Hauteurs moyennes des précipitations dans la zone alpine européenne 1971–2008

Résumé
Les présentes cartes montrent la répartition des précipitations moyennes dans la zone alpine pendant la période 1971–2008 pour une année calendaire, les douze mois calendaires et les quatre saisons. Le jeu de données raster utilisé contient pour chaque jour de la période une analyse spatiale des précipitations comprenant des données de quelque 8500 stations. Les moyennes régionales sont indiquées pour les bassins versants d'au moins 100 km^2.

Auteurs: Francesco A. Isotta[1], Christoph Frei[1], Jan Schwanbeck[2]
[1] *Office fédéral de météorologie et de climatologie MétéoSuisse, Operation Center 1, CH-8058 Zurich-Aéroport*
[2] *Atlas hydrologique de la Suisse, Hallerstrasse 12, CH-3012 Berne*

1 Introduction

Les montagnes influencent les processus atmosphériques de multiples façons, ce qui se traduit par la grande variabilité spatiale des précipitations. Dans l'espace alpin, les précipitations annuelles moyennes peuvent ainsi présenter sur moins de 100 km d'aussi grandes différences qu'entre la Crète et la côte ouest de l'Ecosse. Ces variations sont complexes et ne peuvent qu'imparfaitement être décrites comme fonction de l'altitude, contrairement à celles de la température. Le régime des précipitations influe sur le caractère d'un paysage et sur les écosystèmes naturels ; il faut donc absolument en tenir compte lors de la planification d'infrastructures civiles ou de mesures de gestion des eaux, ainsi que lors de l'affectation des terres agricoles.
Les présentes cartes des hauteurs pluriannuelles moyennes de précipitations dans la zone alpine remplacent les cartes des précipitations figurant dans les planches 2.6 [1] et 2.7 [2] de l'Atlas hydrologique. Tout comme les planches 2.6 et 2.7, elles résultent d'analyses climatologiques des précipitations portant sur l'ensemble de la zone alpine. Les nouvelles cartes couvrent une période presque deux fois plus longue et se basent sur un nombre encore plus élevé d'observations provenant des réseaux de mesure nationaux et régionaux des pays alpins.

2 Données et méthodologie

Les cartes des hauteurs pluriannuelles moyennes des précipitations dans la zone alpine sont basées sur le jeu de données « Alpine Precipitation Grid Dataset » (APGD) [3]. Le jeu de données, les méthodes d'analyse, les mesures utilisées et les différentes sources d'erreur sont décrits plus en détail dans [3].
Le jeu de données raster APGD contient pour chaque jour de la période 1971–2008 une analyse spatiale des précipitations pour une zone englobant les Alpes européennes et les plaines adjacentes. L'estimation de la répartition spatiale des précipitations s'appuie sur les valeurs des hauteurs journalières des précipitations mesurées à plus de 8500 stations. La résolution spatiale effective du jeu de données correspond à peu près à la distance moyenne séparant deux stations de mesure voisines, soit 10–20 km. La résolution technique équivaut à la taille des cellules du raster, soit 5 km x 5 km.
Les analyses des précipitations ont été réalisées en cinq étapes :

1. La hauteur pluriannuelle moyenne des précipitations pendant la période de référence 1971–1990 est calculée pour toutes les stations de mesure et chaque mois calendaire.
2. Ces moyennes climatologiques des stations sont interpolées spatialement, de sorte à fournir pour chaque mois calendaire et chaque cellule du raster une valeur pluviométrique pour la période de référence 1971-1990. Cette interpolation tient compte de relations statistiques entre les valeurs pluviométriques des stations et la topographie de leurs alentours, déterminées par le modèle régressif PRISM (Parameter-elevation Regressions on Independent Slopes Model [4], [5]).
3. L'anomalie relative (ou écart relatif) de la hauteur de précipitations mesurée par rapport à la moyenne mensuelle pluriannuelle de (1) est calculée pour chaque jour de la période 1971–2008 et pour chaque station de mesure.
4. Les anomalies relatives aux stations de mesure sont interpolées spatialement sur les cellules du raster au moyen d'une version modifiée de l'algorithme SYMAP [6], [7].
5. Les champs d'anomalie journaliers de l'étape (4) sont multipliés par les analyses climatologiques des précipitations du mois calendaire correspondant de l'étape (2).

Lors de la création du jeu de données APGD, il a fallu accepter les erreurs suivantes :

- Erreurs de mesure systématiques : les hauteurs de précipitations mesurées n'ont pas pu être corrigées par manque de données sur les vents. Il faut donc s'attendre à ce que la quantité de précipitations soit sous-estimée, avec des variations dans le temps et dans l'espace. Les erreurs sont particulièrement grandes en cas de fort vent et

Texte expliquant ©Atlas hydrologique de la Suisse, Berne 2018 – 1

de chute de neige hivernale ainsi qu'en altitude [8]. La correction de cette erreur s'est avérée difficile [9], elle a donc été omise dans la présente analyse.

- Erreurs de mesure accidentelles : des appareils de mesure défectueux, des imprécisions de mesure ou des problèmes de transmission peuvent être source d'erreurs. La plupart des données avaient déjà été contrôlées par le fournisseur. Un contrôle de plausibilité automatique a en outre été effectué. Malgré tout, des valeurs erronées ne peuvent être exclues.
- Erreurs d'interpolation : concernant les cellules du raster entre les stations pour lesquelles la hauteur des précipitations a été estimée, ces erreurs diminuent lorsque le nombre de cellules réunies en une moyenne spatiale augmente. A haute altitude, il faut s'attendre à une erreur d'interpolation accrue, vu qu'il y a moins de stations.

Pour l'Atlas hydrologique, le jeu de données APGD est agrégé sur une base temporelle, de manière à fournir pour la période 1971–2008 douze cartes des précipitations mensuelles moyennes et une carte des précipitations annuelles moyennes. Les moyennes pluriannuelles sont agrégées spatialement pour les bassins versants d'au moins 100 km^2.

3 Résultats

A grande échelle, la répartition des précipitations annuelles moyennes se caractérise par deux bandes bien individualisées le long des versants nord et sud de l'arc alpin, qui englobent des zones enregistrant des hauteurs de précipitations considérables. La bande sud se subdivise elle-même en deux parties. Les deux bandes se rejoignent dans la région du col du Gothard ; ailleurs, elles sont séparées par une zone intra-alpine plus sèche, particulièrement vaste au Tyrol. Ainsi, les stations de montagne intra-alpines enregistrent des quantités de précipitations plus faibles que les stations situées en bordure des Alpes. Dans l'avant-pays, les moyennes montagnes, qui culminent au maximum à 1500 m (Forêt-Noire, p. ex.), sont copieusement arrosées, malgré leur faible altitude. Contrairement à ce qui est le cas dans les Alpes, les précipitations les plus abondantes y sont enregistrées aux endroits les plus élevés.

En moyenne sur l'ensemble du territoire couvert par la carte, les valeurs des précipitations mensuelles sont nettement plus basses de décembre à mars (65 à 86 mm par mois) que de mai à novembre (97 à 107 mm par mois). De façon générale, la répartition spatiale des précipitations mensuelles correspond à celle des précipitations annuelles et se caractérise notamment par des zones riches en précipitations le long des versants alpins et sur les massifs de moyenne altitude, ainsi que par une zone intra-alpine plus sèche. Ces divers éléments se marquent toutefois de façon variable selon les mois.

En hiver (de décembre à février), par rapport aux autres saisons, les précipitations sont inférieures dans l'ensemble de la région alpine. La zone humide qui longe le versant sud des Alpes est peu marquée. Les régions intra-alpines, la Basse-Autriche et la Carinthie restent particulièrement au sec. En revanche, les moyennes montagnes comme le Jura, les Vosges ou la Forêt-Noire reçoivent davantage de précipitations que pendant les autres saisons. Cette répartition est notamment induite par les dépressions fréquentes sur l'Europe du Nord, les successions de fronts qui leur sont liées et les courants de secteur nord-ouest.

Au printemps (de mars à mai), les différences entre les hauteurs de précipitations enregistrées sur le versant nord des Alpes, sur les moyennes montagnes et en plaine s'estompent. Les précipitations se font particulièrement abondantes le long du versant sud des Alpes (Tessin, Alpes carniques et juliennes). Ces anomalies s'expliquent par la fréquence des courants du sud et le début de l'activité orageuse vers la fin du printemps.

En été (de juin à août), la côte méditerranéenne et les Apennins essuient peu de précipitations, alors que les Alpes centrales et orientales sont copieusement arrosées. Les quantités de précipitations maximales sont relevées le long du versant nord des Alpes. La bande humide correspondante s'étend plus loin en plaine que pendant les autres saisons. Les orages dans les Alpes et les Préalpes sont la principale cause de ce schéma.

En automne (de septembre à novembre), la répartition spatiale des précipitations est semblable à celle observée au printemps : les Alpes juliennes, carniques et dinariques sont particulièrement arrosées, tout comme le massif Central. La forte évaporation à partir de la surface chaude de la mer et les fréquentes dépressions centrées sur l'ouest de la Méditerranée contribuent au transfert de grandes quantités d'eau de la mer vers la zone alpine. Les Alpes méridionales essuient donc fréquemment d'intenses précipitations en automne [3], [7].

D'un mois à l'autre, la répartition des précipitations est soumise à des variations parfois marquées, surtout pendant le semestre d'été. Ainsi, le déclenchement de l'activité orageuse au nord des Alpes provoque un net changement de la pluviosité de mai à juin. En Suisse méridionale et en Italie du Nord, la phase estivale pluvieuse s'affaiblit temporairement en juillet. Finalement, la brusque diminution des précipitations d'août à septembre marque le déclin de l'activité orageuse estivale sur les Alpes. En automne, le mois d'octobre est particulièrement pluvieux au sud des Alpes.

Références

[1] Schwarb, M., Daly, C., Frei, C. et Schär, C. (2001a). Mittlere jährliche Niederschlagshöhen im europäischen Alpenraum 1971-1990. In : *Hydrologischer Atlas der Schweiz*. T. 1. 2 t. Tafel 2.6. Bern. URL : http://www.hydrologischeratlas.ch/de/produkte/druckausgabe/niederschlag/tafel-2-6.

[2] Schwarb, M., Daly, C., Frei, C. et Schär, C. (2001b). Mittlere saisonale Niederschlagshöhen im europäischen Alpenraum 1971-1990. In : *Hydrologischer Atlas der Schweiz*. T. 1. 2 t. Tafel 2.7. Bern. URL : http://www.hydrologischeratlas.ch/de/produkte/druckausgabe/niederschlag/tafel-2-6.

[3] Isotta, F. A. et al. (2014). The climate of daily precipitation in the Alps: development and analysis of a high-resolution grid dataset from pan-Alpine rain-gauge data. In : *International Journal of Climatology* 34.5, p. 1657–1675. ISSN : 1097-0088. DOI : 10.1002/joc.3794. URL : http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/joc.3794/full (visité le 21/01/2018).

[4] Daly, C., Neilson, R. P. et Phillips, D. L. (1994). A Statistical-Topographic Model for Mapping Climatological Precipitation over Mountainous Terrain. In : *Journal of Applied Meteorology* 33.2, p. 140–158. ISSN : 0894-8763. DOI : 10.1175/1520-0450(1994)033<0140:ASTMFM>2.0.CO;2. URL : http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/1520-0450%281994%29033%3C0140%3AASTMFM%3E2.0.CO%3B2 (visité le 22/01/2018).

[5] Daly, C., Gibson, W. P., Taylor, G. H., Johnson, G. L. et Pasteris, P. (2002). A knowledge-based approach to the statistical mapping of climate. In : *Climate Research* 22.2, p. 99–113. ISSN : 0936-577X, 1616-1572. DOI : 10.3354/cr022099. URL : http://www.int-res.com/abstracts/cr/v22/n2/p99-113/ (visité le 22/01/2018).

[6] Shepard, D. S. (1984). Computer Mapping: The SYMAP Interpolation Algorithm. In : *Spatial Statistics and Models*. Theory and Decision Library. Springer, Dordrecht, p. 133–145. ISBN : 978-94-017-3048-8. DOI : 10.1007/978-94-017-3048-8_7. URL : https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-017-3048-8_7 (visité le 22/01/2018).

[7] Frei, C. et Schär, C. (1998). A precipitation climatology of the Alps from high-resolution rain-gauge observations. In : *International Journal of Climatology* 18.8, p. 873–900. ISSN : 1097-0088. DOI : 10.1002/(SICI)1097-0088(19980630)18:8<873::AID-JOC255>3.0.CO;2-9. URL : http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/(SICI)1097-0088(19980630)18:8%3C873::AID-JOC255%3E3.0.CO;2-9/abstract (visité le 22/01/2018).

[8] Sevruk, B. (1985). *Systematischer Niederschlagsmessfehler in der Schweiz*. Beiträge zur Geologie der Schweiz – Hydrologie 31. Bern.

[9] Schädler, B. et Weingartner, R. (2002). Ein detaillierter hydrologischer Blick auf die Wasserressourcen der Schweiz. In : *Wasser, Energie, Luft* 7/8.94, p. 189–197.