

La modélisation des précipitations moyennes annuelles appliquée au Massif vosgien

Colette MARAND (1), Jean-François ZUMSTEIN (2)

RÉSUMÉ

Le présent article décrit une méthode originale de modélisation des précipitations appliquée à la moyenne montagne vosgienne. L'analyse fait ressortir un paramètre essentiel : l'altitude lissée. Les modèles pluviométriques testés, utilisent 88 stations réparties sur le Massif vosgien et sa proche bordure. Ces modèles ont permis de déterminer 3 zones de gradients pluviométriques moyens distincts recouvrant globalement le flanc sud, le flanc ouest et le flanc est du massif.

MOTS-CLÉS : Régionalisation des précipitations — Modélisation — Altitude lissée — Massif vosgien.

ABSTRACT

MODELLING OF MEAN ANNUAL PRECIPITATION APPLIED TO THE VOSGES MOUNTAINS.

An original method of rainfall modelling as applied to the medium scale mountains of the Vosges is described in the following text. Through the analysis appears the very important parameter : the "smoothed altitude". The models of rainfall which have been tested, use the data of 88 stations located on the massif of the Vosges and its periphery. Three major areas with different gradients of rainfall covering roughly the southern, western and eastern slopes of the massif, could distinguished with the help of this method.

KEY WORDS : Area rainfall — Modelling — Smoothed altitude — Vosges Mountains.

Les moyens informatiques actuels permettent l'élaboration de modèles de simulation très performants, de plus en plus utilisés en hydrologie. Les paramètres hydrométéorologiques constituent l'information initiale sur laquelle repose toute modélisation. Or le réseau de stations fournissant les données hydrométéorologiques est d'autant plus inégalement réparti sur le territoire, que l'on se trouve en présence d'une région montagneuse. Par ailleurs cette méthode permet, indépendamment du tracé des isohyètes, d'évaluer les précipitations sur une surface donnée.

Pour combler les lacunes inhérentes à ces informations trop ponctuelles, le présent article propose un *méthode* basée sur la *corrélation* qui existe entre les *précipitations* et les paramètres de forme, de position et de relief, dont l'un est essentiel en moyenne montagne : « *l'altitude lissée* ». Cette méthode permet la réalisation d'une carte par discrétisation spatiale du module pluviométrique interannuel, pour le Massif vosgien, mais peut également être utilisé à des échelles de temps plus fines : la saison, le mois.

1. BILAN DES ÉTUDES EXISTANTES

De nombreuses études ont été entreprises pour régionaliser les précipitations à partir de mesures ponctuelles émanant de stations irrégulièrement réparties sur un espace donné. Il serait utopique de vouloir en dresser une liste exhaustive. Seules les plus récentes, *parues depuis 1977*, ayant le plus souvent pour région d'étude le nord-est de la France en totalité ou en partie, sont inventoriées ci-dessous.

(1) Laboratoire de Géographie Physique, Université de Nancy II, boulevard Albert 1^{er}, 54000 Nancy.

(2) Agence de l'Eau Rhin-Meuse, Le Longeau, Rozerieulles, BP 36, 57160 Moulins-lès-Metz.

F. SHAMSI, dès 1968 a réalisé sur le nord-est de la France, à partir de 74 postes pluviométriques, une cartographie des précipitations moyennes annuelles pour les périodes 1921-1950, 1931-1960 et 1951-1965. Cartographie établie par interpolation manuelle à partir des données fournies par la Météorologie Nationale (M. GARNIER, 1966).

Vu le faible nombre de postes disponibles alors, couvrant le quart de la France, une étude pluviométrique fine n'a pu être réalisée. Les différentes cartes établies ont le mérite de pouvoir être comparées, puisque réalisées selon la même méthode, mais présentent l'inconvénient majeur de n'avoir pas été réalisées à la suite d'une critique de données et surtout d'être élaborées à trop grande échelle pour que l'étude pluviométrique d'un bassin versant montagnard puisse être envisagée.

J.-C. SCHERER (1977), est le premier à utiliser un procédé de lissage de la carte topographique pour obtenir l'altitude des sommets environnants d'un lieu considéré. Une régression linéaire est ensuite effectuée entre l'altitude lissée et le total pluviométrique du poste retenu, complétée par une étude des résidus qui présente une distribution spatiale. Pour la première fois, la *notion d'altitude lissée* est définie. La méthode aboutit à une précision plus grande dans le tracé des isohyètes et au calcul des précipitations moyennes annuelles sur un bassin versant, cependant, elle ne débouche sur aucune régionalisation (cf. annexe 1).

J.-P. LABORDE (1984), utilise les pluies journalières décennales et les gradex (été, hiver). Il s'inspire fortement des travaux de J.-C. SCHERER pour automatiser la méthode et l'appliquer au nord-est de la France, tout en introduisant la notion d'encaissement de site (TG). Grâce à ces moyens informatiques, il est possible d'obtenir les valeurs de l'altitude lissée sur un espace étendu. L'auteur utilise néanmoins, une grille fixe pour obtenir les valeurs de l'altitude lissée et cette rigidité du maillage négligeable à l'échelle adoptée par l'auteur s'est révélée être une source d'erreurs, appliquée à une échelle plus fine (cf. annexes 2 et 3).

A MENTRE HILDENBRAND (1986), a corrigé, affiné et nuancé les travaux précédents à partir de l'étude pluviométrique annuelle réalisée sur le bassin lorrain de la Meuse. Elle a en particulier substitué à une grille fixe, un maillage plus variable, adapté à la situation topographique de chaque site stationnel et au relief de cuestas particulier à la région étudiée. Avec ces travaux apparaît une régionalisation des pluies, à partir de l'analyse des liaisons : précipitations/longitude, latitude, altitude réelle ou altitude lissée selon le site. Ce type de modèle n'est cependant pas adaptable à une région montagneuse.

P. BENICHOU et O. LE BRETON (1988), travaillent à l'échelle annuelle et mensuelle. Les auteurs utilisent la méthode mise au point par J.-P. LABORDE, notamment en ce qui concerne l'encaissement du site. L'exploration du site pour la détermination des altitudes caractéristiques s'effectue par pas de 5 km, suivant en cela la démarche de J.-C. SCHERER. L'analyse en composantes principales est utilisée pour déterminer l'altitude moyenne du point central. Compte tenu des problèmes posés par le krigeage (méthode d'interpolation automatique du champ des résidus), les auteurs :

- tentent d'utiliser des techniques de sélection automatiques progressives (ascendantes) pour ce qui concerne la régression linéaire, tout en recherchant une cohésion spatiale du champ des résidus. Il apparaît actuellement qu'aucune critique d'arrêt de sélection des prédicteurs ne soit au point, hormis le test de Fischer ;

- appliquent l'équation de régression et analysent le champ des résidus de celle-ci par la méthode de krigeage — approche probabiliste de l'interpolation (DELFINER, 1973) —. Cette méthode est lourde et suppose un certain nombre d'hypothèses sur le champ à analyser ;

- aboutissent à la fabrication d'une carte des résidus qu'ils interprètent. Ils comparent ensuite cette réalisation à celle obtenue avec les méthodes classiques de tracé manuel effectué par les géographes, les hommes de terrain et le « krigeage appliqué directement sur les valeurs mesurées ».

Pour terminer, les auteurs aboutissent dans un premier temps, au fait que la prise en compte du relief n'apparaît nécessaire que dans les zones faiblement pourvues en postes. Dans un deuxième temps, il semble que la méthode de régression prenant en compte le relief soit plus robuste que la méthode de krigeage direct (erreurs mensuelles diminuées de 50 %, pour une valeur moyenne de 30 mm). Pour cette réalisation, la France est découpée en 10 zones non figées, cependant les régions montagneuses doivent être redécoupées pour obtenir une meilleure liaison avec le relief. Il n'est toutefois donné aucune précision sur la manière dont le découpage géographique en 10 zones a été effectué ni sur la démarche utilisée pour redécouper les régions du Massif central par exemple.

L'intérêt de la méthode Aurelhy : Analyse Utilisant le RELief pour l'HYDrométéorologie, réside dans l'automatisation de la cartographie des résidus et des pluies à condition d'avoir une base de comparaison sûre avec les méthodes classiques.

J.-P. JORDAN et P. MEYLAN (1986), appliquent la méthode du krigeage pour régionaliser le module pluviométrique interannuel et les précipitations journalières extrêmes sur le territoire suisse. Les auteurs utilisent par ailleurs les principes d'altitude lissée, que l'on ne peut ignorer en montagne. Cependant cette étude n'aboutit pas non plus sur une régionalisation automatique des pluies.

2. LE CADRE DE L'ÉTUDE ET LES STATIONS PLUVIOMÉTRIQUES RETENUES

Le Massif vosgien et ses proches bordures constituent l'espace sur lequel est appliqué la modélisation, pour la période 1969-1984.

— Sur les 88 stations utilisées pour cette étude, (fig. 1), 35 sont comprises à l'intérieur de l'isohypse 500 m retenue pour cerner le massif montagneux. Les postes de fond de vallée occupent une place importante : 26, contre 6 situés sur les versants et 3 seulement en position de sommet.

— Les 53 stations restantes appartiennent à la bordure méridionale et orientale du Plateau Lorrain, aux plateaux de Haute-Saône, à la porte de Bourgogne et à la frange occidentale de la plaine d'Alsace.

La régionalisation des précipitations a pu aisément être effectuée en moyenne montagne, car à la différence de ce qui existe dans les Alpes ou les Pyrénées, l'altitude du Massif vosgien est insuffisante pour que l'optimum pluviométrique soit atteint et que le gradient s'inverse au-delà de cette limite.

Le phénomène neigeux n'a pas constitué une gêne dans cette étude, dans la mesure où le stock de neige ne parvient jamais à durer d'une année sur l'autre. Les précipitations solides ont donc été régulièrement comptabilisées sous forme d'équivalent eau.

Les 88 stations qui fournissent les données appartiennent à la Météorologie Nationale, à l'Agence de Bassin Rhin-Meuse, au SRAEL au SRAEA, à la DDA du Haut-Rhin. Leur durée d'observation est particulièrement inégale... dépassant le siècle pour certaines : Mirecourt, Mulhouse, Tomblaine... n'atteignant même pas 2 décennies pour d'autres : Bayon, Lerrain, Parux. Plus grave, des lacunes importantes et nombreuses jalonnent les séries de mesures, de sorte qu'un tiers des 45 stations (avec seulement 8 postes de montagne), aux observations suffisamment longues pour constituer des normales, présentent des séries continues idéales pour l'analyse.

Après avoir homogénéisé les séries par la méthode des « doubles cumul », comblé les lacunes mensuelles et annuelles par la méthode de régression linéaire, étendu les observations, écarté le poste de Lepuix-Gy et retenu avec réserve 8 stations (nombre important d'années à combler ou homogénéisation peu fiable), il a été possible d'entreprendre une modélisation des précipitations sur le Massif vosgien.

3. MÉTHODOLOGIE

La démarche suivie comporte plusieurs étapes que l'on peut décomposer ainsi :

— déterminer la valeur des précipitations annuelles selon l'échelle de temps adoptée. Cette valeur est, bien plus qu'une simple opération mathématique. Elle est le résultat d'une critique des données extrêmement fine, sans laquelle la fiabilité de l'information serait compromise et le modèle de régionalisation de la pluie douteux !

— rechercher une liaison entre cette variable et l'un des facteurs géographiques quantifiable responsable de la pluie sur l'espace considéré. Ici : la longitude, la latitude, l'altitude réelle et l'altitude lissée ;

— interpoler en chaque nœud d'une grille régulière, à mailles de 2,5 km, les variations de la pluie en fonction du facteur géographique essentiel préalablement défini et de la correction apportée à partir des résidus de la régression linéaire ;

— cartographier par interpolation linéaire les isohyètes obtenues en traçant des lignes de même valeur à partir de la grille élaborée ;

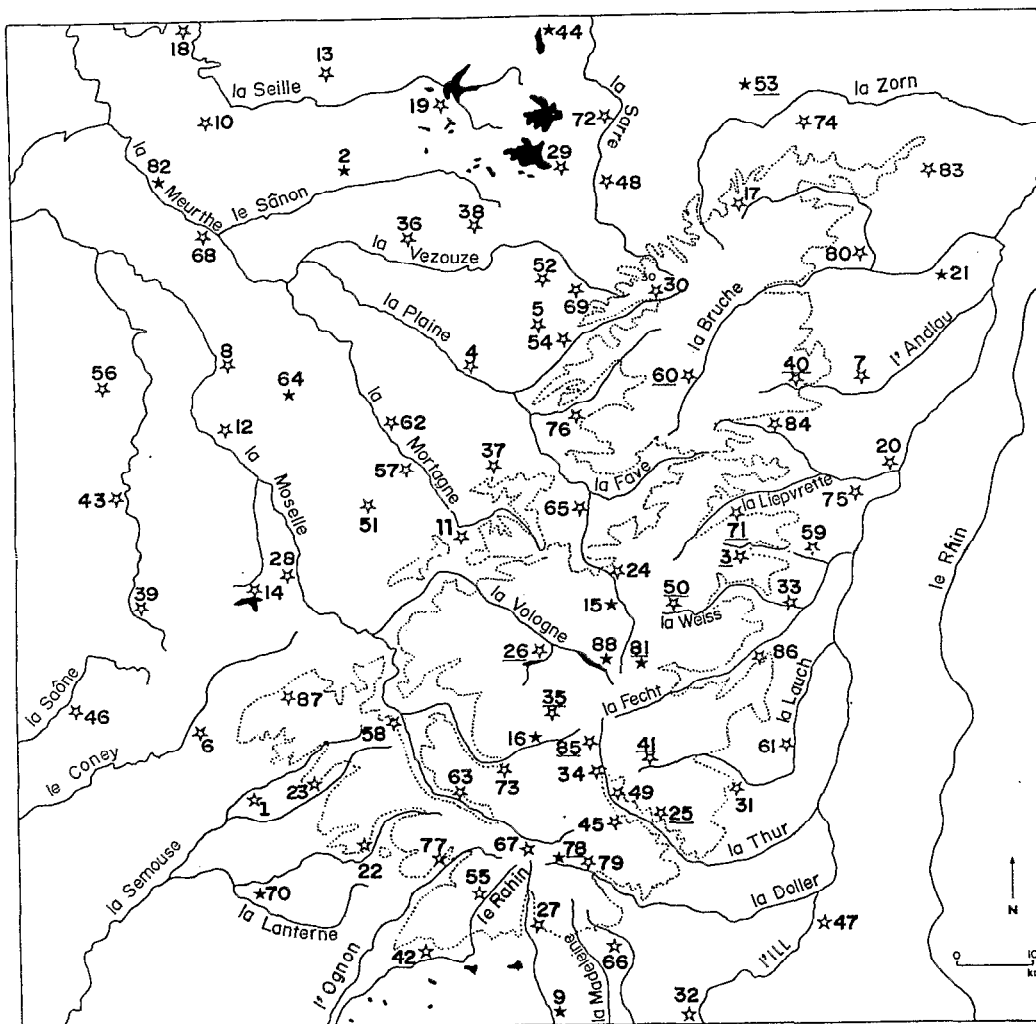
— calculer les précipitations à partir de la grille sur une surface donnée.

4. LA RECHERCHE DU FACTEUR ESSENTIEL

Par étapes successives, les liaisons mathématiques et graphiques éventuelles entre modules pluviométriques annuels et facteur géographique retenu, ont pu être établies. Lorsque la liaison entre les 2 variables est la meilleure et correspond en outre à une réalité sur le terrain, on peut alors estimer que le paramètre intervenant dans la corrélation est celui qui influence le plus sûrement la pluie sur le Massif vosgien.

— Une première liaison entre la *latitude* de chaque station et le module interannuel correspondant détermine un coefficient de corrélation - 0,1, dont la faiblesse corrobore la dispersion graphique obtenue.

— La même démarche globale appliquée à la *longitude* aboutit à l'obtention d'un coefficient de corrélation encore plus faible : 0,01. Mais ici, contrairement à ce qui se passe précédemment, la liaison graphique permet de visualiser 2 ensembles bien distincts, selon la position des postes sur le versant lorrain et sur le versant alsacien.



☆ Pluviomètre ☆ Pluviographe --- Isohyse: 500 m

- | | | | |
|------------------------|------------------|------------------------------|------------------------------|
| 1 Aillevillers | 23 Fougerolles | 45 Mollau | 67 Saint-Maurice-sur-Moselle |
| 2 Arracourt | 24 Fraize | 46 Monthureux-sur-Saône | 68 Saint-Nicolas-de-Port |
| 3 Aubure | 25 Geishouse | 47 Mulhouse | 69 Saint-Sauveur |
| 4 Baccarat | 26 Gérardmer | 48 Nitting | 70 Saint-Sauveur-Luxeuil |
| 5 Badonviller | 27 Giromagny | 49 Oderen | 71 Sainte-Marie-aux-Mines |
| 6 Bains-les-Bains | 28 Golbey | 50 Orbey | 72 Sarrebourg |
| 7 Barr | 29 Gondrexange | 51 Padoux | 73 Saulxures-sur-Moselotte |
| 8 Bayon | 30 Grandfontaine | 52 Parux | 74 Saverne |
| 9 Belfort | 31 Guebwiller | 53 Phalsbourg | 75 Sélestat |
| 10 Brin-sur-Seille | 32 Joncherey | 54 Pierre-Percée | 76 Senones |
| 11 Brouvelieures | 33 Kaysersberg | 55 Plancher-les-Mines | 77 Servance |
| 12 Charmes | 34 Kruth | 56 Praye | 78 Sewen lac |
| 13 Château-Salins | 35 La Bresse | 57 Rambervillers | 79 Sewen MF |
| 14 Chamousey | 36 Laneuveville | 58 Remiremont | 80 Sultz-les-Bains |
| 15 Clefcy | 37 La Salle | 59 Ribeauvillé | 81 Stosswihr |
| 16 Cornimont | 38 Leintrey | 60 Rothau | 82 Tomblaine |
| 17 Dabo | 39 Lerrain | 61 Rouffach | 83 Truchtersheim |
| 18 Delme | 40 Le Hohwald | 62 Roville-aux-Chênes | 84 Villé |
| 19 Dieuze | 41 Linthal | 63 Rupt-sur-Moselle | 85 Wildenstein |
| 20 Ebersheim | 42 Mélisey | 64 Saint-Boingt | 86 Wintzenheim |
| 21 Entzheim | 43 Mirecourt | 65 Saint-Dié | 87 Xertigny |
| 22 Faucogney-et-la-Mer | 44 Mittersheim | 66 Saint-Germain-le-Châtelet | 88 Xonrupt-Longemer |

FIG. 1. — Equipement pluviométrique du Massif vosgien et de ses bordures.

Des liaisons statistiques partielles confirment l'analyse graphique. Les précipitations augmentent régulièrement d'ouest en est sur le versant occidental jusqu'à la ligne de crête et diminuent ensuite régulièrement sur le flanc est.

La disposition grossièrement méridienne de la montagne vosgienne liée à sa dissymétrie est-ouest permet de soulever une question : la longitude est-elle réellement responsable des nuances pluviométriques enregistrées sur le massif ou bien ce facteur géographique n'est-il qu'un artefact, occultant d'autres paramètres responsables de la pluie ?

En fait la longitude cache une donnée altitudinale, or le facteur orographique constitue un élément majeur en montagne. Il engendre une instabilité et provoque des phénomènes d'ascendance des masses d'air favorables au déclenchement comme au renforcement de la pluie.

— La liaison entre l'*altitude réelle* des postes exprimée en mètres et la pluie est globalement plus évidente. Le coefficient de corrélation : 0,71 le confirme. Néanmoins, l'analyse graphique met en évidence une réelle liaison entre les variables statistiques lorsque l'altitude est inférieure à 400-500 m et au contraire une réelle dispersion des postes situés à plus de 500 m.

Il semble donc qu'altitude et module pluviométrique deviennent des paramètres indépendants lorsque le relief tend à s'affirmer. Cette étrange observation est à relier au fait que l'essentiel des postes de montagne nécessaires à cette étude occupent une position de « creux ». Les précipitations en fond de vallée reflètent celles qui s'abattent sur les hauteurs voisines, alors que l'altitude prise en compte pour effectuer les régressions linéaires est bien inférieure à celle des sommets environnants.

Il est donc nécessaire de corriger ce paramètre pour obtenir une « altitude lissée » au moins égale, mais le plus souvent supérieure à la valeur de l'altitude réelle (cf. : La notion d'altitude lissée : une mise au point nécessaire. C. MARAND et J.-F. ZUMSTEIN, 1988, p. 39 à 46 et annexe 4).

— Le coefficient de corrélation appliqué au couple module pluviométrique *altitude lissée* atteint 0,87 pour l'ensemble des points. La liaison est donc ici satisfaisante. L'altitude lissée est de toute évidence le paramètre qui influence le plus sûrement la pluie sur le massif vosgien.

5. LA RÉGIONALISATION DES PRÉCIPITATIONS

Pour déceler les nuances climatiques régionales de cet espace, il faut considérer la position de chacun des postes par rapport à la droite de régression linéaire, droite qui représente la liaison entre les différents individus de l'échantillon (cf. fig. 2a et 2b.). (Les équations des droites de liaison sont représentées sur la figure 2a). On peut alors effectuer 3 regroupements de postes définissant :

— Une zone sud pour laquelle le gradient pluviométrique moyen est le plus fort : 143 mm/100 m. Elle regroupe non seulement le flanc méridional du Massif vosgien, mais aussi la vallée de la Moselle en amont de Remiremont — Moselotte non comprise —, fond de vallée et crêtes environnantes incluses et par le col du Bussang la vallée de la Doller et la zone de Mollau avant de mourir sur la vallée de la Haute Thur.

— Une zone est qui enregistre le gradient pluviométrique moyen le plus faible : 102 mm/100 m. Elle correspond grossièrement au flanc alsacien du Massif vosgien, privé de son extrémité sud au-delà de la vallée de la Thur. Au nord, elle est limitée par la Zorn blanche. Il est à noter que la vallée de la Bruche est comprise dans cet espace.

— Une zone ouest au gradient pluviométrique moyen compris entre les deux précédents : 127 mm/100 m. Elle est la plus complexe à délimiter en raison de la difficulté de définir la limite occidentale du Massif vosgien. Celle-ci a pu être déterminée à partir de la carte des résidus des corrélations : précipitations/altitude lissée (cf. fig. 3).

Elle englobe au nord, la haute vallée de la Sarre, la zone des étangs de Mittersheim, Gondrexange et du Lindre, la haute vallée de la Seille jusqu'à Brin-sur-Seille, de la Haute-Meurthe, de la Vezouse, de la Mortagne et du Sânon (Saint-Nicolas-de-Port). À l'ouest, elle est limitée par la vallée du Madon à partir de Leintrey, jusqu'à Lerrain où elle rejoint la vallée de la Moselle à Golbey en passant par l'étang de Bouzey.

Une sous-région apparaît au sein de l'espace défini ci-dessus : les 3 postes localisées dans la région de Saint-Dié, qui dans la régression linéaire appartiennent à la zone est. Cette anomalie peut s'expliquer par la situation topographique de la cuvette de Saint-Dié et l'influence inhibitrice de cette situation sur les précipitations. Les modules interannuels enregistrés reflètent des valeurs bien plus faibles que celles de la zone ouest et les ramènent à celles de la zone est, de sorte que dans l'analyse mathématique, la régression concernant ces 3 postes est assimilée à celle des postes alsaciens.

L'étape suivante est celle de la réalisation de la carte des isoécarts (fig. 4); étape intermédiaire indispensable, avant d'amorcer la cartographie automatique régionale de la pluie par discrétisation spatiale (fig. 5).

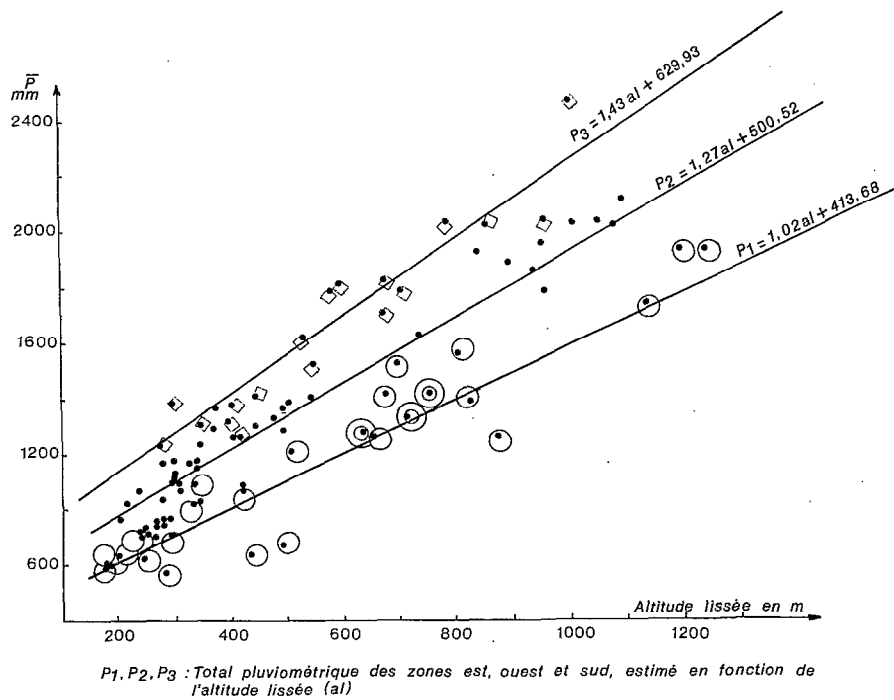


FIG. 2a. — Graphique de liaison : précipitations moyennes annuelles, altitude lissée.

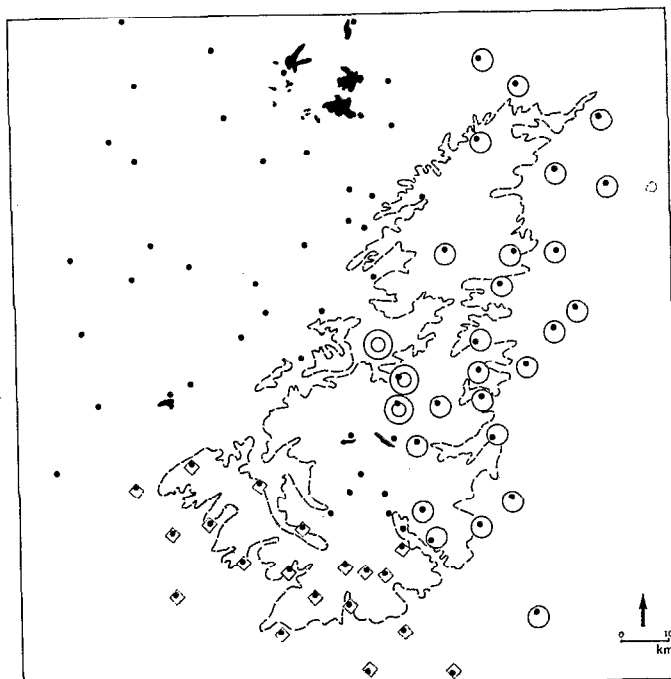


FIG. 2b. — Carte de situation.

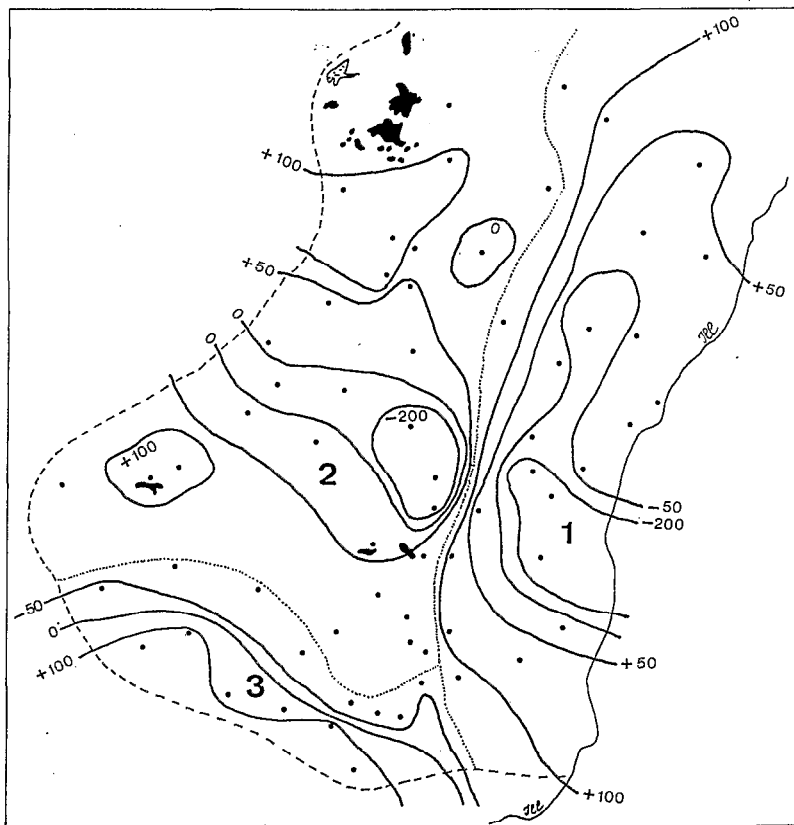


FIG. 3. — Répartition spatiale des résidus. + 100 : valeur en mm de l'isocart.

6. CONCLUSION

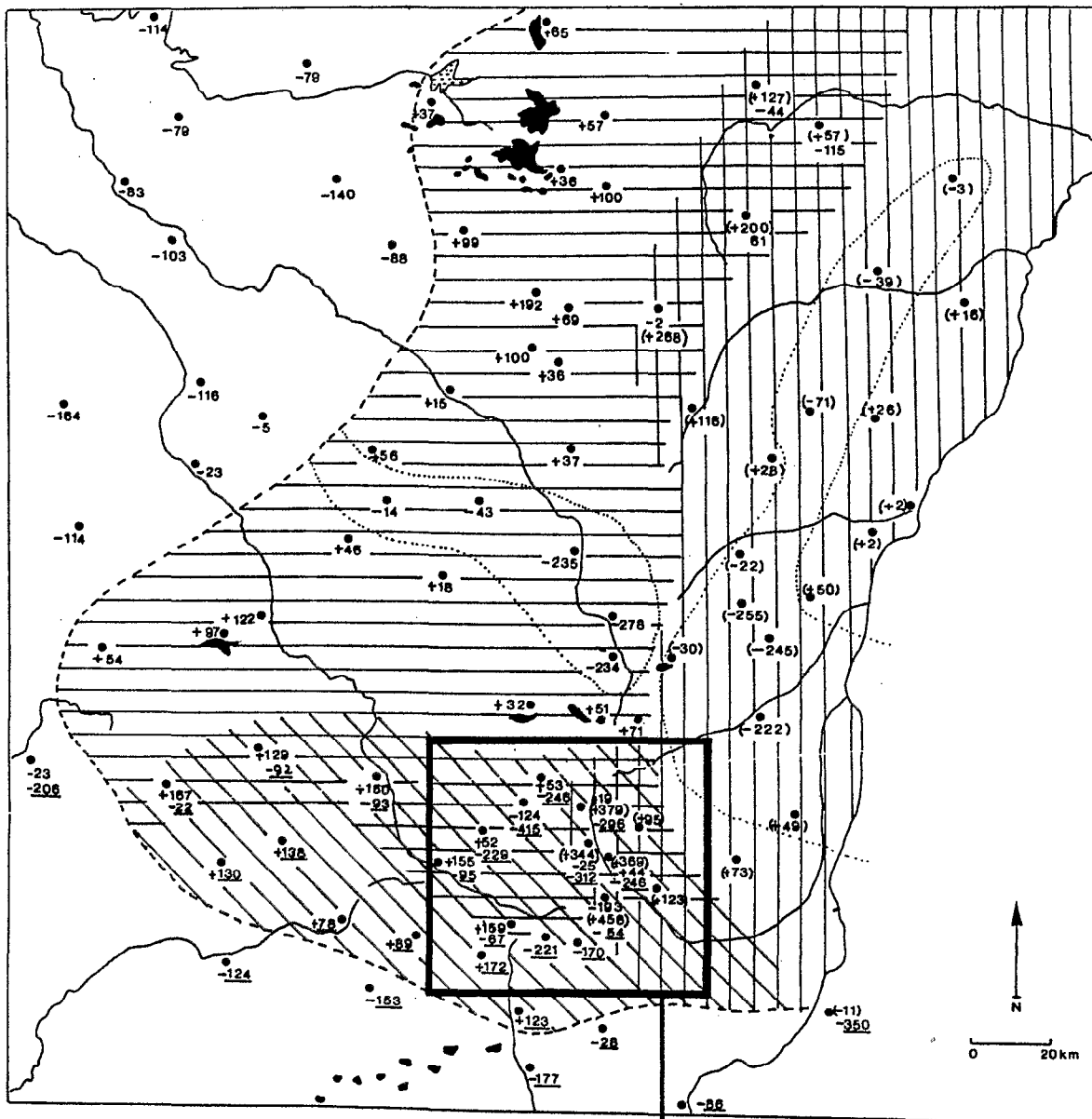
— L'intérêt de la méthode présentée dans cet article réside dans l'analyse comparée mathématique et graphique affinée par une étude des résidus qui permet de régionaliser les précipitations d'une moyenne montagne et d'en définir les limites pluviométriques.

— Cette régionalisation aboutit dans le cas du massif vosgien à définir 3 zones caractérisées par leur gradient pluviométrique moyen et déterminées par la corrélation précipitation/altitude lissée qui dans l'état actuel des connaissances reflète le mieux l'observation. Ces 3 zones correspondent aux 3 régressions linéaires et permettent d'améliorer la connaissance des pluies régionales.

— Dans une première approche, l'automatisation du modèle au moyen de procédés informatiques s'avère délicate, dans la mesure où l'on a constamment recours à l'observation graphique, statistique et cartographique, difficile à intégrer dans une analyse automatique. En revanche au sein de l'espace, une fois la régionalisation établie, il est aisé de réaliser une cartographie automatique et donc de connaître la quantité précipitée sur une surface donnée.

— On pourrait ultérieurement affiner encore cette méthode, en travaillant à des échelles plus fines : année, saison, mois... peut-être même décennie et jour, pour analyser les variations des gradients pluviométriques régionaux en vue de les relier éventuellement aux types de temps. Lorsqu'une modélisation sera effectuée sur un bassin versant dans lequel on trouvera à la fois des massifs montagneux, des régions de plateaux ou de collines, c'est-à-dire des unités géographiques distinctes, il sera nécessaire d'établir des modèles et/ou des sous-modèles adaptés aux unités géographiques préalablement définies.

Manuscrit accepté par le Comité de Rédaction le 9 avril 1990



Répartition spatiale des résidus.

- : Limite pluviométrique du Massif Vosgien.
- (-12) : Valeur du résidu du poste situé dans la zone est
- + 45 : Valeur du résidu du poste situé dans la zone ouest
- 36 : Valeur du résidu du poste situé dans la zone sud.
- ||||| : Zone est
- ==== : Zone ouest
- //// : Zone sud
- ||||| : Zone de transition
- : Anomalie négative au sein d'un secteur.

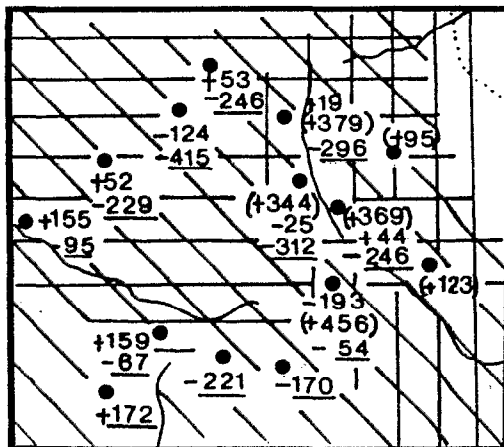


FIG. 4. — Carte des isoécarts de chacune des 3 zones pluviométriques.

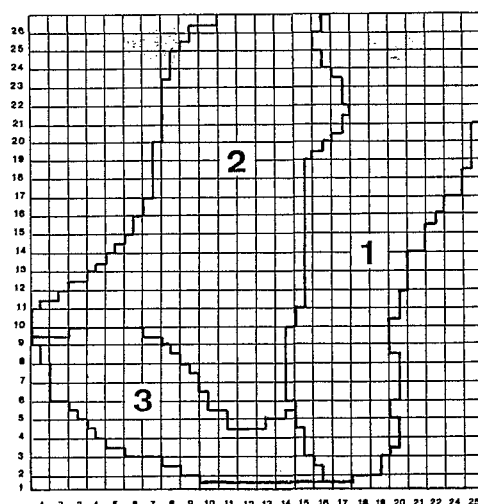


FIG. 5. — Discretisation spatiale de la pluie sur le Massif vosgien.
Le maillage est constitué par des carreaux de 5 km de côté.

BIBLIOGRAPHIE

- BENICHOU (P.), LE BRETON (O.), 1986. — Prise en compte de la topographie pour la cartographie des champs pluviométriques statistiques. Ministère de l'Équipement, de l'Aménagement du territoire et des transports. Direction de la Météorologie Nationale. 77, rue de Sèvres, 92106 Cedex Boulogne-Billancourt.
- DELFINER (P.), 1973. — Analyse objective du géopotentiel et du vent géostrophique par krigeage universel. *La Météorologie*, 5, n° 25.
- GARNIER (M.), 1966. — Valeurs normales des hauteurs de précipitations en France. I — Période 1931-1960 ; II — Période 1901-1950. *Monographie de la Météorologie Nationale*. Paris, n° 55, 110 p.
- JORDAN (J.-P.), MEYLAN (P.), 1988. — Estimation spatiale de la pluie dans l'Ouest de la Suisse, par la méthode du krigeage. *Ingénieurs et architectes suisses*, Lausanne n° 12-13 : 157-162 et 187-189.
- LABORDE (J.-P.), 1984. — Analyse des données et cartographie automatique en hydrologie : Eléments d'hydrologie lorraine. Thèse Doct. INPL/ENSC Nancy, 484 p.
- MARAND (C.), ZUMSTEIN (J.-F.), 1988. — La notion d'altitude lissée, une mise au point nécessaire. *Revue Géographique de l'Est*, Nancy, 39-46.
- MENTRE-HILDENBRAND (A.), 1986. — Contribution à l'étude des phénomènes hydro-climatiques : le cas du bassin Lorrain de la Meuse. Thèse Doct Nancy, 338 p.
- SHAMSI (F.), 1968. — Les climats de la France du Nord-Est. Thèse de 3^e cycle, Strasbourg, 258 p.
- SCHERER (J.-C.), 1977. — Une méthode d'extrapolation dans l'espace de données pluviométriques moyennes. Application à une partie des Vosges et de leur bordure. *Recherches géographiques à Strasbourg*, n° 4 : 69-85, 5 fig.

ANNEXE 1

Altitude lissée selon J.-C. SCHERER (1977), p. 74

A partir de cet exemple, il est facile de voir comment l'on peut étendre le lissage à 3 km, puis 4 km de part et d'autre du carré central. Après essai, il s'est avéré que la meilleure corrélation s'obtient en étendant le lissage à 4 ou 3 km de part et d'autre. C'est cette dernière distance (qui élimine les dépressions de moins de 7 km) que nous avons finalement retenue. Le graphique ci-dessous présente le résultat obtenu pour un transect situé dans le terrain étudié.

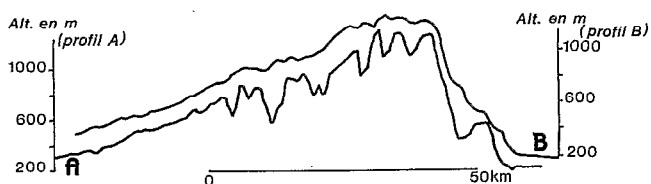
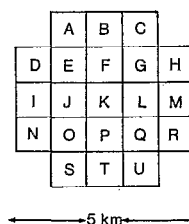


FIG. A1. — Comparaison entre profils établis avec :
 — (A) l'altitude maximale de chaque km²
 — (B) l'altitude lissée sur 3 km de part et d'autre du carré central un peu au sud d'une ligne Remiremont-Colmar (Ne pas oublier que le lissage s'effectue dans un plan).

Mathématiquement, l'altitude lissée d'un point est définie de la manière suivante (dans le cas d'un lissage s'étendant à 2 km de part et d'autre du carré central) : l'altitude lissée x du point G est la plus forte valeur des 15 expressions arithmétiques suivantes :

$$k, (b+t)/2, (f+p)/2, (b+2p)/3, (2f+t)/3, (a+u)/2, (e+q)/2, (d+r)/2, (i+m)/2, (j+L)/2, (i+2L)/3, (2j+m)/3, (n+h)/2, (o+g)/2, (s+c)/2.$$

(a, b, ..., u sont les altitudes maximales des carrés A, B... U du carroyage kilométrique UTM).



ANNEXE 2

Altitude lissée d'après J.-P. LABORDE (1984), p. 62

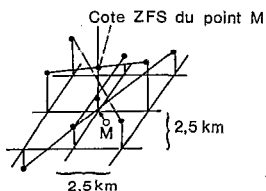


FIG. A2. — Calcul de ZFS.

Pour calculer la cote ZFS d'un point M, nous proposons d'abord de nous ramener au nœud du réseau le plus proche, puis de retenir la valeur maximale parmi la cote réelle à ce nœud, et les quatre cotes obtenues par interpolations linéaires, à partir des huit autres nœuds les plus proches.

Comme l'indique la figure ci-dessous, on supprime ainsi les vallées dont la largeur est inférieure à 5 km (deux pas de 2,5 km).

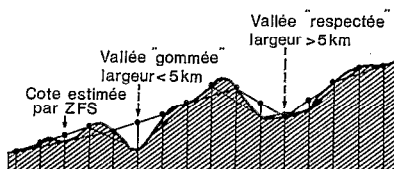
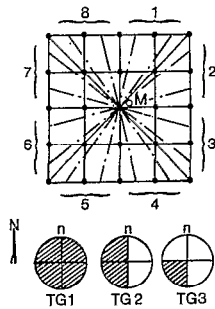


FIG. A3. — Effet de l'emploi de ZFS pour les vallées d'amplitude supérieure ou inférieure à 5 km.

ANNEXE 3

Encaissement du site : fonction TG1 J.-P. LABORDE (1984), p. 64



Nous avons huit « tranches » d'azimuts numérotés ci-contre de 1 à 8. Pour la suite de la cartographie, nous avons utilisé le paramètre suivant :

TG1 : Tangente moyenne sous laquelle on voit l'horizon selon les « tranches » d'azimuts (de 0 à 360°).

FIG. A4. — Le point M, ses 25 plus proches voisins et les 2 tranches d'azimut associées à la fonction TG.

ANNEXE 4

Altitude lissée d'après C. MARAND et J.-F. ZUMSTEIN (1988), p. 46

Pour établir l'altitude lissée avec précision, nous avons tout d'abord relevé l'altitude de chacune des crêtes, au point intersection crête/côté d'un carré de 2,5 km de côté. Le nombre de points obtenus est bien entendu fonction du nombre de crêtes « recoupées » par les côtés du carré. Nous avons ensuite calculé la valeur moyenne des résultats obtenus, valeur qui correspond bien sûr à une altitude moyenne des sommets entourant la station.

Cette nouvelle technique, comparées aux trois précédentes, semble d'un maniement plus délicat. En chaque point considéré, il faut avoir en mémoire l'environnement climatique, et veiller particulièrement aux multiples détails fournis par la carte topographique. Par ailleurs, de nombreuses visites sur le terrain sont nécessaires lors de la réalisation d'un tel travail.

Dans le cas d'un massif montagneux, cette méthode constitue une technique particulièrement fine capable de cerner une réalité géographique négligée jusqu'ici. Elle permet en outre d'obtenir des résultats plus proches de la réalité dans l'élaboration des cartes d'isohyètes. Après définition de relations précipitations-altitude lissée par secteurs géographiques.

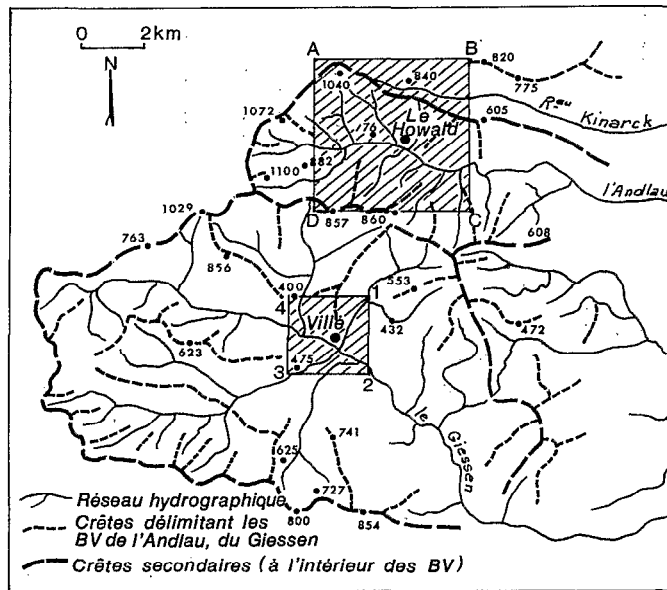


FIG. A5. — Les problèmes soulevés par le choix d'un carroyage.