



**HAL**  
open science

## Les méthodes d'évaluation des apports mensuels en eau des systèmes hydrologiques et hydrogéologiques - Deux exemples d'approches régionales île de la Réunion et bassin de la Moselle française.

Alain Bargeas, Pierre-Alain Roche, Dominique Thiéry

### ► To cite this version:

Alain Bargeas, Pierre-Alain Roche, Dominique Thiéry. Les méthodes d'évaluation des apports mensuels en eau des systèmes hydrologiques et hydrogéologiques - Deux exemples d'approches régionales île de la Réunion et bassin de la Moselle française.. Hydrogéologie - Géologie de l'ingénieur, 1983, 1983 (n°4), pp.259-267. hal-01073949

**HAL Id: hal-01073949**

**<https://brgm.hal.science/hal-01073949>**

Submitted on 10 Oct 2014

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## Les méthodes d'évaluation des apports mensuels en eau des systèmes hydrologiques et hydrogéologiques

Deux exemples d'approches régionales : île de la Réunion et bassin de la Moselle française

par

Alain Bargeas\*, Pierre-Alain Roche\*, Dominique Thiéry\*

Mots-clés : Analyse composante principale, Précipitation atmosphérique, Altitude  
île Réunion, Moselle, Meuse, Meurthe-et-Moselle, Vosges, Rivière Moselle (Bassin Moselle)

### Résumé

L'évaluation des apports d'eau par les précipitations est très délicate en région montagneuse. Les précipitations dépendent beaucoup de l'altitude, mais aussi de l'orientation par rapport au vent et les relations sont complexes. Deux analyses sont décrites dans cet article. La première appliquée à l'île de la Réunion montre comment une Analyse en Composantes Principales sur données profilées a permis de mettre en évidence les différents effets régionaux et ainsi de réaliser une évaluation fiable en tout point de l'île. La deuxième analyse appliquée au bassin de la Moselle française a montré que si l'abon-

dance des précipitations est globalement liée à l'altitude, il n'existe pas de gradient d'altitude simple. Lorsque le réseau est pauvre, une prise en compte de l'altitude permet d'améliorer légèrement l'estimation des précipitations ; par contre quand le réseau est plus dense, l'effet de l'altitude est déjà pris en compte par les points voisins, et quelle que soit la méthode d'interpolation on obtient des résultats voisins. Seule une amélioration du réseau (meilleurs emplacements, justesse des pluviographes) permettrait alors de réduire les biais systématiques et les incertitudes qui restent élevés.

### Abstract

The assessment of intake by rainfall is very hard to gauge in mountainous areas. Rainfall is very dependent on altitude but also on orientation with respect to the wind, the relationships being complex. Two analyses are described in this article. The first, applied to Reunion Island, shows how a Principal Component Analysis on profiled data made it possible to define the various regional effects and thus form a reliable assessment of the island from every aspect. The second analysis, on the French Moselle, has proved that while the abundance of rain is linked with altitude, on the whole, a simple altitude gradient is

non-existent. When the system is limited, taking into account the altitude factor makes it possible to slightly improve rainfall assessment ; on the other hand, when the system is dense, the altitude effect is already accounted for by the neighbouring points and, whatever be the interpolation method, similar results are obtained. It is only by an improvement of the system (better positioning, rain gauge accuracy) that the systematic trend and uncertainties of the system might be reduced.

### Introduction

L'approche quantitative d'un système hydrologique ou hydrogéologique repose sur l'évaluation des flux et des stocks d'eau qui le traverse, et sur l'analyse des mécanismes qui régissent ces flux. Cette connaissance est fondamentale pour

cerner les possibilités d'exploitation des ressources en eau d'une région, et intervient dans la conception de nombreux aménagements.

\* Bureau de recherches géologiques et minières, Département eau, B.P. 6009, 45060 Orléans cedex.

Bien que les méthodes pour comprendre le fonctionnement de ces systèmes soient très diverses, elles ont en commun de nécessiter une évaluation rigoureuse des données d'entrée que constituent les précipitations ou les précipitations efficaces. Ces données doivent être élaborées à un pas de temps cohérent avec les principaux temps de réponse du système. Elles doivent également être étendues dans l'espace à partir des mesures ponctuelles réalisées (réseau de postes pluviométriques).

La densité et la représentativité de ces postes, leur localisation par rapport à l'unité géographique à étudier, l'extension de celle-ci, sont autant de facteurs très différents d'une étude à l'autre et qui vont conditionner la méthode à utiliser.

On peut distinguer 3 types d'approche répondant à des situations assez différentes :

— l'application des méthodes connues, fixées *a priori* une fois pour toutes : méthode des polygones de Thiessen, ou pondération uniforme des postes de la zone ; à la fois pour les cas où l'information est très abondante, et pour ceux où elle est faible, on conçoit qu'une telle démarche n'exploite qu'imparfaitement les données disponibles ;

— si l'information est abondante, des méthodes de régionalisation des données plus élaborées sont utilisées (krigeage en particulier, sous l'une ou l'autre de ses nombreuses formes dérivées [1]) ; les méthodes adaptées à l'interpolation géométrique d'une variable sont utilisées pour la cartographie d'isohyètes interannuelles, par exemple ; une méthode mieux adaptée

au problème du calcul d'une séquence de lames d'eau à pas de temps fixe (mensuel par exemple) passe au préalable par l'étude des similarités de comportement entre les stations sur l'ensemble de l'historique disponible : l'étude est fondée sur une "analyse en composantes principales de processus" [2] dont nous utilisons une version particulière, l'analyse des variables "profilées" ;

— si l'information est pauvre, ou peu représentative (postes pluviométriques éloignés), on cherche à utiliser la connaissance des phénomènes climatiques pour introduire des variables explicatives supplémentaires : dans de nombreux cas, on procède à des corrections des données mesurées pour prendre en compte les différences d'altitude, d'exposition, etc. entre les différentes zones du bassin étudié et les postes mesurés.

Ces deux dernières démarches sont loin d'être incompatibles. Une bonne analyse régionale par analyse en composantes principales permet de fournir un guide d'interprétation climatique : nous allons montrer comment cette méthode a pu être utilisée avec succès dans un cas où les conditions géographiques très particulières engagent à la plus grande prudence : l'île de la Réunion.

Par ailleurs, nous montrerons dans le cas du bassin de la Moselle Française que les méthodes permettant la prise en compte de l'altitude pouvaient être abordées avec la même logique statistique que les interpolations traditionnelles, et la façon dont la densité d'informations disponibles influence l'approche qui doit être choisie.

## I. - Approche globale de la "pluie efficace" à la Réunion

Avec le souci multiple :

- d'avoir une couverture régulière et homogène de l'île,
- de bien rendre compte des contrastes climatiques (essentiellement les hauteurs de précipitation),
- de travailler sur des unités spatiales indépendantes de tout contexte hydrologique, physique ou administratif, mais pouvant les décrire aisément par regroupement,

on a évalué les différents paramètres climatiques (pluviosité, température, insolation) sur des mailles de 3 km de côté.

### I.1. - Analyse de la pluie

Pour l'évaluation des lames d'eau, nous avons utilisé les résultats d'une Analyse en Composantes Principales des données profilées. Il n'existe pas de relation simple et homogène sur l'île entre les hauteurs de précipitations et l'altitude pouvant intervenir dans des méthodes d'interpolation (le maximum de hauteur de pluie ne correspond pas aux crêtes topographiques, l'exposition aux vents dominants commande en partie la répartition des pluies sur les zones d'égale altitude).

La distribution des pluies à la Réunion est très variable, tant dans l'espace (pluviosité moyenne interannuelle variant de 0,5 m à 10 m) que dans le temps (forts contrastes saisonniers atteignant 1 à 10 pour des moyennes mensuelles interannuelles) (fig. 1 et 2).

Afin d'éliminer l'essentiel de ces fluctuations saisonnières intéressant l'ensemble de l'île, on a utilisé des pluies mensuelles profilées. Nous ramenons les données mensuelles de toutes les stations à une succession d'indices d'abondance relative d'un mois donné par rapport à son abondance moyenne (la pluie profilée du mois *m* à la station *s* est le quotient de la pluie du mois *m* à la station *s* par la moyenne des pluies du mois *m* aux 109 stations).

Les valeurs mensuelles profilées d'une station doivent être interprétées avec prudence : elles traduisent les écarts de comportement de la station aux variations d'ensemble des postes.

Les données étant par ce moyen réduites à des valeurs d'ordres de grandeur comparables, il est possible d'en effectuer une analyse en composantes principales fructueuse.

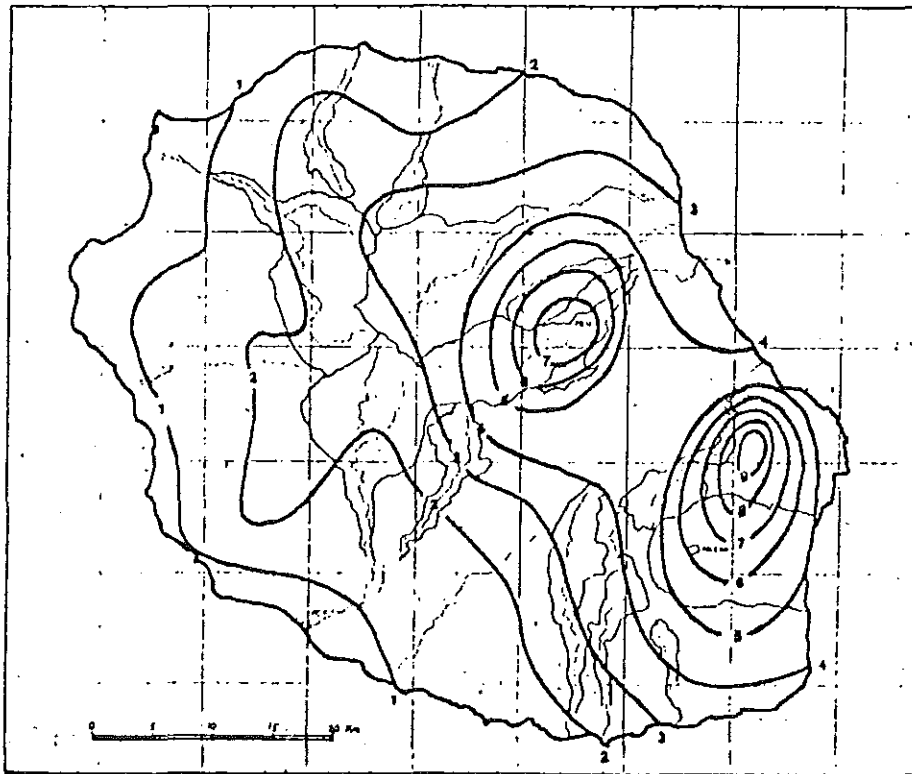


FIG. 1. — Carte d'isohyètes interannuelles - Période 1951-1980 (source Service météorologique de la Réunion).

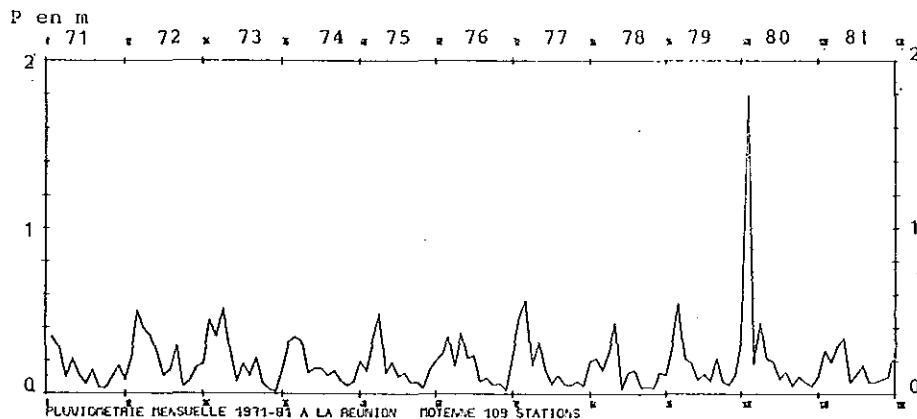


FIG. 2. — Variations temporelles de la pluviosité moyenne sur l'île.

Les individus décrits par cette analyse sont les 132 mois de la période 1971-1981. Ils sont caractérisés par les 109 valeurs profilées obtenues à chaque station. Les stations jouent donc le rôle des variables, et leur corrélation à une composante principale donnée traduit la similitude de comportement durant la période concernée avec une séquence "type".

L'étude de la répartition géographique des coefficients de corrélation station-composante principale permet donc de mettre

en évidence des zones climatiques différentes (fig. 3a à 3d). Les trois premières composantes isolent remarquablement 5 zones (ayant des coefficients de corrélation élevés vis-à-vis d'une composante). On a étudié attentivement la distribution mensuelle des pluies pour une station représentative de chaque zone (fig. 4a et 4b).

A partir des valeurs brutes (4a), l'effet d'abondance masque l'essentiel des variations. Le comportement original de ces

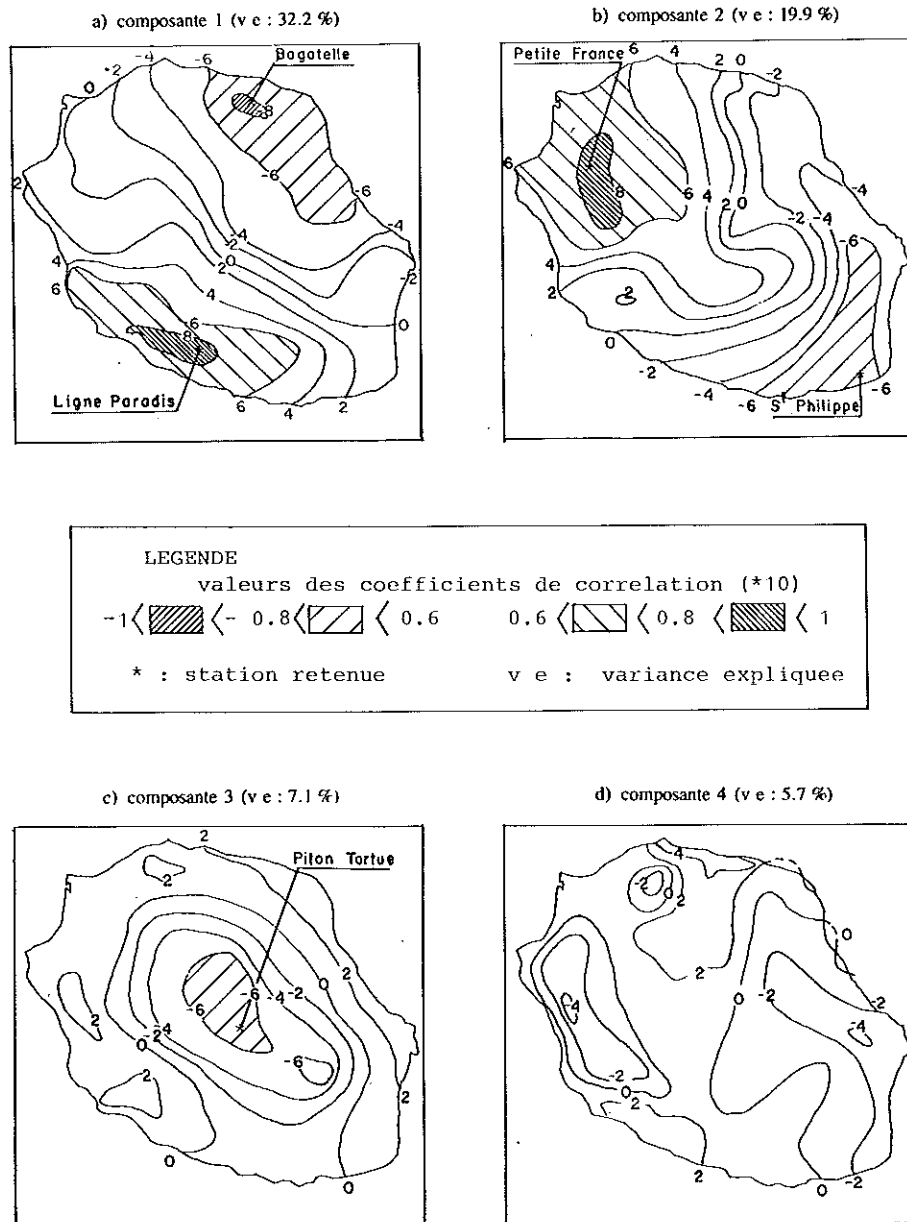


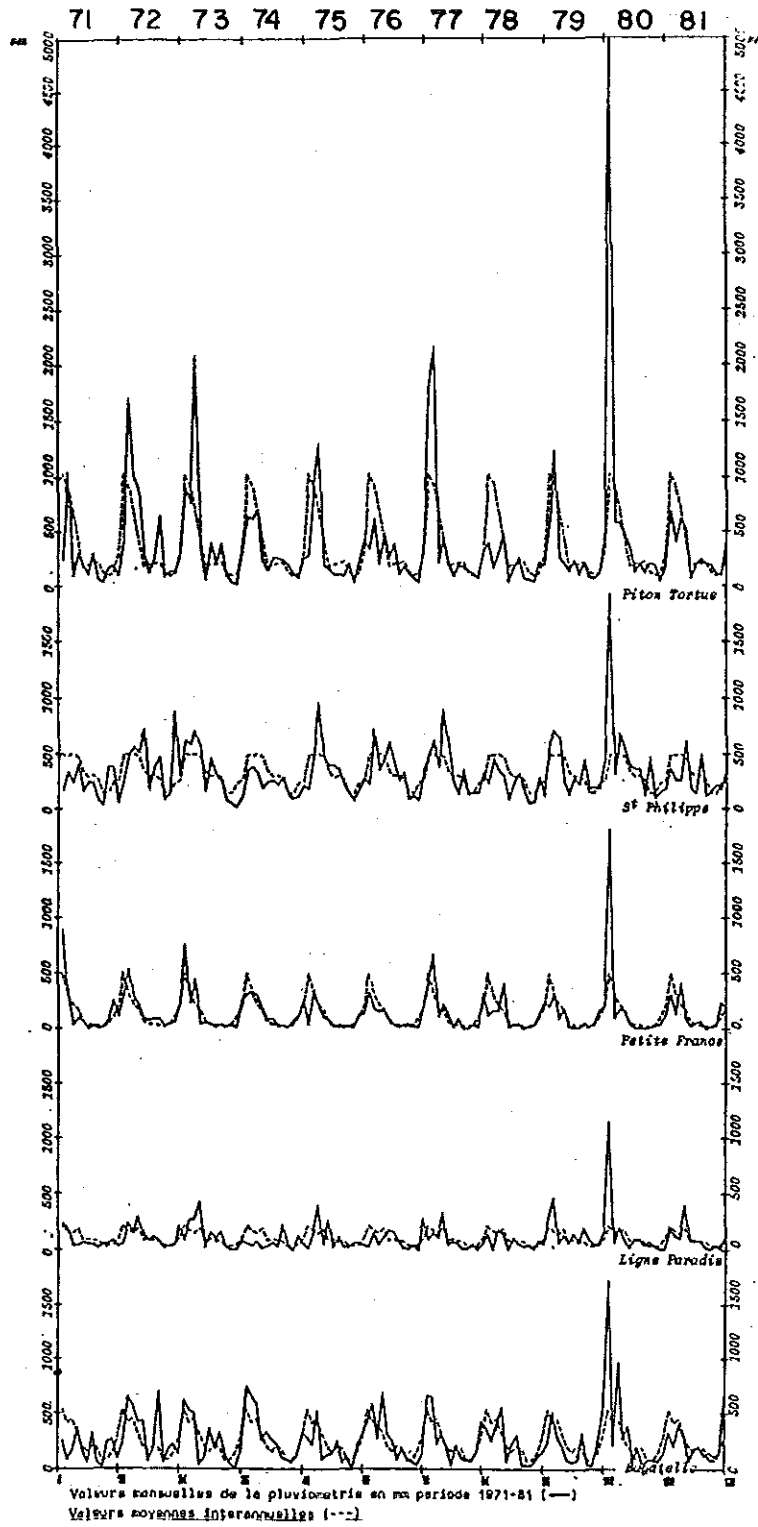
FIG. 3. — Isovaleurs des coefficients de corrélations ( $\times 10$ ) vis-à-vis des composantes principales.

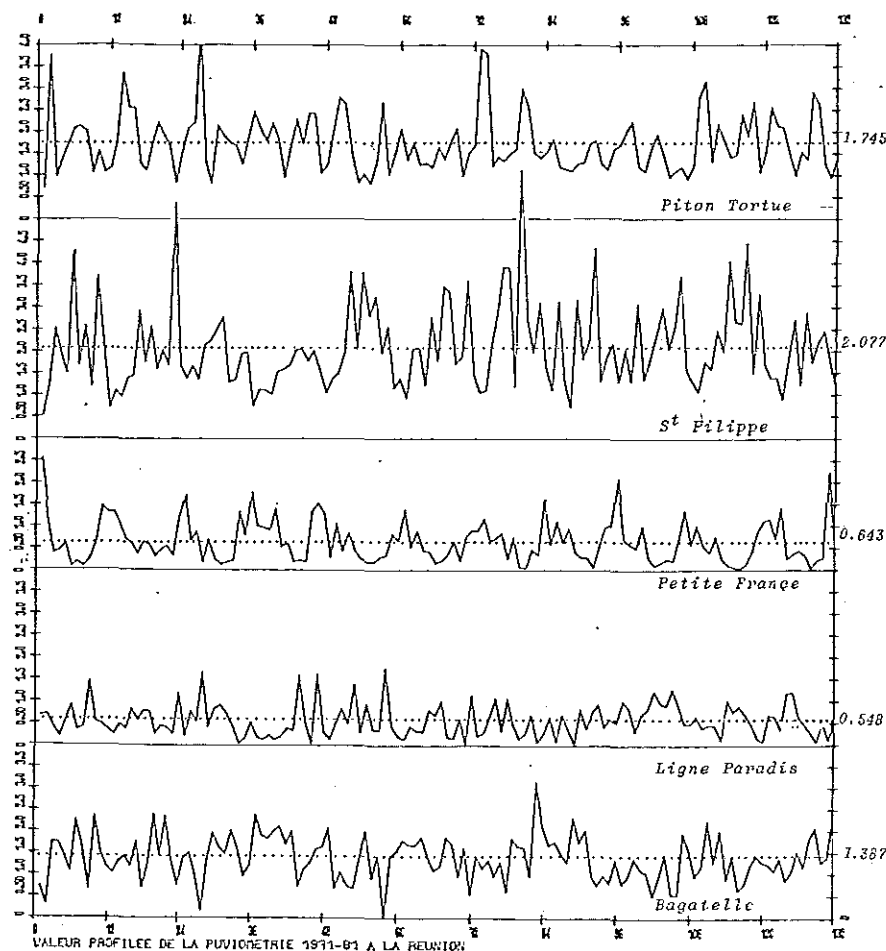
stations apparaît sur les données profilées (4b). La première composante dégage l'opposition entre le nord-est (Bagatelle) et le sud-ouest (Ligne Paradis) de l'île. En effet, les principales perturbations pluvieuses intéressant l'île sont issues des fronts d'alizés à l'est ou des dépressions mobiles d'origine polaire au sud-ouest : selon le type de temps, une côte "au vent" et une côte "sous le vent" sont nettement distinguées.

L'opposition liée à la deuxième composante est d'ordre saisonnière et porte notamment sur la saison sèche. La façade maritime du Piton de la Fournaise (Saint-Philippe) reçoit l'in-

fluence des deux types de perturbation cités ci-dessus, qui sont surtout prépondérants l'hiver, alors que l'anticyclone de l'océan Indien est le plus proche de la Réunion. La saison sèche est donc ici relativement pluvieuse. A l'opposé, les Hautes de l'Ouest (Petite France) abrités par la chaîne du Piton des Neiges (des fronts d'alizés) et par les Hautes de Tuvelave (des dépressions du sud-ouest) connaissent une véritable saison sèche.

La troisième composante individualise la zone centrale de l'île où les pluies orographiques ont leur maximum d'import-





4b

FIG. 4. — Valeurs mensuelles (a) et mensuelles profilées (b) de la pluviométrie 1971-1981, aux stations de Bagatelle, Ligne Paradis (opposition sur la première composante), Petite France, St-Philippe (opposition sur la deuxième composante) et Piton Tortue (forte liaison avec la troisième composante).

tance. Cette région est atteinte, quelle que soit la direction des vents dominants, même si elle n'est pas le siège des hauteurs de pluies maximales qui se situent à mi-pente des versants exposés aux vents.

Les pluies orographiques interviennent toute l'année : très importantes l'été elles ne sont cependant pas négligeables l'hiver ; il n'y a pas de véritable saison sèche.

La restitution des hauteurs de pluies aux stations à partir des résultats de l'analyse en composantes principales est satisfaisante et la bonne homogénéité de la répartition spatiale des composantes limite les risques d'erreur lors de leur interpolation. On a évalué les lames d'eau en chaque maille par application des relations réciproques entre les variables et les composantes.

### I.2. - Evapotranspiration

En fonction des données disponibles, on a choisi d'approcher l'évapotranspiration potentielle par la formule de TURC

mensuelle. L'insolation a été évaluée également à partir d'une analyse en composantes principales, le faible nombre de stations et leur mauvaise répartition limite ici la précision de la méthode, comme pour toute autre méthode d'interpolation.

La très forte liaison entre la température mensuelle et l'altitude a permis l'extension de ce paramètre sur toutes les mailles, à partir des quatre régressions linéaires définies mensuellement.

### I.3. - Pluie efficace

La confrontation sur chaque maille des apports par la pluie et de la demande symbolisée par l'ETP, la réserve en eau du sol jouant le rôle de réservoir tampon, a permis d'évaluer mensuellement des "apports nets" disponibles pour l'écoulement (ruissellement et infiltration).

Une relative incertitude sur l'évapotranspiration, le pas de temps choisi pour le calcul du bilan (décadaire, journalier ou mensuel), ainsi que la valeur maximale de la réserve en eau du sol (qu'il est très difficile d'appréhender) n'ont pas d'influence

notable sur les valeurs globales de la pluie efficace (écarts relatifs inférieurs à 5 %). Ces écarts sont cependant plus importants dans les zones peu pluvieuses.

Malgré des contrastes de hauteurs de précipitations très importants (plusieurs mètres par an), la "pluie efficace" sur un bassin couvrant plusieurs mailles est bien approchée par le bilan effectué à partir de la moyenne sur ces mailles des données climatiques (pluie, évapotranspiration potentielle). Ces bassins-versants sont de taille réduite (tout au plus une centaine de km<sup>2</sup>), et entièrement soumis à un même type de climat. Pour ce type de bassin, si on désire calculer une lame d'eau moyenne, il n'est pas nécessaire d'employer une méthode si détaillée.

## II. - Analyse des pluies mensuelles dans la région de la Moselle française [3]

Sur l'ensemble du bassin de la [Moselle française], où l'on réalise la modélisation de 40 sous-bassins, on a étudié la précision d'évaluation de ces lames d'eau.

On dispose de 76 stations pluviométriques, pour lesquelles les données ont été analysées sur la période 1971-1976 au pas de temps mensuel.

Une première phase de l'étude a permis de décrire les principaux facteurs de la répartition des pluies dans la région, et de détecter un certain nombre de données suspectes. Pour cela, on a utilisé une Analyse en Composantes Principales sur les hauteurs, de pluie mensuelles profilées, analogue à celle utilisée pour l'île de la Réunion.

On a ensuite étudié les relations entre la hauteur de pluie moyenne interannuelle et l'altitude. Une forte corrélation apparaît. Plusieurs stations sont situées dans des vallées très encaissées ; en leur attribuant les altitudes des sommets avoisinants, il a été montré antérieurement que l'on obtient une meilleure relation [4]. On a donc effectué également les calculs avec des relations obtenues après lissage des altitudes (fig. 5).

Habituellement, on utilise une telle relation pour établir un "gradient régional" de variation de la pluie avec l'altitude. On calcule donc les pluies mensuelles en un point en corrigeant les valeurs des postes voisins en fonction des différences d'altitude. Pour les lames d'eau, on établit les isohyètes à partir des courbes de niveau, parfois de l'exposition des versants.

Des corrections utilisant un tel "gradient régional" sont excessives. Elles peuvent même fournir des résultats plus médiocres que si l'on ne tenait pas compte des différences d'altitudes. Localement, l'altitude est en effet un paramètre beaucoup moins explicatif des hauteurs de pluie qu'à une échelle régionale. Le "gradient" optimal pour les corrections est donc inférieur au gradient régional (70 mm/100 m/an au lieu de 190 mm/100 m/an pour le cas traité).

A l'échelle annuelle et sur les moyennes mensuelles, voire régionalement à l'échelle mensuelle, il existe au niveau de l'île une forte liaison entre la pluie efficace et la pluie qui a permis la mise au point de formules simplifiées. Il ne subsiste une dispersion importante que pour les faibles valeurs (région et mois peu pluvieux).

Au niveau d'une approche globale, les méthodes simplifiées donnent des résultats satisfaisants. En revanche, dans les zones peu pluvieuses de l'île, où les problèmes d'eau sont cruciaux, chaque paramètre mérite d'être défini le plus précisément possible. Une approche utilisant la méthode d'évaluation présentée ici prend alors tout son sens.

Dans le cas d'un réseau relativement dense, la localisation géométrique retrace donc l'essentiel des variations climatiques qui ont pu être décelées (fig. 6 - courbes supérieures).

On a étudié ce qu'il en était pour un réseau moins dense. Pour cela, on a repris intégralement la même démarche en ne supposant connu qu'un réseau de 19 postes, choisis par un hydrologue ne participant pas à l'étude. Avec ce réseau, les mêmes effets de répartition régionale sont décelables ; les distances étant plus importantes, une correction tenant compte de l'altitude devient beaucoup plus utile. Mais, bien entendu, l'incertitude sur les corrections à effectuer est plus importante. En comparant par ailleurs la qualité de la reconstitution des données des 76 postes à partir de l'échantillon complet et de cet échantillon réduit, on a pu montrer que la qualité d'évaluation des hauteurs de pluie était légèrement améliorée grâce à une augmentation du nombre des postes (fig. 6 - courbes inférieures).

On a étudié ensuite l'impact des différentes incertitudes sur le calcul des lames d'eau mensuelles pour 40 sous-bassins versants de la Moselle dont les caractéristiques (extension, altitude, proximité des postes disponibles) sont très variées. Ces tests ont permis de dégager d'une part les risques de biais systématiques, et d'autre part la dispersion aléatoire liée à l'échantillonnage. Des biais inhérents aux mesures sont communs à toutes les méthodes : seule une amélioration de la fiabilité et de la justesse des pluviographes, en particulier pour les précipitations neigeuses dans les versants très ventés permettra de résoudre cette question.

Lorsque le bassin est relativement grand et qu'on dispose d'un nombre important de postes pluviométriques, les méthodes donnent des résultats similaires, les lames d'eau ainsi calculées ont un risque de biais systématique de l'ordre de 10 à 20 % et une dispersion aléatoire importante pour chaque mois.

C'est lorsque l'information est pauvre que les formules de corrections sont utiles. Néanmoins, la difficulté de les établir montre que les risques d'erreur, et en particulier de sur-



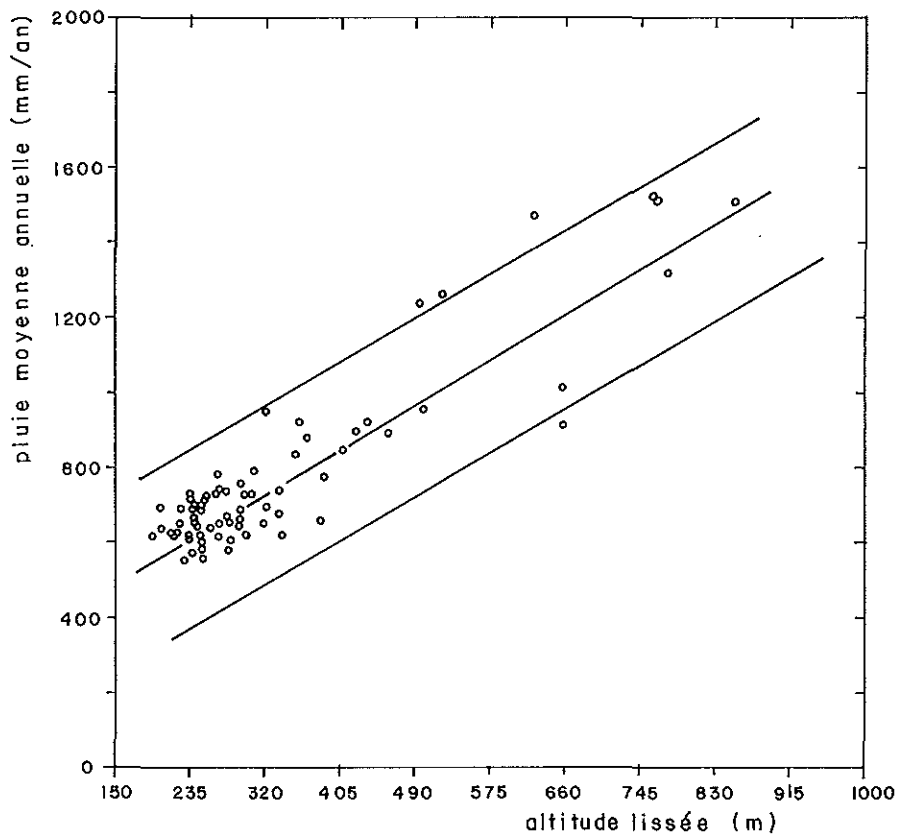


FIG. 5. — Gradient pluviométrique avec les altitudes lissées [ $P(\text{MM/AN}) = 1.38 \text{ ALTITUDE (M)} + 316 \text{ MM}$ ] ( $R = 0.90$ ).

correction, sont importants. La méthode utilisée, qui utilise chaque station disponible et sa reconstitution à partir de ses voisines, permet de limiter de tels risques.

Avec un réseau dense, les corrections prenant en compte les différences d'altitudes lissées n'apportent pas une amélioration sensible.

Avec un réseau de référence réduit de 19 stations, l'amélioration apportée est significative, mais les reconstitutions restent nettement moins bonnes que si l'on dispose du réseau dense.

Enfin, grâce à cette analyse, on a obtenu des orientations utiles concernant le réseau de mesure : elles sont fondées à la

fois sur l'identification des zones où les stations sont les moins similaires, et sur la mise en évidence des difficultés d'interprétation climatique au pied des Vosges.

Par cette étude, on a mis en évidence que les lames d'eau mensuelles posent encore aujourd'hui des problèmes de calcul non résolus. On a également montré qu'on pouvait associer dans une même approche la démarche pragmatique des méthodes de correction, et les méthodes statistiques de traitement des données. La quantité d'informations disponible marque bien la limite entre les domaines où l'une ou l'autre de ces démarches est prépondérante.

## Conclusions

Ces deux recherches avaient une finalité dépassant la seule analyse de la pluie :

— Dans le cas de l'île de la Réunion, l'estimation des hauteurs de pluies tombées dans des mailles élémentaires de 3 km de côté, et l'analyse des autres facteurs climatiques, a

permis de proposer une évaluation des apports efficaces mensuels et de leur répartition. Une approximation pratique a pu être proposée, et ses limites ont été établies.

— Dans le cas de la Moselle, une étude de sensibilité comparant plusieurs méthodes a permis une analyse des entrées

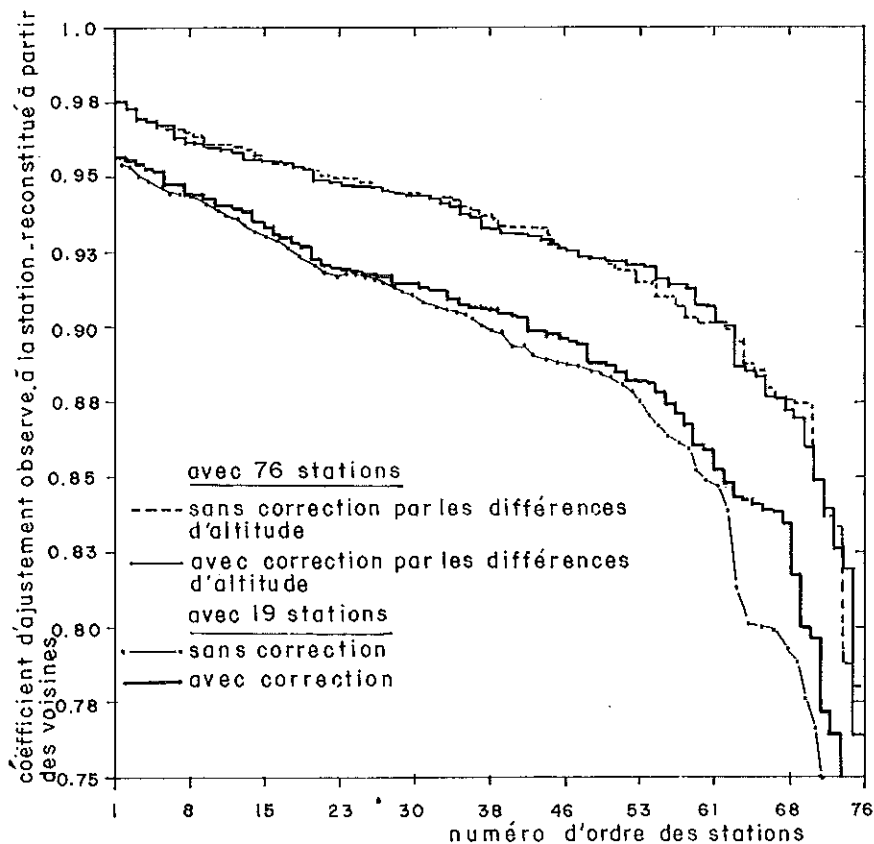


FIG. 6. — Qualité des reconstitutions des hauteurs d'eau mensuelles de la période 1971-1976, pour 76 stations de la Moselle.

des 40 modèles de relations pluie-débit qui sont calés sur 40 sous-bassins versants différents. Cette étude de sensibilité des entrées est essentielle pour évaluer dans quelle mesure les paramètres des modèles calés sont déterminés par l'ajustement des séries simulées aux séries observées de débit.

Enfin, nous avons mis en évidence l'influence fondamentale de la densité des informations disponibles sur la méthode qu'il convient d'adopter pour ces évaluations.

### Références bibliographiques

- [1] DELHOMME J.-P. (1978). — Applications de la théorie des variables régionalisées dans les sciences de l'Eau. *Bull. BRGM, Fr.*, sect. III, n° 4, pp. 341-375.
- [2] CREUTIN D. (1979). — Méthodes d'interpolation optimale de champs hydrométéorologiques. Comparaison et application à une série d'épisodes pluvieux cévenols. Thèse Doct. Ing., Grenoble.
- [3] SCHERER J.-C. (1977). — Une méthode d'extrapolation spatiale de données pluviométriques moyennes. Application à une partie des Vosges et de leur bordure. *Recherches géographiques à Strasbourg*, n° 4. UER de Géographie, Université L. Pasteur, Strasbourg.
- [4] ROCHE P.A., THIERY D. — Analyse et modélisation des bassins versants de la Moselle française. BRGM, rapports d'avancement n° 1 et 2 (non publiés).

