Zeitschrift: Ingénieurs et architectes suisses

Band: 112 (1986)

Heft: 13

Artikel: Estimation spatiale des précipitations dans l'ouest de la Suisse par la Méthode du krigeage (fin)

Autor: Jordan, Jean-Pierre / Meylan, Paul

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-75994

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Estimation spatiale des précipitations dans l'ouest de la Suisse par la méthode du krigeage (fin)[1]

par Jean-Pierre Jordan et Paul Meylan, Lausanne

5.2.3 *Cartographie des résidus*

La carte de résidus ou carte des anomalies représente les variations pluviométriques locales exprimant la différence entre les précipitations observées et celles calculées par la régression entre précipitations et altitudes. En un lieu, un résidu positif signifie que les précipitations sont plus fortes que pourrait laisser supposer la situation altimétrique de ce lieu. A l'inverse, un résidu négatif, ou anomalie négative, signifie que à altitude moyenne égale la pluie est plus faible que la normale.

Le krigeage calcule les résidus aux points situés au sommet d'une maille régulière de 5 km de côté à l'aide du variogramme modélisé et des erreurs types calculées lors des ajustements. Le système d'équations du krigeage attribue un certain poids aux valeurs des points du semis situés à l'intérieur d'un rayon d'influence préalablement fixé.

Le krigeage permet également le calcul d'une erreur type à chaque sommet de la maille. Nous analyserons ces erreurs lorsque nous présenterons les cartes des valeurs reconstituées.

La carte est finalement établie en traçant les courbes d'égal résidu par simple interpolation (programme Nerva [16]).

La carte des résidus des modules est schématisée à la figure 9. On remarque une zone de faible pluviosité sur le Plateau, les résidus minimaux se situant dans le triangle des stations de Payerne, Thierrens et Romont. Le Jura et le Bassin lémanique ont des résidus positifs.

Sur les cartes des résidus des pluies journalières (fig. 10 pour les pluies décennales), on retrouve dans les grandes lignes la même structure que pour les modules, excepté pour la région du canton du Jura où les résidus sont les plus fortement négatifs. L'anomalie négative de la Broye est également atténuée. On note la présence d'une nette diminution de la valeur des résidus dans la direction nord-sud.

5.3 *Reconstitution des modules interannuels et des pluies journalières*

Une fois les valeurs des résidus calculées en chaque point de la grille de 5 km de côté, il est facile de reconstituer les modules ou les pluies journalières par simple calcul arithmétique à l'aide de l'équation de la droite de régression.

Les cartes résultantes, présentées en pages centrales, nécessitent quelques commentaires:

Remarquons tout d'abord que la dépendance de la pluviométrie en relation à l'altitude est déterminante dans le tracé des isohyètes et bien que cette dépendance soit plus faible pour les pluies journalières, les cartes sont d'allure assez semblable.

En ce qui concerne l'utilisation de ces cartes

- la hauteur de pluie extraite d'une de ces cartes en un lieu quelconque est une valeur ponctuelle, elle n'est pas égale à une pluie moyenne sur une surface. La différence est toutefois généralement faible pour une pluie journalière (coefficient d'abattement proche de un);
- le projeteur doit toujours considérer une certaine fourchette de précision associée à la valeur lue. Cette fourchette est donnée par l'erreur-type. Celle-ci est relativement constante dans notre domaine, bien que plus élevée sur les régions situées proches de la limite (majoration de 1 mm pour les pluies journalières et de 3 mm pour les modules). Cette différence vient du fait que le calcul sur les mailles extérieures ne se fait qu'à partir d'un nombre réduit de stations. L'erreur-type est donnée dans le tableau suivant:

La précision de la carte est donc du même ordre de grandeur que la précision de l'ajustement des séries de maximums journaliers annuels.

- Ces cartes ont été établies pour les pluies journalières, c'est-à-dire la pluie mesurée de 7 h. 30 du jour à 7 h. 30 du lendemain («origine fixe»). Pour obtenir la pluie maximale de durée vingt-quatre heures («origine variable»), le projeteur devra majorer la pluie journalière d'un facteur égal à 1,14 (voir l'étude de Weiss [20]).

La carte du gradex (fig. 11) est établie à partir des pluies journalières.

6. Exemples d'application des cartes des pluies journalières extrêmes

Ce paragraphe donne deux courts exemples d'utilisation des cartes, l'un relatif à

Variable	Module	P_5	P_{10}	P_{50}
Erreur type	72 mm	3 mm	4 mm	5 mm

[1] Voir *Ingénieurs et architectes suisses* nº 12, page 157, du 5 juin 1986.

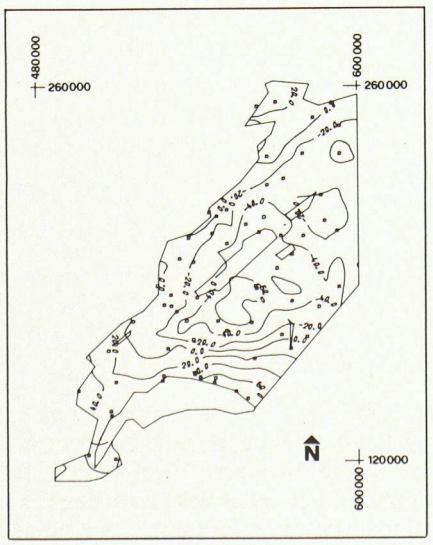


Fig. 9. — Résidus des modules interannuels et semis des stations.

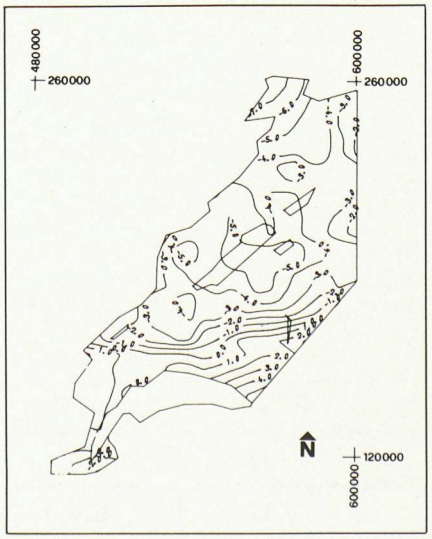


Fig. 10. — Résidus des pluies journalières T = 10 ans.

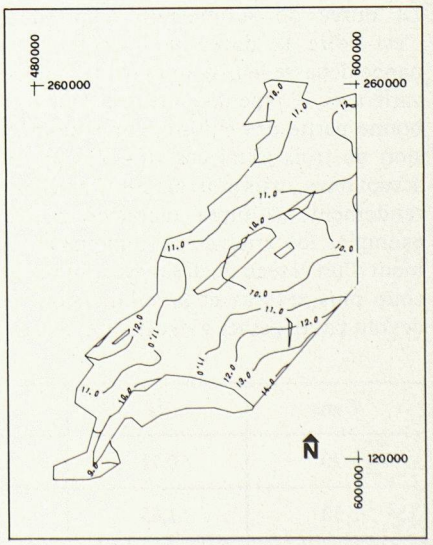


Fig. 11. — Gradex des pluies journalières.

l'hydrologie de surface, l'autre au drainage de terres agricoles.

Le premier exemple est une application de la méthode du gradex.

Soit un bassin versant de 300 km² localisé dans le canton de Genève. Connaissant le débit moyen journalier de temps de retour dix ans: 150 m³/sec, le coefficient de pointe: 1,5, il est possible de prédéterminer le débit de crue de temps de retour vingt, cinquante ou cent ans grâce à la carte du gradex:

- le gradex moyen sur le bassin est de 9 mm/j (cf. carte);
- l'équivalent, en lame d'eau par vingt-quatre heures, de la crue de temps de retour dix ans, exprimée en débit moyen journalier, vaut:

$$\frac{150\ \text{m}^3/\text{sec}}{300\ \text{km}^2} \cdot \frac{86\,400\ \text{s/j} \cdot 1000\ \text{mm/m}}{10^6\ \text{m}^2/\text{km}^2} = 43{,}2\ \text{mm/j};$$

- on peut alors calculer la lame d'eau moyenne journalière écoulée en vingt-quatre heures, pour n'importe quelle fréquence, par l'équation:

$$Q_T = 9\Delta u + 43{,}2$$

avec Δu = la différence entre la variable réduite (u) de Gumbel pour $T = 20, 50, 100$ ans et la variable réduite pour $T = 10$ ans ($u_{10} = 2{,}25$);

- la conversion en m³/s se fait à l'inverse du calcul ci-dessus et le passage au débit de crue instantané Qp par multiplication par le coefficient de pointe. On obtient:

T ans	Δu	Q mm/j	Q m³/s	$Q\,p$ m³/s
20	0,72	49,7	172,5	259
50	1,65	58,1	201,7	302
100	2,35	64,4	223,6	335

Signalons également qu'en hydrologie les cartes de pluviométrie journalière peuvent être très utiles à la détermination d'une pluie de projet.

Le deuxième exemple concerne l'utilisation des cartes de pluies journalières pour le calcul des débits spécifiques de drainage.

Dans nos régions, le dimensionnement d'un réseau de drainage est effectué en étudiant un régime permanent d'évacuation de l'eau infiltrée qui maintient la nappe en dessous d'un niveau maximal. La durée de submersion admissible, c'est-à-dire la durée pour laquelle la nappe dépasse le niveau maximal admis, varie avec le type de cultures. Pour une bonne partie des cultures, une submersion de trois jours entraîne des pertes acceptables, mais pour les cultures à haut rendement, cultures maraîchères par exemple, les critères de dimensionnement d'un réseau de drainage sont beaucoup plus sévères et la submersion ne devrait pas dépasser vingt-quatre heures.

La pluie critique à prendre en compte dans la détermination du débit spécifique de drainage est alors de vingt-quatre heures.

Supposons un périmètre maraîcher aux environs d'Avenches. Le réseau de drainage étant dimensionné pour un temps de retour de cinq ans, il faut aller chercher sur la carte des pluies journalières quinquennales la pluie qui correspond à notre région, soit $P_5 = 55$ mm.

On y associe un intervalle de confiance pour un seuil de confiance de 70%:

$$P_5 - z\alpha/_2\sigma_{P_5} < P_5 < P_5 + z\alpha/_2\sigma_{P_5}$$

avec

σ_{P_5} = l'erreur type sur la pluie journalière $T = 5$ ans

α = le seuil de confiance

$z\alpha/_2$ = la variable réduite de la loi normale.

La variable réduite est tirée de la table de la loi de distribution normale. Pour $\alpha = 70\%$, la variable réduite $z\alpha/_2 = 1$. L'erreur type égale 3 mm, on a alors:

$$52\ \text{mm} < P_5 < 58\ \text{mm}.$$

Pour avoir la pluie en vingt-quatre heures, la pluie journalière est majorée de 14% (facteur de passage de la pluie d'origine fixe à la pluie d'origine variable):

$$59\ \text{mm} < P_5 < 66\ \text{mm}.$$

En admettant un coefficent de restitution de 50%, le débit spécifique de drainage qc en l/s · ha est compris entre:

$$3{,}4\ \text{l/s} \cdot \text{ha} < qc < 3{,}8\ \text{l/s} \cdot \text{ha}$$

Ces résultats élevés, peu communs en hydraulique agricole, sont dus aux critères très sévères que nous nous sommes imposés. Les cartes des pluies de trois à cinq jours, qui seront publiées ultérieurement, seront adaptées à un plus grand nombre de cas d'assainissement.

Bibliographie

[1] Boiret, Ph.; Schwartz, J.: *Crues et assainissement — programmation des travaux de RTM. Analyse des pluies de 1 à 10 jours sur 300 postes du sud-est de la France.* CEMAGREF, Paris 1982.

[2] Brunet-Moret, Y.: *Estimation de paramètres.* ORSTOM, vol. X, nº 2, 1973.

[3] CTGREF: *Analyse des pluies de 1 à 10 jours sur 300 postes métropolitains.* Antony, 1982.

[4] Creutin, D.; Obled, C.; Tourasse, P.; Institut mécanique de Grenoble: *Analyse spatiale et temporelle des épisodes pluvieux cévennols.* La météorologie, VIe série, nº 20-21, 1980.

[5][6] Ecole nationale supérieure de géologie appliquée (Institut national polytechnique de Lorraine) + Service régional de l'aménagement des eaux de Lorraine (Ministère de l'agriculture): *Synthèse cartographique des pluies journalières extrêmes dans l'est de la France, 1981;* et, *Hauteurs des précipitations journalières décennales de la France du Nord-Est.*

[7] Galea, G.; Michel, C.; Oberlin, G.: *Abattement sur une surface des averses de 1 h à 24 h.* CEMAGREF, Antony, 1982.

[8] Geiger, H.: *Unterlagen zur Regionalisierung der Starkniederschläge mit einer Einführung in die Geostatistik. Eidgenössische Anstalt das forstliche Versuchswesen.* Rap. int. H6, 1985.

[9] Humbert, J.: Paul, P.: *La répartition spatiale des précipitations dans le bassin versant de la petite Fecht à Soultzeren (Hautes-Vosges).* Recherches géographiques à Strasbourg nº 19-21, 1982.

[10] Lebel, T.: *Moyenne spatiale de la pluie sur un bassin versant: estimation optimale, génération stochastique et gradex des valeurs extrêmes.* Thèse de l'Institut national polytechnique de Grenoble, 1984.

[11] Lorent, B.: *Apport de la théorie du krigeage aux modèles de simulation et de prévision des débits d'une rivière.* FUL, 1976.

[12] Matheron, G.: *La théorie des variables régionalisées et ses applications.* Cahier du Centre de météorologie mathématique, Fontainebleau, 1970.

[13] Matheron, G.: *Le krigeage universel.* Cahier du Centre de météorologie mathématique, Fontainebleau, 1969.

[14] Meylan, P.: *Régionalisation de données entachées d'erreurs de mesure par krigeage structural.* Hydrologie continentale, 1986 (à paraître).

[15] Nordenson, T. J.: *Préparation de cartes; coordonnées des précipitations, de l'écoulement et de l'évaporation.* Rapport nº 6, OMM, 1971.

[16] NERVA: *Logiciel cartographique* développé par ITC - SERITEC SA, Lausanne.

[17] Scherer, J. C.: *Une méthode d'extrapolation dans l'espace de données pluviométriques moyennes. Application à une partie des Vosges et de leur bordure.* Recherche géographique à Strasbourg. Université Pasteur, 1977.

[18] Sevruk, B.; Geiger, H.: *Selection of distribution types for extremes of precipitation.* WMO, nº 560, Genève, 1981.

[19] Uttinger, H.: *Les précipitations en Suisse 1901-1940.* Station centrale suisse de météorologie, Zurich, 1949.

[20] Weiss: *Journal of the Hydraulics* — Division ASCE HY1, 1964.

[21] Zwahlen, Fr.: *Contribution à l'étude hydrologique de la Mentue. Problème de la cartographie des éléments du bilan hydrique.* Thèse Université de Lausanne, 1981.

[22] Zwahlen, Fr.; de Montmollin, Fr.; Olivier, R.: *Cartographie automatique du bilan hydrique. Communication du service hydrologique national nº 1.*

[23] Divers auteurs français: *Numéro spécial de la Météorologie. Précipitations et Hydrologie.* Mars, juin 1980.

7. Conclusions

Outre les différentes cartes à l'usage des ingénieurs chargés de projets d'assainissement agricole ou d'études de crues, cette étude apporte divers enseignements sur les pluies journalières extrêmes en Suisse occidentale et leurs mesures aux stations pluviométriques.

Au niveau de l'ajustement des pluies journalières extrêmes, il a été notamment établi:

- qu'il existe deux populations distinctes de pluies d'« été » et d'« hiver ». Au-dessous de 1000 m d'altitude, ce sont les pluies journalières d'été qui sont nettement les plus fortes;
- qu'une période de mesure trop courte entraîne très vite des erreurs importantes (de l'ordre de 10% pour une série annuelle de trente ans) sur la détermination de la pluie d'une certaine fréquence.

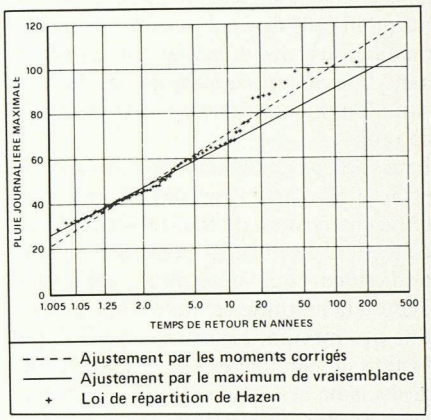
En outre, l'étude de la liaison entre les pluies journalières extrêmes et l'altitude montre que:

- les 50% de la variation des pluies journalières peuvent être expliqués par l'altitude;
- le caractère orageux dominant des pluies journalières extrêmes explique la relative faiblesse de la liaison;
- l'altitude la plus représentative au niveau de la pluie journalière n'est pas l'altitude de la station, mais une altitude moyenne d'une fenêtre de 12 sur 3 km dans la direction est-ouest;
- le gradex n'est pas significativement relié à l'altitude;
- la partie de la pluie qui n'est pas expliquée par l'altitude présente une certaine structure spatiale.

Suite aux résultats acquis lors de cette étude, la recherche sera poursuivie dans le but:

- de fournir des cartes de pluies extrêmes en deux, trois et cinq jours;
- d'étudier les pluies extrêmes d'« hiver »;
- d'étendre l'étude à d'autres régions de Suisse.

Adresse des auteurs:
Jean-Pierre Jordan et Paul Meylan
Hydrologie et aménagements
Institut de génie rural de l'EPFL
1015 Lausanne



Ajustement des pluies journalières à la station de Bellelay sur une loi de Gumbel.

Considérations sur la distribution statistique des pluies extrêmes

On admet que les très nombreuses observations des hauteurs de précipitations horaires et journalières faites en de milliers de points du monde ont permis d'accepter, comme hypothèse de travail assez solide, la décroissance exponentielle simple de la loi de distribution des précipitations. La loi de distribution de Gumbel coïncide pratiquement avec l'exponentielle dès que la fréquence d'apparition $F(x)$ est inférieure à 0,1:

$$F(x) = e^{-e^{-a(x - x_0)}}$$

où a = gradex = inverse de la pente de la droite d'ajustement.

On constate que l'adéquation à une loi de Gumbel de l'échantillon des pluies journalières mesurées à une station est visuellement bonne. Nous manquons pourtant de critères statistiques qui nous permettraient de justifier ce choix plutôt qu'une autre loi de type exponentiel telle que la loi log-Pearson III ou la loi log-normale (les résultats sont cependant assez semblables). Par contre, une loi à décroissance algébrique, comme la loi de Frechet, est mal adaptée, car elle fournit très vite des valeurs trop élevées pour de faibles fréquences.

La méthode des moments corrigée pour un échantillon de taille finie a été choisie pour l'estimation des paramètres de la loi (Gumbel, 1958). En effet, bien que la méthode du maximum de vraisemblance soit d'une efficacité supérieure à celle des moments [18], elle conduit, dans le cas des précipitations, à un estimateur plus biaisé. Si l'on admet la distribution exponentielle des pluies, la loi des maximums n'est qu'asymptotiquement une loi de Gumbel et ajustée sur cette même loi la série des pluies journalières présente une inflexion dans sa partie inférieure. La méthode du maximum de vraisemblance étant plus sensible à cette partie inférieure que celle des moments, le biais sera donc plus important (cf. figure).

La précision de la détermination des pluies décennales, cinquantenales, etc., dépend de la vérification d'un certain nombre d'hypothèses: consistance, indépendance, stationnarité et homogénéité de la série. Les premières hypothèses sont généralement admises sans trop grands risques d'erreurs pour des séries contrôlées. L'hypothèse d'homogénéité des pluies journalières maximales est plus hardie, car il est notoire que les précipitations sont causées par des phénomènes météorologiques différents qui produisent des pluies de caractéristiques différentes. Il est donc prudent de considérer les pluies orageuses et les pluies frontales comme deux populations statistiques distinctes.

Certains mois de l'année l'occurrence des pluies orageuses est plus fréquente que celle des pluies frontales, d'autres pour lesquels le contraire se produit. Nous pouvons alors regrouper certains mois pendant lesquels les pluies maximales ont des lois de répartition fréquentielle identiques.

Ce regroupement saisonnier a été effectué pour quelques stations à l'aide d'un test statistique Fishérien vérifiant l'hypothèse que les deux échantillons sont issus de la même population.

Un découpage en deux saisons de six mois chacune se retrouve plus ou moins nettement suivant les stations. Décembre, mai et octobre sont les mois les plus difficiles à cataloguer. Deux saisons ont été définies: de décembre à mai et de juin à novembre. Pour ces deux périodes, les séries de pluies journalières sont considérées homogènes.

L'ajustement des pluies maximales journalières d'« été » et d'« hiver » nous permet de constater que les pluies de la première saison sont nettement les plus élevées en dessous de 1000 m d'altitude. On en déduit que:

- en ajustant les maximaux annuels pour des stations d'altitude moyenne, c'est en réalité une série presque homogène de pluies orageuses que nous ajustons, puisque ces maximaux se produisent en majorité à la période d'été. Cette observation, faite pour les pluies journalières, est très certainement vérifiée pour des pas de temps plus courts. Pour les pluies de plusieurs jours, ce n'est pas certain;
- pour de nombreuses études d'hydrologie ou d'hydraulique agricole, il serait plus juste d'étudier les données du projet pour deux (ou plusieurs) saisons distinctes;
- les pluies maximales étant essentiellement orageuses, il ne faut pas s'attendre à une très bonne corrélation avec la morphométrie.

Le découpage saisonnier n'améliore en définitive pas la qualité de l'ajustement pour les stations de notre périmètre, mais il serait intéressant d'établir, dans le futur, des cartes de précipitations maximales saisonnières.

L'ajustement des données des stations pluviométriques récentes sur une série annuelle, quinze à trente ans de mesures (15 à 30 valeurs), pose un autre problème, car le nombre restreint de valeurs entraîne des erreurs souvent importantes, par exemple 30% d'erreur relative sur la pluie décennale pour une série de quinze ans (moyenne sur une quinzaine de stations). On peut éviter toutefois partiellement ces erreurs en ajustant une série gonflée, par exemple les pluies journalières maximales mensuelles.