être observé dans les autres stations de mesures citées. Cette baisse n'est cependant pas encore observable à la station de mesures de Locarno-Monti (versant sud des Alpes).

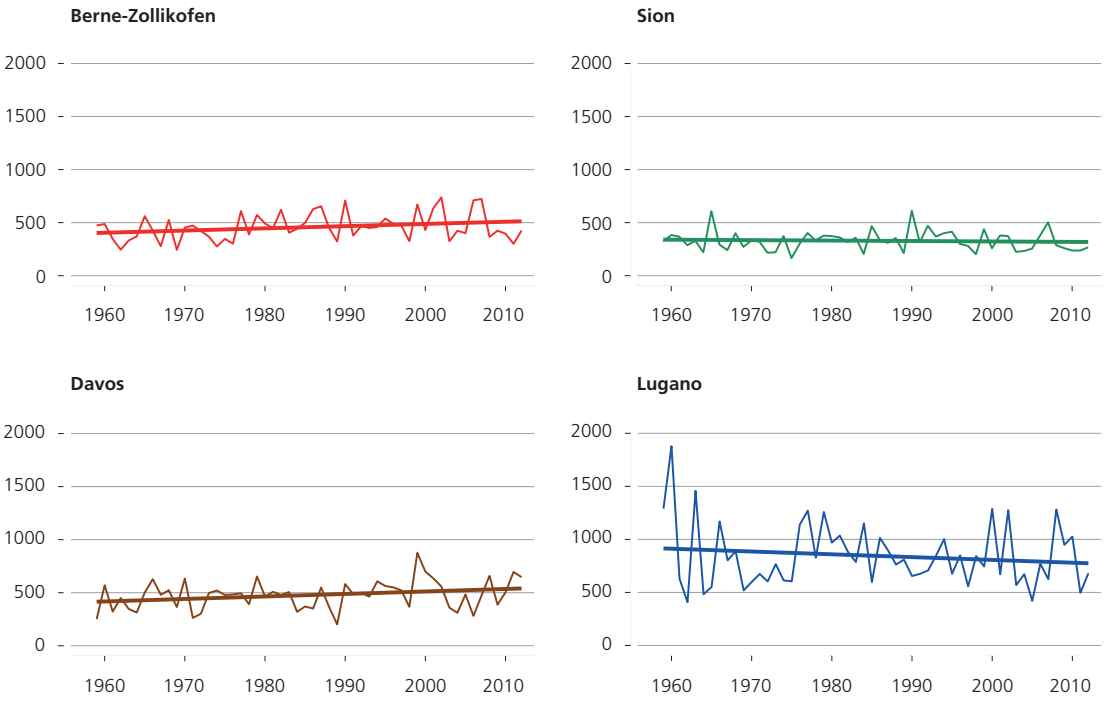


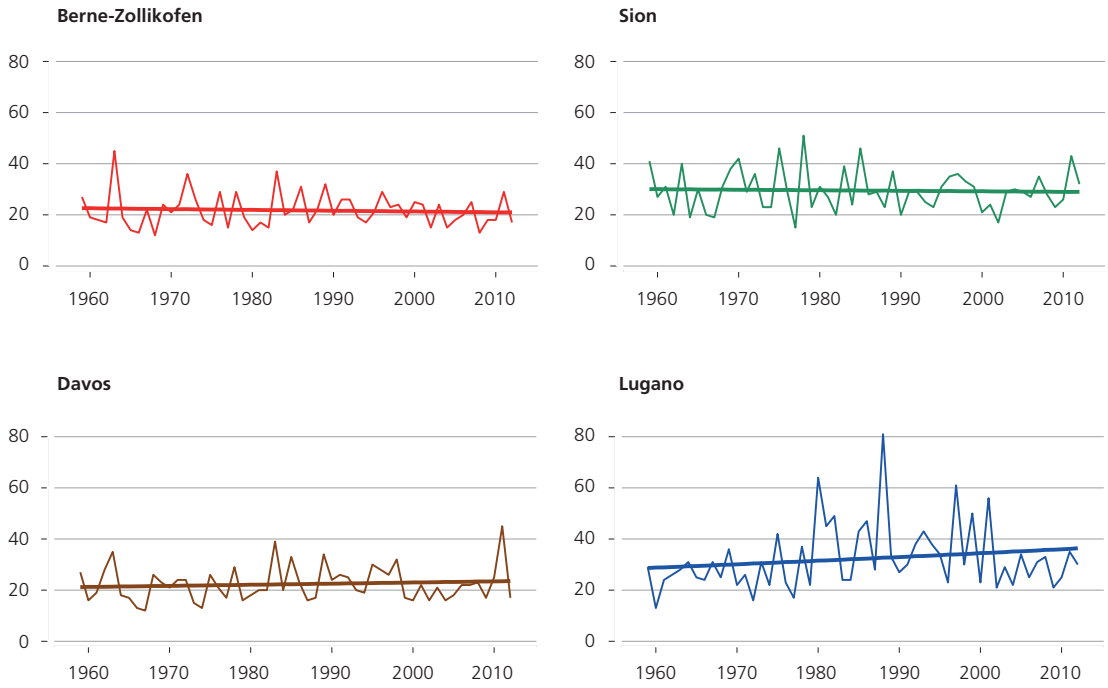
Figure 5.13:
Somme des précipitations annuelles de toutes les journées très humides pour les stations de Berne, Sion, Davos et Lugano. Sont considérées celles dont la somme des précipitations journalières fait partie des 5% des précipitations quotidiennes maximales. La période de référence va de 1961 à 1990.

Périodes de sécheresse

L'année 2012, avec de nombreuses précipitations, n'a pas connu de sécheresse particulièrement longue par rapport à la longueur moyenne de la norme 1961-1990. La plus longue période de sécheresse a été proche de la norme aux stations de mesures de Sion, avec 32 jours (norme 30 jours), et de Lugano, avec 30 jours (norme 32 jours). La plus longue période de sécheresse a été un peu plus courte que la norme à Berne, avec 17 jours (norme 22 jours), et à Davos, avec également 17 jours (norme 22 jours).

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. Cela vaut de manière très absolue pour les stations de mesures de Berne, Sion et Davos, la série de mesures de Lugano faisant apparaître au minimum une tendance au rallongement des périodes de sécheresse.

Figure 5.14:
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 montrent que les cinq dernières années pendant la période de végétation ont toutes été plus sèches que la moyenne à long terme.

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]).

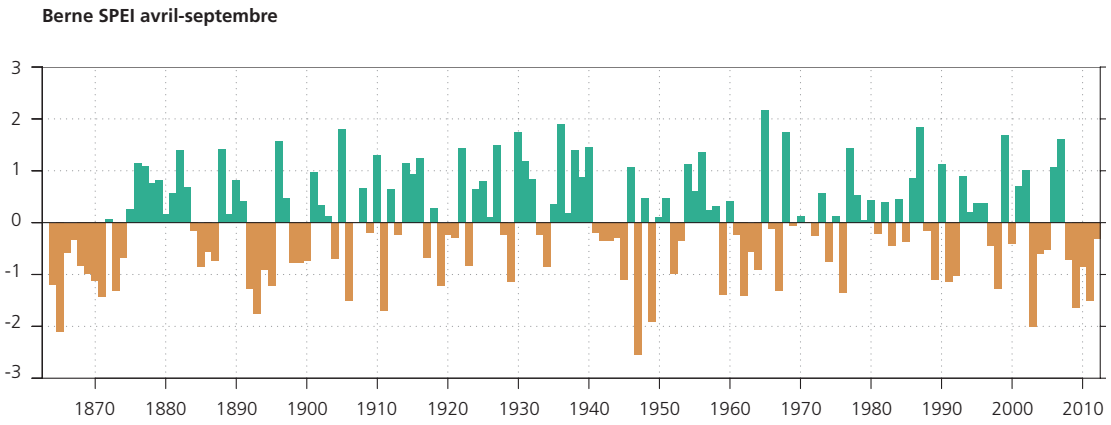


Figure 5.15:
SPEI durant toute la période de végétation (6 mois, d'avril à septembre) à la station de mesure de Berne. Les valeurs positives indiquent des conditions plus humides que la moyenne, les valeurs négatives, des conditions plus sèches (1864-2012).

5.1.2
Atmosphère libre

Limite du zéro degré

En 2012, la moyenne annuelle de la limite du zéro degré en atmosphère libre, déterminée quotidiennement à l'aide de ballons-sondes, a de nouveau atteint une valeur élevée dans la série de mesures réalisées depuis 1959, avec près de 2500 mètres. La chaleur élevée relevée en 2012 dans les stations de mesures au sol se confirme donc également en atmosphère libre. L'altitude particulièrement basse de la limite du zéro degré en 2010 suivie du niveau record en 2011 est remarquable et démontre combien la variabilité peut être forte d'une année sur l'autre, à l'instar de la variabilité de la température moyenne annuelle.

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 1959-2012, avec une hausse de 70 m tous les 10 ans. Un chiffre qui se recoupe avec les tendances saisonnières de la limite du zéro degré fournies par les stations de mesures au sol (chapitre 5.1.1).

Altitude de la tropopause

La moyenne annuelle de l'altitude de la tropopause a de nouveau atteint une valeur élevée dans la série de mesures depuis 1959, avec près de 11 400 m en 2012. 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 1959-2012, avec une hausse de 56 m tous les 10 ans. C'est parfaitement conforme aux tendances saisonnières de la limite du zéro degré.

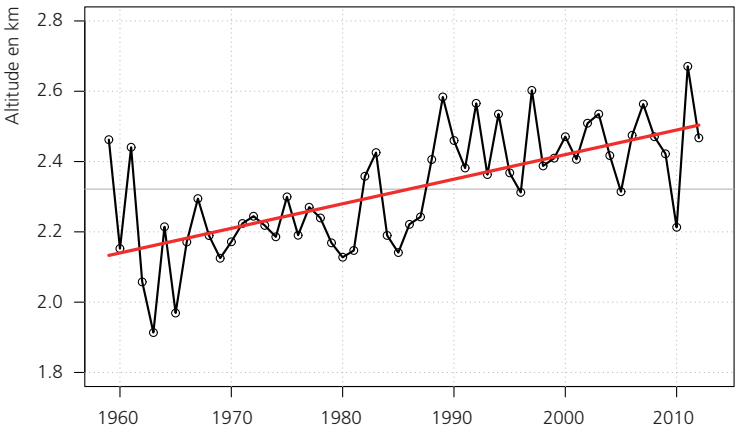


Figure 5.16:
Moyenne annuelle de la limite du zéro degré 1959- 2012 telle qu'obtenue par des lâchers quotidiens de ballons-sondes à la station aérologique de Payerne.

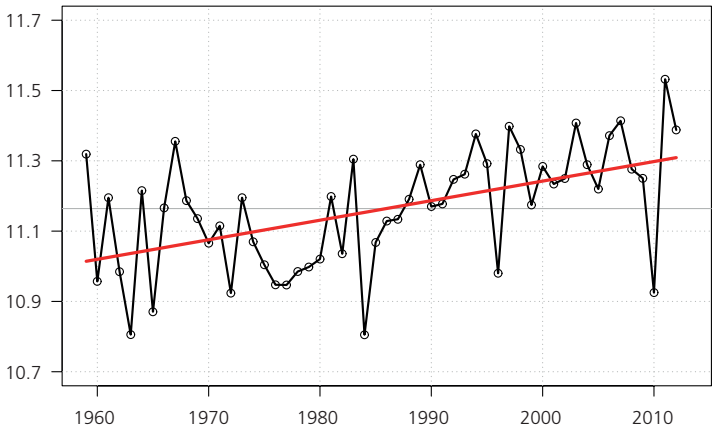


Figure 5.17:
Moyenne annuelle de l'altitude de la tropopause 1959-2012 telle qu'obtenue par des lâchers quotidiens de ballons-sondes à la station aérologique de Payerne.

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 l'ozone total 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 exactement à cette période 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 313 DU. Cependant, si l'année 2010 a une moyenne annuelle exceptionnellement élevée de 330 DU, les valeurs moyennes pour les années 2011 et 2012 sont proches de 300 DU. Ceci démontre la grande variabilité de l'ozone total selon les années.

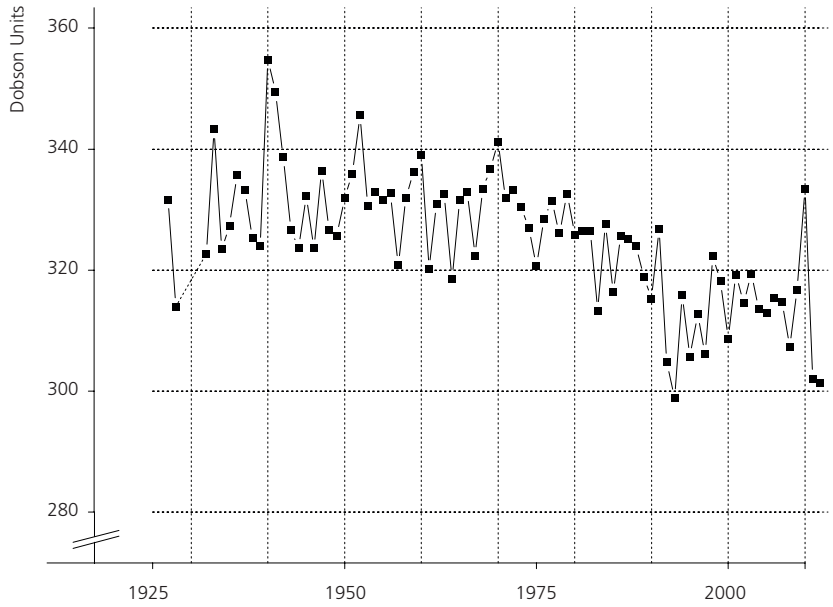


Figure 5.18:
Colonne d'ozone total à Arosa au cours de la période 1927-2012. 100 unités Dobson (Dobson Unit) = 1 mm d'ozone pur à 1013 hPa et 0 °C.

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.

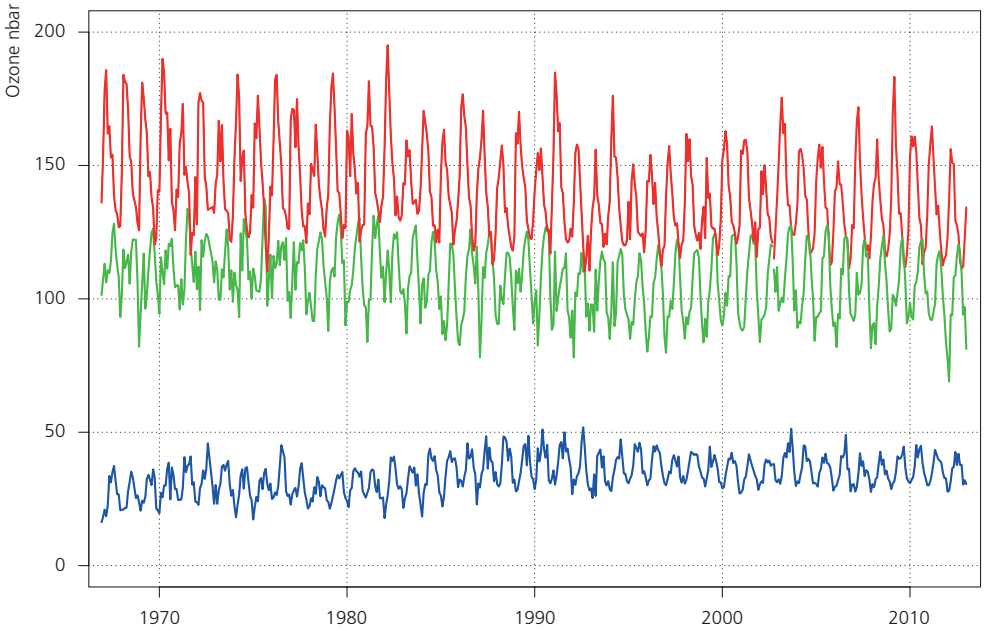


Figure 5.19:
Concentration mensuelle d'ozone à trois altitudes durant la période 1967- 2012. Bleu: 3 km; rouge: 22 km; vert: 27 km. La concentration d'ozone est donnée en pression partielle exprimée en nanobars (nbar).

Dans la tranche d'altitude entre 15 et 18 km (basse stratosphère), au cours de la période 2001-2012 on a continué d'observer une tendance à la diminution de la concentration d'ozone (figure 5.20). Au-dessus de 18 km (moyenne stratosphère), on note une légère tendance à la hausse mais qui n'est pas significative. La zone sans valeurs entre 10 et 15 km correspond à une couche où aucune modification n'est observée. Sous les 10 km (troposphère), on relève des tendances à la baisse mais qui ne sont toutefois pas significatives à la plupart des altitudes.

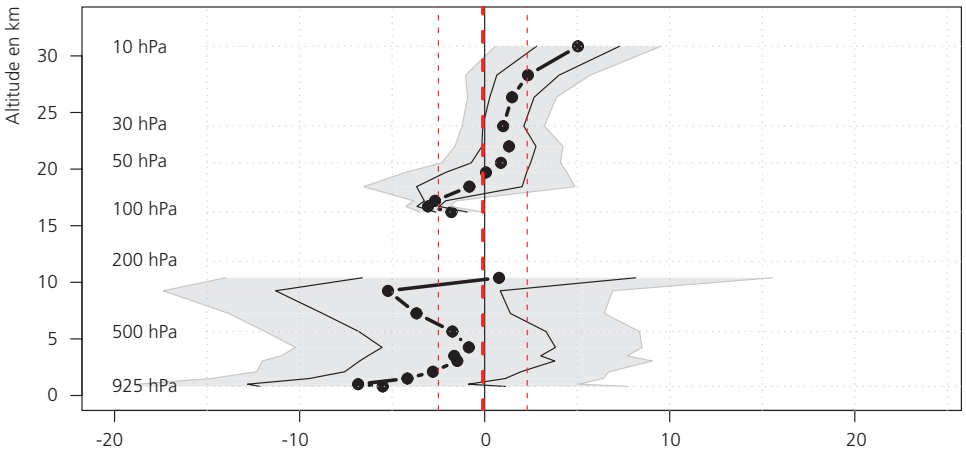


Figure 5.20:
Variation des concentrations d'ozone entre 2001 et 2012 à différentes altitudes entre 0.5 et 31 km, exprimée en pour cent de variation des concentrations auxdites altitudes par tranche de 10 ans (%/10 ans).

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 continuelles 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 sur 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.

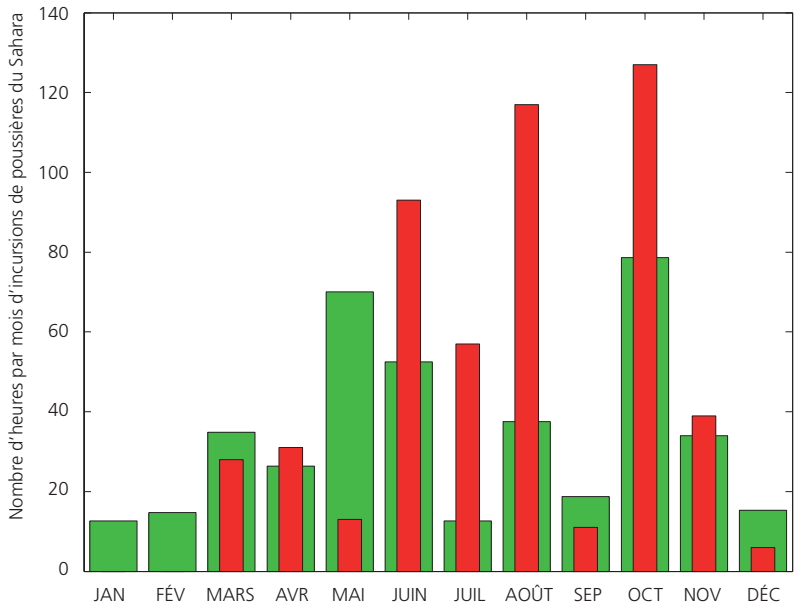


Figure 5.21:
Nombre d'heures par mois d'incursions de poussières minérales en provenance du Sahara à la station de mesure du Jungfraujoch 2001-2012. En 2010-2011, les valeurs mesurées n'ont pas pu être utilisées pendant de longues périodes rendant impossible l'enregistrement des SDE.

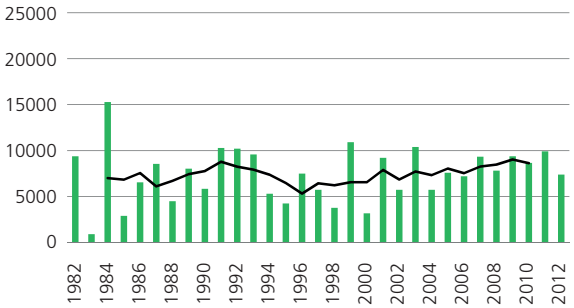
Intensité des pollens

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

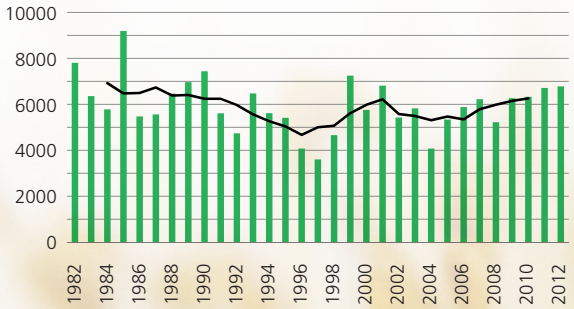
Dans le cas du bouleau, l'intensité de la saison des pollens dépend, d'une part, de la météo de l'année précédente, étant donné que les chatons de fleurs se forment dès l'été de l'année précédente. Un temps chaud se traduit par un plus grand nombre de chatons. Par ailleurs, l'intensité dépend aussi du temps qu'il fait pendant la floraison ainsi que 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 2012 a été marquée par une floraison plutôt faible, voire moyenne. Cette année, les hêtres n'ont pas du tout fleuri et les chênes ainsi que les noisetiers ont également tous deux enregistré une faible saison pollinique. Les aulnes, les bouleaux, les graminées, l'ambroisie et l'armoise ont affiché des quantités de pollens normales. La saison des frênes était plus forte que la normale en Suisse romande et plus faible en Suisse centrale et orientale. De façon générale, les indices polliniques saisonniers de l'aulne, du frêne et plus particulièrement du bouleau étaient élevés au Tessin, même si le nombre de jours à forte dispersion des pollens de ces espèces se situait généralement dans la moyenne.

Bouleau Suisse centrale et Suisse orientale



Graminées Suisse centrale et Suisse orientale



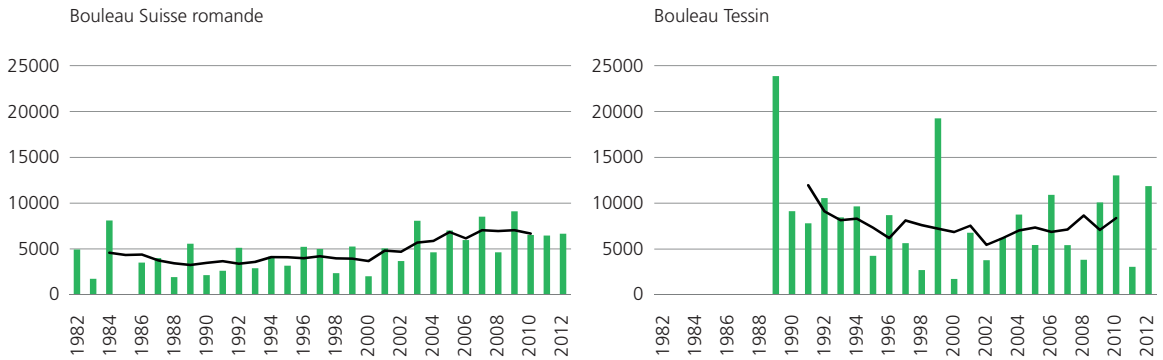


Figure 5.22:
Intensité de la dispersion des pollens de bouleau dans trois régions entre 1982 et 2012. L'indice pollinique saisonnier est la somme des concentrations quotidiennes de pollen.

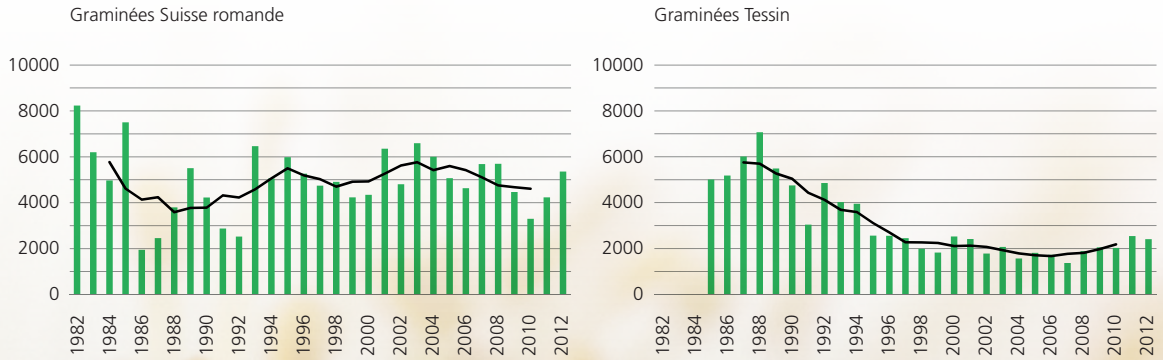


Figure 5.23:
Intensité de la dispersion des pollens de graminées dans trois régions entre 1982 et 2012. L'indice pollinique saisonnier est la somme des concentrations quotidiennes de pollen.

5.2
Terres émergées

Sommes de neige fraîche et journées de neige fraîche

Dès la fin de l'année 2011, la neige était particulièrement abondante dans les Alpes suisses, à l'exception du Sud. De grandes quantités de neige sont une nouvelle fois tombées en altitude dans les premiers jours de l'année 2012. Durant le semestre hivernal 2011/12, Arosa a finalement enregistré une somme de neige fraîche supérieure à la moyenne par rapport à la norme 1961-1990 (726 cm / norme 631 cm).

Le temps est en revanche resté doux et globalement sans neige en plaine. A Lucerne, le semestre hivernal a apporté une somme de neige fraîche d'à peine 17 cm (norme 83 cm). Avec le semestre hivernal 1973/74, c'est la cinquième somme de neige fraîche la plus basse depuis le début des mesures en 1883/84. A la station de mesures d'Einsiedeln, en moyenne altitude, la somme de neige fraîche hivernale de 231 cm est également restée bien en-deçà de la norme de 341 cm et il en va de même de la station de mesures d'altitude de Segl-Maria avec 279 cm sur le versant sud des Alpes (norme 312 cm).

Aucune des séries de mesures relatives aux sommes de neige fraîche au cours du semestre d'hiver auxquelles il a été fait référence n'indique une tendance significative. 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.

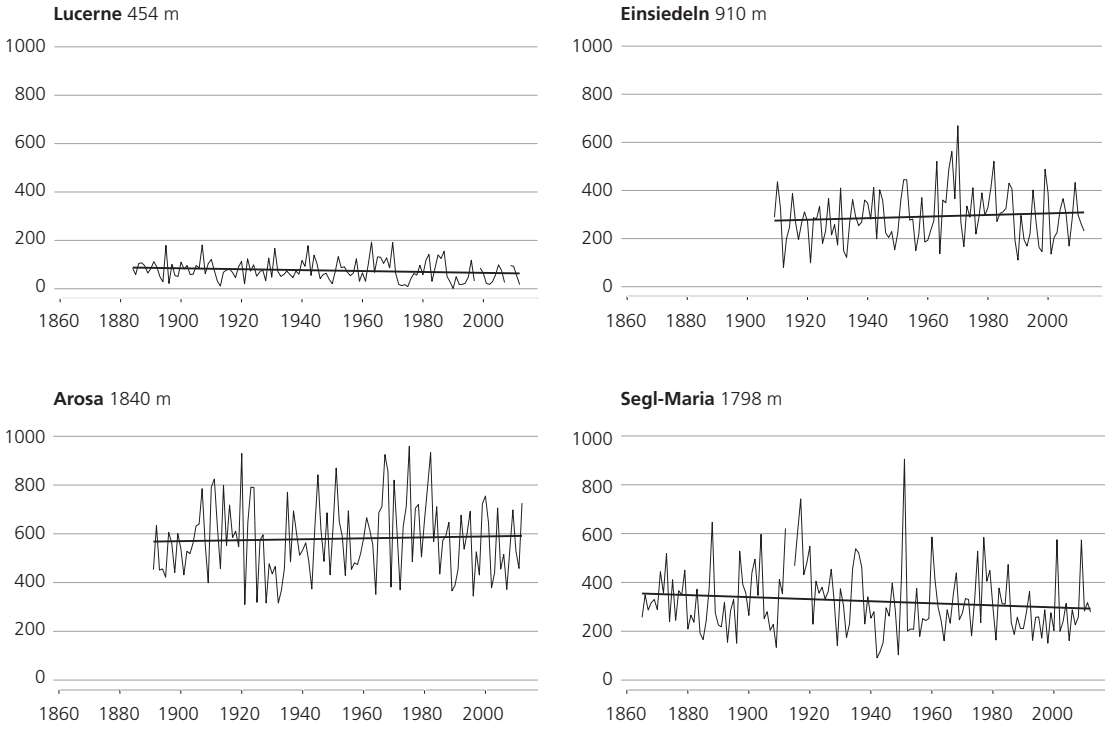


Figure 5.24:
Sommes de neige fraîche en cm durant le semestre d'hiver du début des mesures à 2012 dans les stations de mesures de Lucerne (454 m d'altitude), d'Einsiedeln (910 m), d'Arosa (1840 m) et de Segl-Maria (1798 m).

Le nombre de jours de neige fraîche était inférieur à la moyenne dans toutes les stations de mesures détaillées ici: Arosa 56 jours (norme 71 jours), Einsiedeln 41 jours (norme 46 jours), Lucerne 4 jours (norme 18 jours) et Segl-Maria 25 jours (norme 42 jours). Cela reflète le fait que les grandes quantités de neige alpines sont tombées à l'occasion de quelques rares événements de chute de neige d'une grande intensité.

Les séries de mesures d'Arosa (+1.7 jour/10 ans) et d'Einsiedeln (+0.7 jour/10 ans) indiquent une tendance significative à l'augmentation du nombre de jours de neige fraîche. Une analyse plus précise fait toutefois apparaître qu'ici, en particulier, la phase des années 1960 aux années 1980 a fourni davantage de jours de neige fraîche, tandis que les chiffres antérieurs et ultérieurs sont nettement inférieurs.

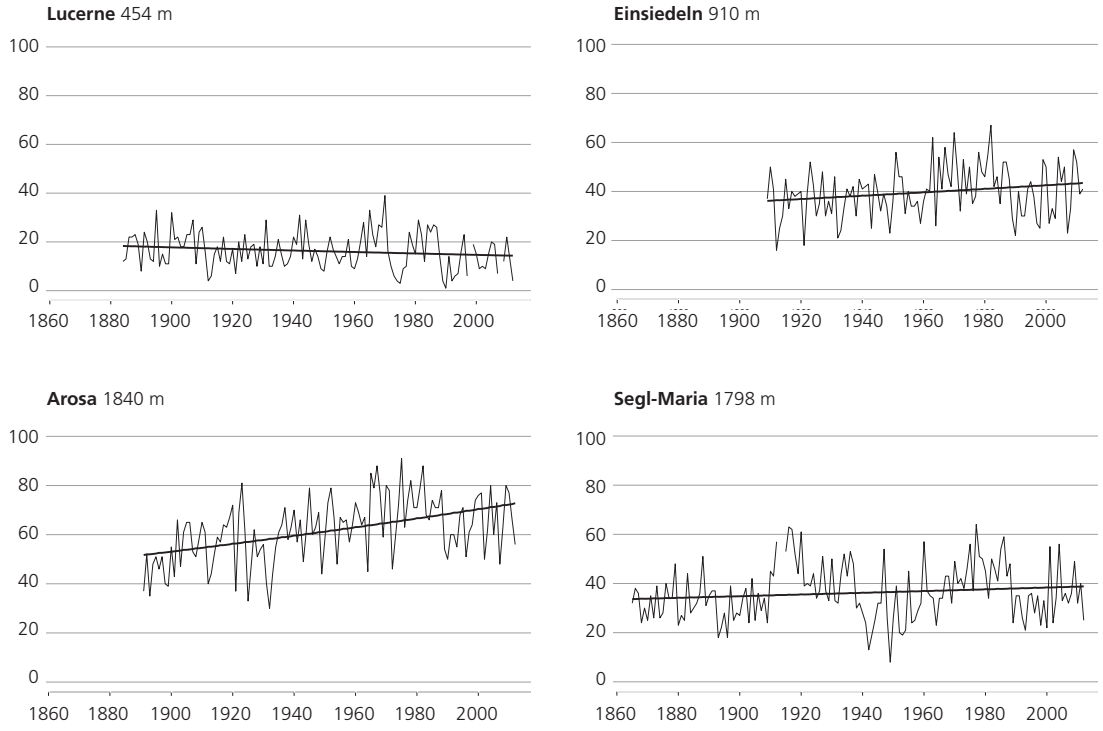


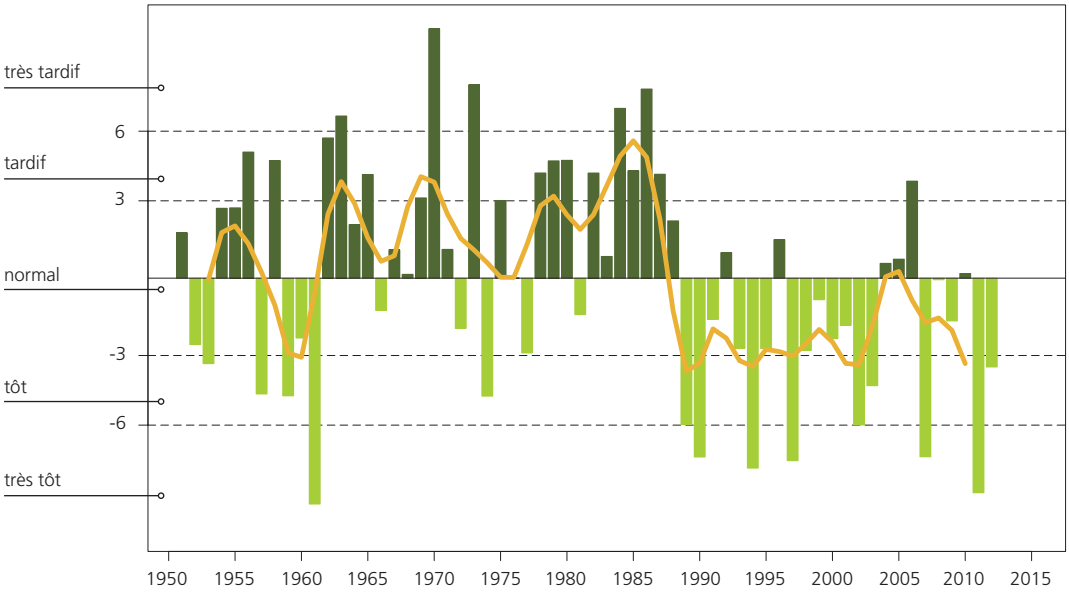
Figure 5.25:
Nombre de jours de neige fraîche au semestre d'hiver du début des mesures à 2012 dans les stations de mesures de Lucerne (454 m d'altitude), d'Einsiedeln (910 m), d'Arosa (1840 m) et de Segl-Maria (1798 m).

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]. Des températures hivernales normales avec toutefois un mois de février très froid, combinées avec un mois de mars très chaud et un mois d'avril légèrement trop chaud ont entraîné un développement de la végétation quelque peu précoce au printemps 2012.

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 5.26:
Etat annuel du développement de la végétation en Suisse (indice du printemps) 1951-2012 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 de floraison relevée en 2012, début avril, se situe dans la moyenne par rapport aux deux dernières décennies.

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 raison des températures hivernales normales en 2011/2012 et d'un mois de février 2012 très froid, la première feuille est apparue plutôt tard, à savoir à la mi-mars 2012.

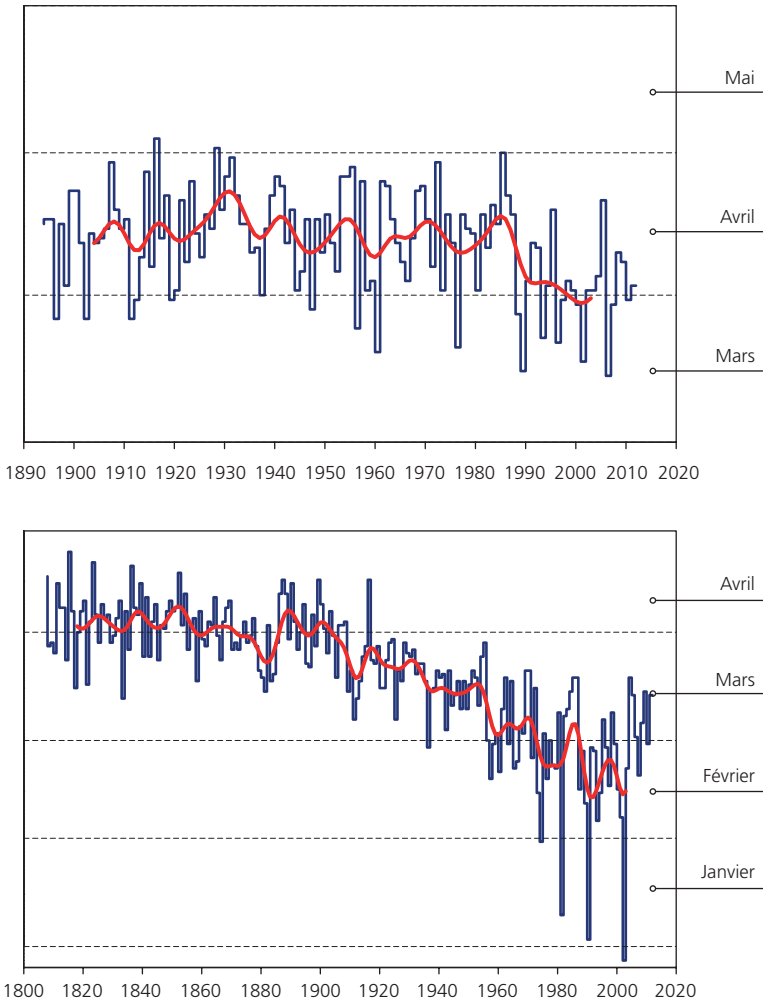


Figure 5.27:
Floraison des cerisiers près de Liestal durant la période 1894-2012 (ci-dessus) et apparition de la première feuille du marronnier à Genève au cours de la période 1808-2012 (ci-dessous).

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 le jeu standard de 12 séries de mesures homogènes [2] du réseau suisse de mesures climatiques (Swiss National Basic Climatological Network; Swiss NBCN [1]).

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

La méthode suivante est utilisée pour calculer la limite du zéro degré: pour chaque moment (saisonnier ici, donc l'hiver 1962 p. ex.), la limite du zéro degré est déterminée par régression linéaire entre les températures moyennes homogénéisées et l'altitude (avec une évaluation de la marge d'erreur) [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 les 12 séries de mesures homogènes disponibles [2] du réseau suisse de mesures climatiques (Swiss National Basic Climatological Network; Swiss NBCN [1]).

Jours de fortes précipitations

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

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

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.

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'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). Rapport de travail MétéoSuisse n° 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. MétéoSuisse, Zurich.

[3] North N., Kljun N., Kasser F., Heldstab J., Maibach M., Reutimann J., Guyer M., 2007: Changements climatiques en Suisse. Indicateurs des causes, des effets et des mesures. Etat de l'environnement n° 0728. Office fédéral de l'environnement, Berne.

[4] Voir http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/

[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] Voir http://www.r-project.org

[7] Studer S., Appenzeller C. and Defila C., 2005: Interannual variability and decadal trends in Alpine spring phenology: A multivaritae 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. Publications de MétéoSuisse n° 63. MétéoSuisse, Zurich.

[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., Laternser M., 2004: Trends in Swiss Alpine snow days: The role of local- and large-scale climate variability. Geophys. Res. Lett., 31, L13215, doi: 1029/2004GL020255.

[11] Laternser 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, Institut de Géographie de l'Université de Berne, travail de diplôme.

[14] University of East Anglia, 2013: Temperature anomaly (from the base period 1961-90) datasetsHadCRUT3 and CRUTEM3. http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/temperature/#datdow

[15] IPCC, 2007: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (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., Molenar, J. V., O'Dowd, C., Ogren, J. A., Schichtel, B. A., Sheridan, P., Virkkula, A., Weingartner, E., Weller, R., and Laj, P. 2013: Aerosol decadal trends – Part 1: In-situ optical measurements at GAW and IMPROVE stations, Atmos. Chem. Phys., 13, 869-894, doi:10.5194/acp-13-869-2013.

[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), Berne. 17 pp. et 2 annexes. (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] SeizG.,FoppaN.,2007:NationalesKlima-Beobachtungssystem (GCOS Schweiz). Publication de Météo-Suisse et ProClim, 92 pp. http://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. http://www.ch2011.ch/

[24] OMM, 2003: GCOS-82. Second Report on the Adequacy of the Global Observing Systems for Climate in Support of the UNFCCC. WMO TD 1143.

[25] OMM 2013: WMO statement on the status of the global climate in 2012. Version provisoire janvier 2013. Version provisoire novembre 2012 sur: http://www.wmo.int/pages/mediacentre/press_releases/documents/966_WMOstatement.pdf

[26] Données MEI sous: http://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. http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/GCDS_1.php http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/documents/Rev_discussion_paper_May2012.pdf

[29] Sturmarchiv Schweiz. Swiss Severe Weather Database. Page spéciale Trombe sur le lac de Zurich. http://sturmarchiv.ch/index.php/Spezialseite_Wasserhosen_Z%C3%BCrichsee

[30] Wakimoto M.R., Wilson J.W., 1989: Non-supercell Tornadoes. Monthly Weather Review 117, 1113-1140.

[31] Güller A., 1979: Die Nullgradgrenze in der Schweiz 1951-1978, nach den Radiosondierungen von Payerne. Klimatologie in der Schweiz, Heft 21/0. Beiheft zu den Annalen der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt (Jahrgang 1978).

ghost.company

Adresses
MeteoSchweiz
Krähbühlstrasse 58
CH-8044 Zürich
T +41 44 256 91 11

MeteoSchweiz
Flugwetterzentrale
CH-8050 Zürich-Flughafen
T +41 43 816 20 10

MeteoSvizzera
Via ai Monti 146
CH-6605 Locarno 5 Monti
T +41 91 756 23 11

MétéoSuisse
7bis, av. de la Paix
CH-1211 Genève 2
T +41 22 716 28 28

MétéoSuisse
Chemin de l'Aérologie
CH-1530 Payerne
T +41 26 662 62 11

Site Internet
www.meteosuisse.ch

Téléchargement
www.meteosuisse.ch

Contact
klimainformation@meteosuisse.ch