

## **Planche 2.6 Hauteurs annuelles moyennes des précipitations dans la zone alpine européenne 1971–1990**

### **Introduction**

Les multiples influences d'un massif montagneux sur les processus atmosphériques se manifestent par d'importantes variations climatiques régionales des précipitations. Ainsi trouve-t-on dans l'espace alpin, sur moins de 100 km, des différences de précipitations annuelles moyennes aussi grandes qu'entre la Crète et la côte ouest de l'Ecosse. Les quantités de précipitations subissent des variations complexes et, contrairement aux températures, ne peuvent qu'imparfaitement être décrites comme fonction de l'altitude. Les conditions de précipitations influent sur le caractère d'une région et son écosystème; il faut impérativement en tenir compte lors de la planification d'infrastructures de génie civil ou lors de l'affectation des terres agricoles.

Dans les Alpes, les précipitations sont relevées à une échelle plus fine que dans n'importe quelle autre chaîne de montagnes du monde. Les réseaux de mesures météorologiques et hydrologiques des pays alpins comprennent en tout plusieurs milliers de stations pluviométriques, la distance moyenne entre stations étant de 10 à 15 km (v. par exemple planche 2.1). Les données fournies par ces réseaux à haute résolution ont déjà été utilisées pour établir toute une série de cartes nationales des précipitations (par exemple planche 2.2). Pour une analyse des précipitations englobant l'ensemble de la chaîne alpine (par exemple [1,3]), on ne disposait jusqu'ici que de données provenant de réseaux peu étendus; des cartes plus générales de précipitations ne pouvaient être établies qu'au moyen d'une combinaison circonstanciée de diverses cartes nationales.

Les planches 2.6 et 2.7 représentent le résultat de l'analyse climatologique des précipitations pour l'ensemble de l'espace alpin (2°– 17°E, 43°– 49°N), basée sur toutes les observations disponibles des réseaux de mesure nationaux et régionaux des pays alpins. Les cartes de précipitations ont été établies au moyen d'une méthode spécialement établie pour une topographie complexe. Elles montrent la répartition des précipitations annuelles moyennes (planche 2.6), ainsi que les précipitations saisonnières (planche 2.7), les deux non corrigées. Cette analyse, englobant toute la région alpine, complète la carte des précipitations de la Suisse (planche 2.2) dans la mesure où elle permet des comparaisons par delà les frontières et montre les variations de hauteurs de précipitations, aussi bien dans l'ensemble de la région que pour une vallée ou un massif montagneux particulier.

### **Les données**

Les cartes de précipitations des planches 2.6 et 2.7 s'appuient sur une vaste base de données comprenant les observations de 5831 stations pluviométriques conventionnelles et de 259 totalisateurs. Ces derniers ont été inclus pour mieux tenir compte des conditions en haute montagne. La densité de répartition des stations est assez homogène, sauf en Italie du nord, où elle est parfois assez faible. Une liste des sources utilisées se trouve dans le tableau 1. On trouvera une description complète de cet ensemble de données pluviométriques dans [4]. Nous remercions ici les institutions citées de nous avoir permis d'utiliser cet abondant matériel.

Certaines des séries prises en compte ne couvrent pas complètement la période de référence (1971–1990). Pour le présent travail, il a donc fallu adapter les valeurs des précipitations annuelles moyennes des séries incomplètes à la période de référence [9]. Il faut compter avec une erreur d'environ 2 % sur les valeurs moyennes ainsi ajustées [6].

Les hauteurs de précipitations mesurées n'ont pas été corrigées de l'erreur systématique affectant les pluviomètres comme cela a été fait pour la planche 2.2 car cette correction nécessite des données (vent, exposition de la station) qui n'étaient pas disponibles.

## Analyse spatiale

Les données des stations ont été interpolées sur une grille régulière, constituées par des grands cercles de longitude et des petits cercles de latitude, avec une définition de 1.25 minutes. Pour cela on a utilisé le modèle régressif PRISM (Parameter-elevation Regressions on Independent Slopes Model [2,8]) qui, se basant sur un modèle digital d'altitudes, détermine une relation statistique entre les données des stations et la topographie. La procédure tient compte de ce que cette relation peut varier fortement au niveau régional. Pour chaque point de la grille, une régression entre la hauteur de précipitation et l'altitude a été calculée, dans laquelle les valeurs aux stations sont pondérées différemment selon leur représentativité au point de la grille. La pondération prend en considération des facteurs comme la distance et la différence de niveau avec le point de la grille ainsi que les différences d'exposition [2,6].

La figure 1 illustre cette pondération des valeurs par le modèle PRISM pour deux points de la grille, situés l'un en Valais et l'autre dans l'Oberland bernois. La proximité des points de la grille fait que, dans ces deux exemples, on a utilisé pratiquement les mêmes stations (soit 17 stations) pour l'interpolation. La pondération des stations, selon leur représentativité pour le point de la grille considéré, influence toutefois l'interpolation de façon significative.

L'erreur d'interpolation de PRISM a été estimée par recoupement entre diverses validations. Cette erreur est d'environ 20 % entre 500 et 1500 m d'altitude et de 25 % entre 1500 et 2500 m. Une comparaison avec d'autres procédures d'interpolation a montré qu'avec PRISM, les erreurs systématiques de ce type étaient faibles aux altitudes élevées [6].

## Répartition des précipitations dans les Alpes

Dans l'ensemble, les précipitations se répartissent en deux bandes bien individualisées englobant la bordure nord et la bordure sud de l'arc alpin. Ce sont des zones où les hauteurs de précipitations sont élevées. La bande sud peut elle-même être subdivisée en deux. La bande sud et la bande nord se réunissent près du col du St-Gothard. Ailleurs, elles sont séparées par la zone centrale de la chaîne alpine, plus sèche, particulièrement développée au Tyrol. La figure 2 montre cette structure dans un profil Nord-Sud. Les bandes à fortes précipitations sont centrées sur des zones d'environ 1000 m d'altitude et s'étendent sur près de 80 km de l'avant-pays environnant. Vers la crête principale des Alpes, la hauteur annuelle moyenne de précipitations diminue, malgré les altitudes plus élevées. Ainsi, les stations de montagne de la zone intérieure de la chaîne enregistrent des quantités de précipitations inférieures à ce qui est mesuré typiquement le long de la bordure des Alpes.

Dans l'avant pays, les massifs périalpins, où les altitudes sont inférieures à 1500 m (par exemple la Forêt Noire), sont très fortement arrosés malgré une situation basse. Au contraire des Alpes, les précipitations les plus hautes y sont observées aux endroits les plus élevés.

En règle générale, les quantités de précipitations croissent avec l'altitude. Le gradient d'altitude varie cependant de façon importante: il atteint 2 mm de lame d'eau par m d'altitude au pied nord et parfois aussi au pied sud des Alpes et même dans les massifs périalpins. A l'intérieur de la chaîne et sur son versant sud, il est habituellement compris entre 0 et 0.6 mm/m; il est même parfois légèrement négatif. La variabilité spatiale des gradients dénote une relation entre précipitations et topographie différente suivant les régions.

Bien que les quantités précipitées puissent varier considérablement d'une année à l'autre, le schéma spatial décrit se reconnaît aussi clairement pour les années prises isolément. La figure 3 montre les écarts relatifs de la moyenne des précipitations annuelles de périodes de cinq ans par rapport à la période de référence 1971–1990. Ces écarts se situent dans un domaine de  $\pm 15\%$ . Les différences entre les régions au nord et au sud de la crête principale des Alpes apparaissent clairement. Aucune tendance statistiquement significative à l'augmentation ou à la diminution des précipitations ne peut être mise en évidence sur les quatre périodes de cinq ans représentées dans la figure 3. Toutefois, une augmentation des précipitations hivernales a été observée sur l'ensemble du 20<sup>ème</sup> siècle, dans certaines régions du massif alpin [5,10].

## Comparaison

Une comparaison entre la carte des précipitations présentée ici et des cartes locales ou des cartes nationales de la région alpine montre de bonnes concordances qualitatives. Ceci est tout particulièrement valable aussi pour la carte des précipitations de la Suisse de la planche 2.2. Il y a cependant des différences quantitatives considérables; ainsi les précipitations régionales moyennes annuelles pour la Suisse sont de 1380 mm d'après la présente carte et de 1686 mm d'après celle de la planche 2.2. Voici quelques explications possibles pour ces différences:

Dans la planche 2.2, les données ont été corrigées de l'erreur systématique affectant les mesures de précipitations alors que cette correction n'a pas été effectuée pour la présente planche. Il en résulte des lames d'eau généralement plus faibles. Pour les précipitations annuelles moyennes, l'erreur de mesure systématique a été estimée à 5–10 % en plaine et à 15–30 % au-dessus de 1500 m d'altitude [7].

La période de référence n'est pas la même pour les deux cartes. La période 1971–1990, sur laquelle est construite cette planche-ci, montre par rapport à la période 1951–1980 (planche 2.2) environ 2.5 % de précipitations en plus pour l'ensemble de la Suisse. Les différences se situent, pour la plupart des stations, dans une bande allant de –1 % à +5 %.

Les deux cartes de précipitations ne sont pas fondées sur les données des mêmes stations. La planche 2.2 utilise les données de 340 stations suisses, et la planche 2.6 s'appuie sur 693 stations. Dans les régions proches des frontières, l'analyse effectuée pour cette dernière planche tient également compte des observations faites dans les pays voisins.

Au contraire de la méthode de krigeage utilisée pour la planche 2.2, basées sur un gradient de précipitations uniforme de 0.8 mm/m, la méthode utilisée ici fait intervenir un gradient variable dans l'espace. En moyenne pour la Suisse, celui-ci est de 0.5 mm/m. Si l'on utilise la méthode de la planche 2.2 au lieu de la méthode PRISM, avec les données préparées pour la planche 2.6, on obtient pour la Suisse une moyenne régionale plus élevée de 80 mm. Pour quelques régions, la différence entre les deux méthodes se marque aussi par une dépendance moins importante entre précipitations et altitude dans la planche 2.6.

Les procédures utilisées dans l'analyse sont basées sur des concepts stochastiques; chaque interpolation représente une estimation affectée d'incertitudes statistiques. Pour chaque point de la grille, la marge d'erreur due à la méthode PRISM est de  $\pm 10$  % en plaine et de  $\pm 20$  % à haute altitude. Des différences locales entre les cartes peuvent donc fort bien provenir d'erreurs statistiques d'estimation.

## Bibliographie

- [1] **Baumgartner, A., Reichel, E., Weber, G. (1983):** Der Wasserhaushalt der Alpen. München und Wien.
- [2] **Daly, C., Neilson, R.P., Phillips, D.L. (1994):** A statistical-topographic model for mapping climatological precipitation over mountainous terrain. In: Journal of Applied Meteorology 33:140–158, Boston.
- [3] **Fliri, F. (1974):** Niederschlag und Lufttemperatur im Alpenraum. Wissenschaftliche Alpenvereinshefte Nr. 24, Innsbruck.
- [4] **Frei, C., Schär, C. (1998):** A Precipitation Climatology of the Alps from High-Resolution Rain-Gauge Observations. In: International Journal of Climatology 18:873–900, Chichester.
- [5] **Schönwiese, C.-D. et al. (1994):** Observed climate trends in Europe 1891–1990. In: Meteorologische Zeitschrift, Neue Folge Heft 3:22–28, Berlin.
- [6] **Schwarb, M. (2000):** The Alpine Precipitation Climate. Evaluation of a high-resolution analysis scheme using comprehensive rain-gauge data. Dissertation Nr. 13911 der ETHZ, Zürich.
- [7] **Sevruk, B. (1985):** Systematischer Niederschlagsmessfehler in der Schweiz. In: Beiträge zur Geologie der Schweiz – Hydrologie, Nr. 31:65–75, Bern.

- [8] **Spatial Climate Analysis Service (Ed.) (1999):** Climate mapping with PRISM. Internal report at Oregon State University, 326 Strand Agricultural Hall, Corvallis OR 97331-2204, USA.
- [9] **Vogel, R.M., Stedinger, J.R. (1985):** Minimum Variance Streamflow Record Augmentation Procedures. In: Water Resources Research 21:715–723, Baltimore.
- [10] **Widmann, M., Schär, C. (1997):** A principal component and long-term trend analysis of daily precipitation in Switzerland. In: International Journal of Climatology 17:1333–1356, Chichester.