

---

# Cartographie automatique des caractéristiques pluviométriques : Prise en compte des relations pluviométrie-morphométrie

## *Automatic mapping of rainfall data : Study of rainfall - Morphometric relationships*

J.-P. Laborde

École Nationale Supérieure de Géologie Appliquée  
et de Prospection Minière  
Institut National Polytechnique de Lorraine

---

### Préambule

L'étude que nous présentons a été réalisée par le Laboratoire de Mécanique et d'Hydraulique de l'École Nationale Supérieure de Géologie Appliquée de Nancy, à la demande et avec le concours des Services Régionaux d'Aménagement des Eaux d'Alsace et de Lorraine et de l'Agence Financière de Bassin Rhin-Meuse, dans le cadre de la Mission Déléguée de Bassin.

### Introduction

Ces dernières années ont vu le développement et la mise en oeuvre pratique de nouvelles méthodes d'estimation des débits de crue :

- la méthode du "gradex" pour les crues de fréquence très rare ;
- la méthode "SOCOSE" du Ministère de l'Agriculture pour les crues des petits bassins versants ;
- la méthode "CRUPEDIX" ;
- les nouvelles notes techniques pour le dimensionnement des ouvrages en assainissements urbains ;
- etc.

Ces estimations des débits sont basées sur la connaissance de différents paramètres caractéristiques des pluies extrêmes. Il était souhaitable de fournir aux projeteurs une étude synthétique des pluies sur la région Nord-Est de la France, en prenant en compte le maximum de l'information disponible.

Cela était possible du fait de l'existence d'une masse suffisante de données pluviométriques et du développement d'une bibliothèque de traitements statistiques et cartographiques à l'ENSG. Cette bibliothèque CARTOLAB est conçue, à l'origine, pour la résolution de problèmes d'estimation minière, mais ces derniers présen-

tent des analogies très étroites avec le problème climatologique envisagé. Les objectifs de cette étude étaient donc doubles, à la fois régionaux et méthodologiques.

Nous tenons à remercier ici ceux sans qui ce travail n'aurait pu se faire : en premier lieu, les différents observateurs qui ont une tâche essentielle mais obscure, et le personnel du Bureau de l'Eau de la Météorologie Nationale qui a assumé la charge ingrate de la critique de ces données.

Enfin, nous ne donnerons ici qu'une présentation succincte, mais l'on pourra se référer à l'étude SRAEL citée en bibliographie pour y trouver toute information plus détaillée.

### Caractéristiques pluviométriques retenues

#### *Les données pluviométriques de base*

Les informations pluviométriques sont stockées à l'Agence Financière de Bassin sur support informatique. Les observations émanent de plusieurs services : Météorologie Nationale bien-sûr, mais aussi SRAE, DDA, CNRF, INRA, etc.

Cette banque de données est à l'origine, hétérogène quant à sa qualité. Cependant, nous avons eu la chance de voir ces données critiquées par le Bureau de l'Eau de la Météorologie Nationale. En particulier, et ce qui était essentiel pour l'étude des pluies extrêmes, il ne subsistait plus de cumulés non signalés dans le fichier critiqué.

L'information pluviométrique de départ consistait donc en observations sur 364 postes, et pour une période critiquée allant de 1949 à 1976.

Des Etudes précédentes, portant sur les pluies journalières extrêmes [3], ont montré que le régime pluviométrique de la région possédait deux saisons : un

“hiver” de novembre à avril, et un “été”, de mai à octobre. Nous souhaitons, par ailleurs, établir les paramètres des distributions statistiques des pluies extrêmes sur une période commune d’observations. Le choix de cette période devait répondre à deux impératifs contradictoires : une durée suffisamment longue pour que la précision des estimations statistiques soit satisfaisante, et une durée suffisamment courte pour que

le nombre de stations disponibles permette une synthèse cartographique. Notre choix s’est porté sur la période de vingt ans (1957 – 1976), où nous disposons de 102 postes pluviométriques.

Comme le montre la figure 1, ces stations sont assez bien réparties dans l’espace, et une période de vingt ans permet une étude statistique significative.

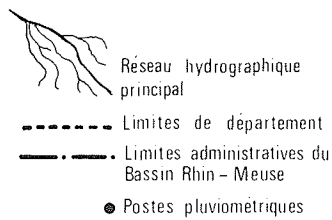


Figure 1 – Localisation générale de la zone étudiée.



**Les gradex saisonniers**

Pour chaque station, nous avons pu vérifier le comportement asymptotiquement exponentiel des lois de distribution des pluies extrêmes. Ce comportement est mis en évidence par le report dans un graphique de Gumbel (fig. 2) des pluies journalières maximales mensuelles de chaque “saison”. On constate souvent que l’ajustement à une loi de Gumbel, figuré par un trait fin, n’est pas parfait. Nous avons préféré estimer le gradex par la pente de la droite figurée en trait fort qui est ajustée au mieux dans le nuage des pluies de fréquence supérieure à 0.5, (soit d’après 60 pluies maximales mensuelles).

Cette estimation des gradex est bien sûr entachée d’une erreur d’échantillonnage. Une étude expérimentale basée sur cinq stations longues de la région, montre que l’on peut estimer l’incertitude sur les gradex à environ ± 20 %.

**Les pluies journalières décennales (Fig. 3)**

Les pluies journalières décennales sont estimées par composition des lois de distribution des pluies jour-

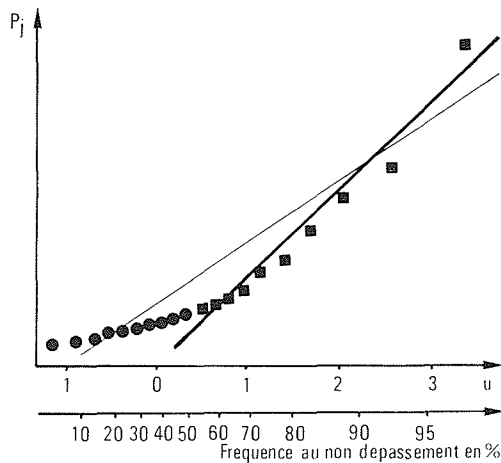


Figure 2 – Schéma des distributions expérimentales dans un graphique de GUMBEL.

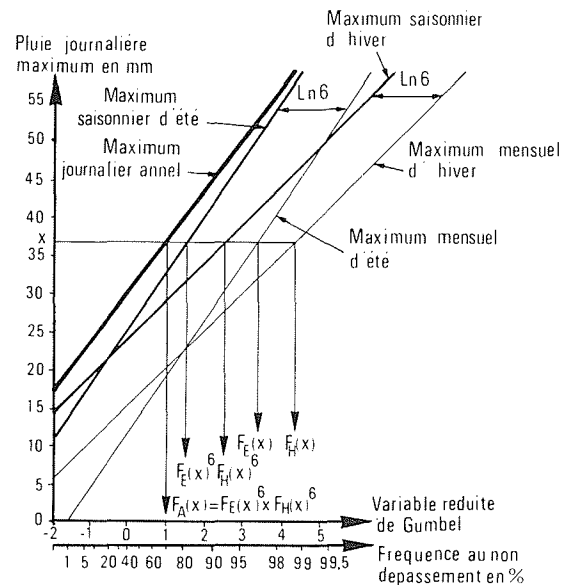


Figure 3 – Estimation de la loi de distribution des pluies maximales annuelles par composition des lois de distributions saisonnières et mensuelles.

nalières maximales mensuelles de chaque saison. La probabilité pour qu'une hauteur de pluie soit non dépassée durant toute l'année est sensiblement égale au produit des probabilités pour qu'elle soit non dépassée chacun des six mois de l'hiver et des six mois de l'été. A partir des lois de distribution des pluies maximales mensuelles d'hiver et d'été on passe aux pluies maximales saisonnières d'hiver et d'été. Enfin, en composant ces deux lois, on obtient les pluies maximales annuelles. On peut estimer que les pluies journalières décennales sont connues à ± 10 %, compte tenu des vingt années d'observation.

*Statistiques ponctuelles aux différents postes pluviométriques*

Le tableau I récapitule l'ensemble des résultats obtenus pour chaque station.

Les pluies maximales mensuelles d'hiver X exprimées en 1/10<sup>ème</sup> de mm. ont pour loi de distribution :

$$\text{Prob}(X \leq x)_H = F_H(x) = e^{-e^{-\frac{x - X_{OH}}{G_H}}}$$

De même pour les pluies d'été :

$$\text{Prob}(X \leq x)_E = F_E(x) = e^{-e^{-\frac{x - X_{OE}}{G_E}}}$$

avec

- $X_{OH}$  = mode d'hiver
- $X_{OE}$  = mode d'été
- $G_H$  = gradex d'hiver
- $G_E$  = gradex d'été.

Enfin, la dernière colonne, notée P<sub>10</sub>, donne l'estimation de la pluie journalière décennale, (hauteur de

Nom des stations	GH	X <sub>OH</sub>	GE	X <sub>OE</sub>	P10	Nom des stations	GH	X <sub>OH</sub>	GE	X <sub>OE</sub>	P10
CHAPLEVILLE MEZIERES	56	145	62	152	430	BRUPATH	74	56	95	134	528
LE CHESNE	57	171	58	151	458	BIEMERINGEN	62	121	83	146	494
FUMAY	79	132	59	166	478	BERKSHEIM	64	53	69	115	411
HAM SUR MEUSE	82	75	58	145	441	ENTZHEIM	58	56	87	92	449
LES HAUTES RIVIERES	66	199	59	190	493	GRANSPONTAINE	111	189	105	190	666
JUNIVILLE	56	106	80	129	461	HAGUENAU DASCHUBEL	54	104	106	116	547
MOUZON	58	150	91	116	498	HAGUENAU EREPBACH	48	105	111	94	544
RETHEL	49	108	89	111	474	LE HOHWALD	128	145	107	183	722
ROCROI	106	156	76	192	612	LAUTERBOURG	69	81	86	103	470
SEDAN	51	154	77	131	455	ROTHAU	146	171	97	186	781
SIGNY L ABBAYE	57	168	60	185	455	SAVERNE	69	107	65	125	433
VOUZIEERS ECLUSE	60	99	71	141	442	STATTMATTEN	62	102	108	109	550
VOUZIEERS RUE SYRIENN	58	99	60	152	412	STRASBOURG I.P.G.	63	76	84	119	469
PULLIGNY	61	125	118	110	590	SAINT MARTIN VILLE	112	83	92	131	591
LANEUVILLE AUX BOI	78	78	79	125	478	ZINSWILLER	75	105	65	173	472
LONGUYON VILLANCY	68	136	72	173	491	BALDERSHEIM	48	121	89	131	493
LUCEY	71	116	113	127	592	GUEHWILLER M.F.AX	97	236	83	180	649
MAIRIEPES	66	119	71	164	473	KIFFIS	64	138	91	195	569
PIEPPE PERCEE	91	118	82	192	567	KRUTH	144	336	109	228	932
ST NICOLAS DE PORT	73	89	76	151	481	LINTHAL LA LA LAUCH	148	272	108	273	898
SAINT SAUVEUR	74	123	91	152	541	LUTTENBACH MUNSTER	132	116	85	143	667
TOMBLAINE	46	111	104	118	539	MOLLAU	114	312	113	198	807
TOUL ECLUSE	54	120	102	131	545	MULHOUSE ECLUSE	75	95	92	114	509
BRAS SUR MEUSE	63	147	71	157	472	NEUF BRISACH	52	83	96	131	520
CHAUMONT SUR AIRE	73	146	86	149	528	ORRENTZEN	56	94	88	106	468
CLERMONT EN ARGONNE	72	173	95	172	578	OEREN	122	323	107	228	841
COMMERCY GENDARMERIE	78	135	82	135	515	ROUFFACH	57	83	107	94	529
CHAMVILLERS	62	138	77	137	470	SAINT LOUIS	48	101	66	127	401
GONDRECOURT LE CHAT.	73	137	71	173	497	SEWEN LAC D ALFELD	189	422	147	263	1204
LISNY EN BARROIS	106	122	136	78	677	WILDENSTEIN	178	309	94	285	1032
LOXEVILLE	70	164	81	159	521	WINTZENHEIM	64	82	142	52	628
MAXEY SUR VAISE	92	112	103	139	593	LA BRESSE	117	289	79	280	775
MONTMEDY	90	107	67	154	504	CHAMPRES	75	56	58	126	406
SAUDRUPT	74	174	103	134	579	CHAUMOUZEY	78	143	85	147	532
VAUCOULEURS	75	122	104	130	567	FRAIZE	84	118	90	187	576
VIGNEULLES MATTONCH.	55	131	89	118	486	GERARDMER	154	214	88	263	849
AUGNY METZ FRESCATY	59	104	77	136	459	GOLBEY	69	150	66	197	495
BOULAY SUR MOSELLE	54	117	74	129	440	MIRECOURT	67	111	65	147	443
COUCHELLES CAUSSY	45	105	95	127	512	NEUFCHATEAU	82	123	103	124	569
JANNE ET QUATRE VENT	58	103	74	131	444	PAMPERVILLERS	85	100	86	132	523
DIEUZE	67	81	104	103	531	REMIREMONT	94	265	95	213	690
GONDREXANGE	75	96	86	128	501	ROVILLE AUX CHENES	114	84	114	128	648
METZERVISSE	44	106	93	105	482	RUPT SUR MOSELLE	150	301	105	259	924
MITTERSHEIM ECL.12	62	127	96	141	537	SAINT DIE	96	148	72	197	572
MITTERSHEIM ECL.14	62	114	80	148	484	SENONES	94	102	85	160	555
MITTING	78	107	68	148	473	VITTEL	72	134	112	97	566
ROLRING	69	97	91	129	511	XONRUPT-LONGEMER	165	253	108	271	940
SEREVANGE ERZANGE	50	161	81	133	470	HELFORT H.P.	61	154	105	120	553
WALRWISSE	55	130	83	146	488	GIROMAGNY	210	162	130	174	1029
ALTECKENDORF	56	90	65	163	434	LEPUIX	255	241	172	258	1307
BARR	73	103	67	136	451	ST GERMAIN CHATELET	97	162	80	154	584

pluie dépassée en moyenne une fois tous les dix ans), et exprimée en  $1/10^{\text{èmes}}$  de mm.

### Caractéristiques morphométriques

#### Constitution d'une banque de données altimétriques

La zone à cartographier s'inscrit dans un rectangle orienté Nord-Sud, d'environ 200 sur 300 km. Nous avons décidé d'introduire la topographie sous forme numérique, en échantillonnant les altitudes aux noeuds d'un réseau à mailles carrées. La dimension des mailles devait être suffisamment fine pour amener une bonne

précision du tracé à l'échelle envisagée ( $1/500\,000^{\text{ème}}$ ), tout en étant assez grande pour que le nombre de mailles couvrant la zone permette un traitement aisé et rapide sur l'ordinateur utilisé (CII Iris 80).

Pour ces raisons, le fichier a été constitué à partir des cartes topographiques au  $1/100\,000^{\text{ème}}$ . Nous y avons relevé les altitudes aux noeuds d'un réseau à mailles carrées de 2,5 km de côté. Compte tenu des dimensions de la zone à cartographier, c'est plus de 12 000 altitudes qui ont été échantillonnées. Le bloc-diagramme de la figure 4 illustre la représentativité de ce fichier, puisque nous y retrouvons tous les éléments caractéristiques du relief, en particulier les côtes de Meuse et de Moselle.

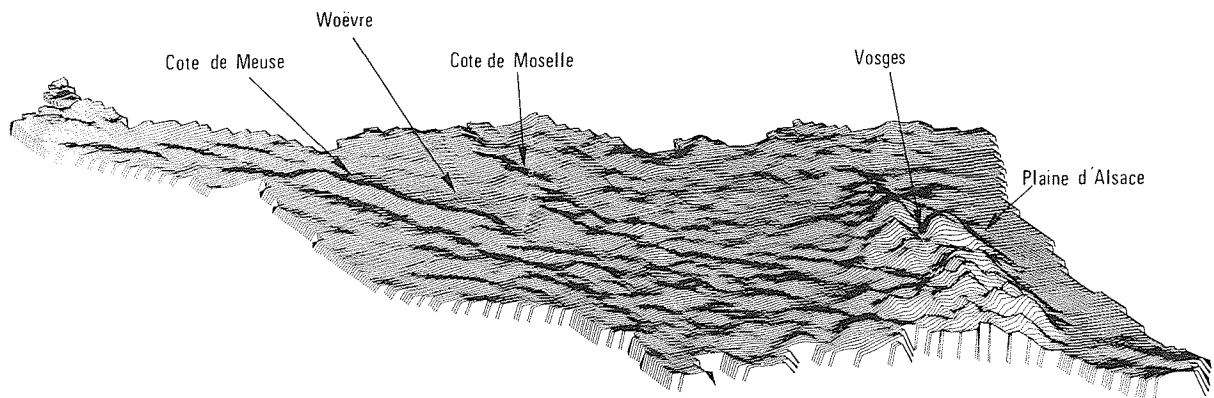


Figure 4 – Bloc-diagramme du Nord-Est de la France.

#### Paramètres altimétriques

Il est connu de longue date, que l'altitude joue un rôle très important sur la pluviométrie. Mais de quelles altitudes s'agit-il ? Altitude du pluviomètre ? Altitude des sommets environnants ? ...

Nous avons donc envisagé cinq définitions :

- l'altitude réelle  $Z$  du poste pluviométrique ;
- l'altitude ZFXY : altitude du poste pluviométrique interpolée par une fonction  $Z(x, y)$  de degré 4 en  $x$  et en  $y$  et calée sur les 25 noeuds du réseau les plus proches ;
- l'altitude ZFXYL : approximation de Lagrange, basée sur les 25 noeuds les plus proches (lissage) ;
- l'altitude ZFXYLL : approximation de Lagrange, basée sur les 64 noeuds les plus proches (lissage plus intense) ;
- l'altitude ZFS : ce mode de lissage était déjà utilisé manuellement ; son but est de ne retenir dans la topographie, que les reliefs susceptibles d'affecter les mouvements des masses d'air.

Des études précédentes [10] ont montré que seules, dans la région, les vallées dont la largeur dépasse 4 km environ, affectent la répartition des pluies.

Pour calculer la cote ZFS d'un point  $M$  (fig. 5), on se déplace au noeud du réseau le plus proche et on retient la valeur maximale parmi la cote réelle à ce noeud et les quatre cotes obtenues par interpolation linéaire à partir des huit autres noeuds les plus proches.

Comme le suggère la figure 6 (à 2 dimensions), on "efface" ainsi les vallées dont la largeur est inférieure à 2 mailles, soit 5. km.

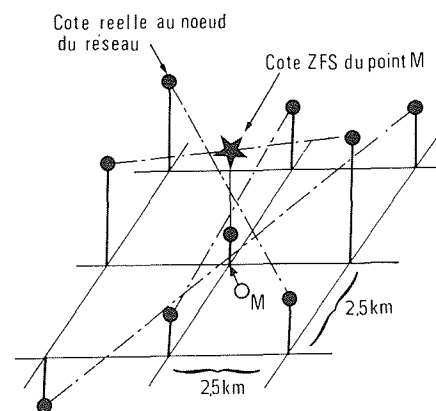


Figure 5 – Estimation de la cote ZFS.

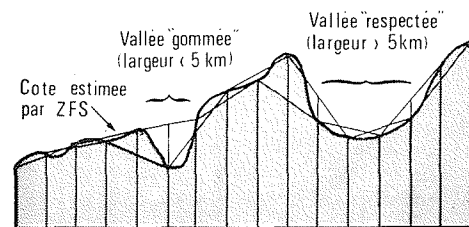


Figure 6 – Effet de l'emploi de ZFS pour des vallées d'amplitude supérieure ou inférieure à 5 km.

### Caractérisation de l'encaissement d'un site (fig. 7)

L'altitude n'est pas le seul paramètre topographique qui caractérise un site. Supposons que nous soyons en M à l'abri d'une crête montagneuse. L'influence de cette crête est d'autant plus forte qu'elle est élevée par rapport à M ( $dz$ ) et qu'elle en est proche ( $dl$ ). Pour tenir compte à la fois des aspects, dénivelée et distance, il est logique de faire intervenir la tangente de l'angle  $\theta$  ( $\tan \theta = dz/dl$ ) sous lequel on voit la crête depuis M et selon la direction des vents dominants. Par ailleurs,  $\tan \theta$  ne peut à elle-seule, mesurer l'influence de la crête ; à cela deux raisons ; d'une part, un pic isolé aura moins d'influence qu'une crête continue ; d'autre part, les vents s'orientent dans une certaine "fourchette" d'azimuts autour de la direction principale.

Nous proposons donc de caractériser l'encaissement d'un site à partir de l'angle solide sous lequel on voit l'horizon entre deux azimuts limites Az.1 et Az.2.

Dans notre région, les perturbations d'hiver viennent généralement de l'Ouest ou du Sud-Ouest. En été par contre, il semble que ce soit plutôt l'encaissement (creux ou bosses) qui affecte la répartition des pluies d'orage.

Sur cette idée, nous avons construit six paramètres :

- . AS1 : rapport de l'angle solide sous lequel on voit l'horizon entre les azimuts 0 et 360 degrés à l'angle théorique maximal. Cet angle est calculé uniquement sur un diamètre de 20 km entourant le point considéré ;
- . AS2 : même définition que AS1, mais pour des azimuts allant de 180 à 360 degrés (vision vers l'Ouest) ;
- . AS3 : même définition que AS1, mais pour des azimuts de 180 à 270 degrés (vision vers le Sud-Ouest) ;

Ces trois paramètres varient de  $-1$  à  $+1$ . Ils sont négatifs sur un sommet et positifs dans un creux.

- . TG1 : tangente moyenne sous laquelle on voit l'horizon, estimée à partir des 25 noeuds les plus proches et entre les azimuts 0 et 360 degrés ;
- . TG2 : même définition, mais pour des azimuts de 180 à 360 degrés ;
- . TG3 : même définition, mais pour des azimuts de 180 à 270 degrés ;

Ces trois derniers paramètres varient dans le même sens que les AS, mais de  $-\infty$  à  $+\infty$ .

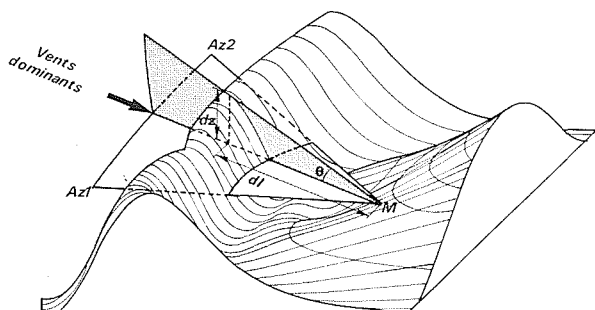


Figure 7 - Caractérisation d'un site par l'angle solide sous lequel on voit l'horizon.

### Etude des relations pluviométrie-morphométrie

A ce stade, nous disposons donc, d'une part, de caractéristiques ponctuelles de pluies, et d'autre part, des valeurs ponctuelles des paramètres morphométriques pouvant influencer sur la pluviométrie. Soit  $P(x, y)$ , la valeur de la pluie en un point M ; nous avons postulé que  $P(x, y)$  dépendait d'une première composante  $f_S(x, y, z)$  fonction qui caractérise la topographie sur le domaine  $D$  entourant le poste ;  $f_S(x, y, z)$  est en quelque sorte un effet de site qui doit intégrer l'altitude et l'orientation des versants. Nous supposons que cette fonction  $f_S(x, y, z)$  est la même en tout point de la région.

Il existe certainement une deuxième fonction  $R(x, y)$  qui traduit la répartition régionale des pluies corrigées des effets de site. Par ailleurs, il se peut très bien que la fonction  $f_S(x, y, z)$  change à l'intérieur du domaine d'étude : par exemple, le gradient altimétrique des pluies n'est pas forcément exactement le même sur le versant lorrain que sur le versant alsacien des Vosges. Cependant, les erreurs qui en découlent sont vraisemblablement analogues sur toute une zone, et elles seront, en partie, prises en compte dans la fonction  $R(x, y)$ .

Nous avons donc certainement une relation du type :

$$P(x, y) = f_S(x, y, z) + R(x, y)$$

Dans un premier temps, nous avons essayé d'évaluer la fonction  $f_S(x, y, z)$  à partir des différentes altitudes représentatives du site, et des différentes tangentes moyennes sous lesquelles on voit l'horizon. Le choix du nombre et des paramètres à utiliser a été guidé par l'étude des régressions multiples linéaires.

Pour les pluies journalières décennales P10 et les gradex d'hiver GH, seule l'altitude ZFS joue un rôle statistiquement significatif :

$$P10 = 0.0534 ZFS + 35.5 + \epsilon_{P10}$$

avec P10 en mm/j et ZFS en m, soit un gradient altimétrique de 5 mm/100 m (le coefficient de corrélation est alors de 0.85) ;

$$GH = 0.116 ZFS + 34.3 + \epsilon_{GH}$$

avec GH en 1/10 mm/j et ZFS en m, soit un gradient altimétrique de 1 mm/100 m (le coefficient de corrélation est alors de 0.82).

Les gradex d'été GE s'expliquent moins bien par la topographie, mais on y voit néanmoins l'influence statistiquement significative de l'altitude ZFS et aussi de l'encaissement TG :

$$GE = 0.0402 ZFS - 16.0 TG + 74.9 + \epsilon_{GE}$$

avec GE en 1/10 mm/j ; ZFS en m et TG sans unité (le coefficient de corrélation multiple est 0.46).

Le gradient altimétrique de 0.4 mm/100 m est beaucoup plus faible que pour GH ; d'autant plus qu'en moyenne, lorsque ZFS augmente, TG augmente également. Il faut noter ici que le coefficient affecté à TG est négatif, ce qui signifie qu'à altitude égale, les gradex d'été sont plus forts sur les bosses que dans les creux. Il faut y voir certainement une localisation préférentielle des orages d'été sur les sommets.

## Cartographie automatique

La cartographie automatique s'effectue en trois phases :

- calculs des résidus  $\epsilon$  à chaque poste pluviométrique ;
- interpolation de ces  $\epsilon$  aux noeuds d'un maillage régulier (différents a priori du maillage de 2.5 km  $\times$  2.5 km et en général plus lâche), et cartographie des  $\epsilon$  ;
- cartographie finale à partir de la carte des résidus  $\epsilon$  et des données morphométriques.

### Cartographie des résidus

Les résidus ayant été calculés sur les 102 stations pluviométriques, il convient d'interpoler leur valeur aux noeuds d'un réseau régulier. Parmi plusieurs techniques utilisables, nous avons choisi celle des filtres autorégressifs (analogue au krigeage). Dans cette méthode, les points d'échantillonnage sont rapportés, dans un premier temps, aux noeuds les plus proches du réseau. Si plusieurs points sont ramenés au même noeud, la valeur affectée au noeud en sera la moyenne arithmétique. On conçoit donc que l'on obtienne un lissage de plus en plus intense en diminuant le maillage de la zone étudiée. On effectue alors plusieurs essais en augmentant le nombre de mailles jusqu'à atteindre la précision souhaitée.

Dans notre cas, nous avons retenu une précision telle que dans 70 % des cas, l'écart entre la valeur réelle et celle cartographiée soit inférieure au quart de l'incertitude sur les estimations ponctuelles de départ.

Les trois cartes ainsi obtenues présentent une organisation régionale nette, avec des zones synclinales et anticlinales bien localisées, comme le montre la figure 8.

### Cartographie finale

Nous disposons donc d'une carte de résidus la plus "lisse" possible (pour notre méthode d'interpolation

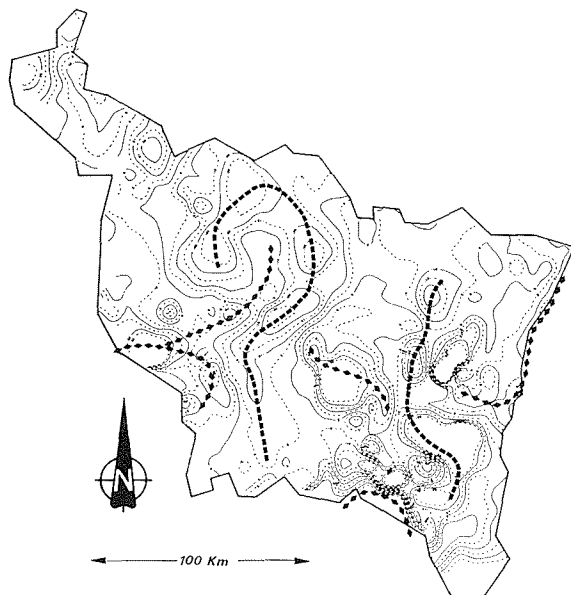


Figure 8 — Résidus des gradex des pluies journalières maximales mensuelles d'hiver (en 1/10 mm/j).

et non pas au sens de fonction spline), compte tenu de la précision des données de départ, et aussi des fichiers morphométriques. En tout point du maillage primitif de 2.5 km  $\times$  2.5 km, nous pouvons estimer le paramètre à cartographier en prenant la valeur de  $\epsilon$  cartée, et en y ajoutant l'influence du site d'après les équations de régressions citées page 335.

On constate que les courbes isohyètes de la figure 9 dessinent des détails justifiés par la connaissance que nous avons de la topographie. Cependant, les variations régionales sous-jacentes de la figure 8 sont les plus "lisses" possibles, car elles ne s'appuient que sur un nombre restreint de points de mesures (102) et sur des données entachées d'erreurs d'échantillonnage.

L'étude statistique des écarts entre les valeurs de GE, GH et P10 estimées aux postes pluviométriques et les valeurs cartographiées, montre que dans 70 % des cas, l'erreur relative est inférieure à  $\pm 6$  % pour les gradex d'hiver, à  $\pm 5$  % pour les gradex d'été, et à  $\pm 3.5$  % pour les pluies journalières décennales.

Les cartes 8 et 9 sont volontairement simplifiées ici. En effet, les versions originales comportent tous les renseignements ponctuels [15].

## Retour sur l'utilisation des paramètres morphométriques

Arrivé au terme de ce travail, les enseignements sont de deux ordres. Ils concernent d'une part, la répartition des pluies extrêmes dans la France du Nord-Est, et d'autre part, la mise en évidence quantitative de l'influence du relief sur la pluviométrie.

Du point de vue des relations entre pluviométrie et morphométrie, on obtient une vision plus claire en procédant par analyse en composantes principales. Les quatorze variables que nous avons étudiées peuvent se ramener à trois composantes qui expliquent dans l'ordre 61 %, 24 % et 6 % de la variance totale (les autres composantes tombent en-dessous de 3 %).



Figure 9 — Gradex des pluies journalières maximales mensuelles d'hiver (en 1/10 mm/j).

La figure 10 représente la projection des quatorze variables dans le plan des deux premières composantes. Les caractéristiques morphométriques se regroupent d'une façon compacte autour de trois pôles :

- l'altitude du poste avec la variable Z et l'estimation ZFXY de Z à partir de l'échantillonnage d'altitudes ;
- l'altitude moyenne autour du poste avec les variables ZFXYL, ZFXYLL et ZFS ;
- l'encaissement du site avec les six variables AS et TG.

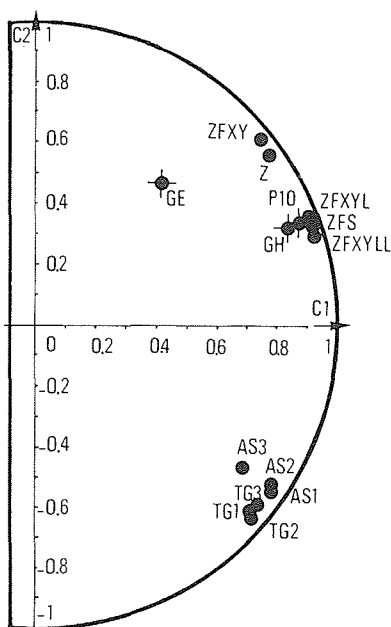


Figure 10 - Projection des variables dans le plan des deux premières composantes principales.

(Cette représentation est faite en tenant compte des trois variables pluviométriques, mais l'A.C.P., sur les seules variables topographiques, donne des résultats analoges).

La pluie décennale et le gradex des pluies d'hiver sont très proches du pôle altitude moyenne qui est essentiellement lié à la première composante. Le gradex des pluies d'été dépend à la fois de la première composante et de la deuxième, mais essentiellement de la troisième comme le montre la figure 11.

Cette composante est pratiquement indépendante des paramètres topographiques.

Tableau II - Projection des variables sur les trois premières composantes

	P10	GE	GH	Z	ZFXY	ZFXYL	ZFXYLL
1	.866	.413	.831	.771	.741	.906	.932
2	.325	.466	.317	.565	.612	.350	.296
3	.318	.741	.131	-.181	-.216	-.185	-.170

	ZFS	AS1	AS2	AS3	TG1	TG2	TG3
1	.924	.781	.783	.692	.710	.715	.731
2	.317	-.557	-.536	-.473	-.626	-.640	-.588
3	-.160	-.065	-.017	-.049	.068	.109	.078

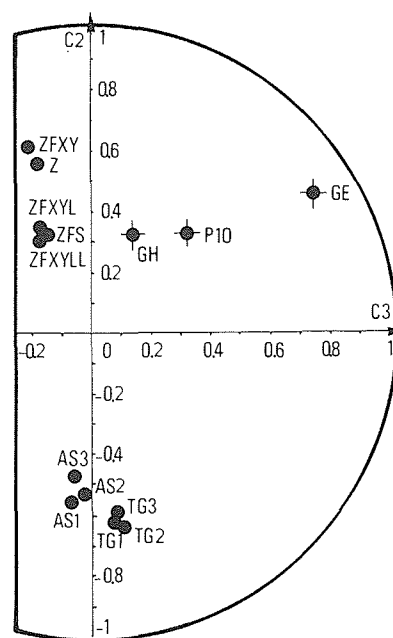


Figure 11 - Projection des variables dans le plan des deuxièmes et troisièmes composantes.

On peut expliquer a posteriori, les résultats obtenus par régressions multiples : P10 et GH sont très proches du pôle altitude moyenne.

Pour le gradex des pluies d'été GE, il dépend de la première composante représentant surtout les altitudes moyennes (première variable explicative dans les régressions multiples), mais aussi de la seconde que l'on peut choisir de représenter, soit par les angles solides, soit par les altitudes réelles.

La figure 12 présente la projection des variables dans le plan des deux premières composantes, calculées uniquement d'après les variables topographiques. Par une

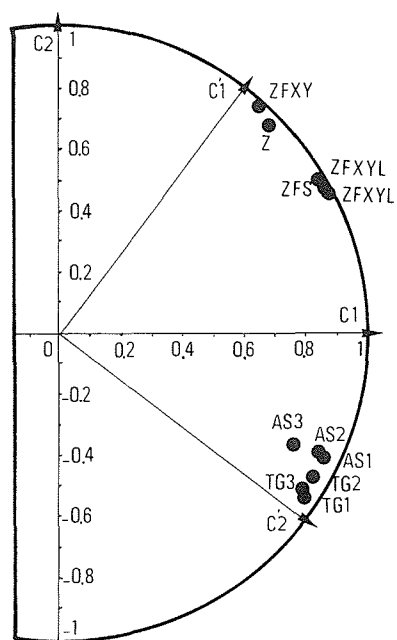


Figure 12 - Projection des variables topographiques dans le plan, des deux premières composantes.

rotation de 60° environ, on obtient deux facteurs : C'1 est sensiblement l'altitude réelle Z du poste, C'2, l'encaissement mesuré par TG1.

Dans le cas général, il paraît donc judicieux de caractériser la topographie par ces deux paramètres. Tous les autres en dérivent par combinaison linéaire.

Le cas des pluies journalières décennales et des gradex d'hiver est peut-être un cas particulier. D'autres caractéristiques pluviométriques, pluies annuelles, pluies en une heure, peuvent très bien se projeter dans d'autres positions, comme c'est le cas pour le gradex d'été.

En essayant de relier la pluie à l'altitude réelle et à l'angle solide sous lequel on voit l'horizon, on est à peu près assuré de prendre en compte la plus grande partie de l'influence de la topographie sur la pluviométrie. Ne retenir, a priori, que l'altitude moyenne, présente donc un risque.

### Conclusions

Elles portent sur deux aspects de ce travail : l'utilisation pratique des cartes, et les enseignements méthodologiques.

Sur le plan pratique, les cartes doivent être utilisées avec une prudence réfléchie. Les valeurs ponctuelles qui y figurent ne sont données qu'à ± 20 % pour les gradex, et à ± 10 % pour les pluies décennales. En ce qui concerne les isohyètes, leur tracé en fonction de la topographie peut être considéré comme le plus probable. Les incertitudes sont de l'ordre de ± 25 % pour les gradex, et ± 13 % pour les pluies décennales. La vocation de ce document est de permettre la détermination rapide des caractéristiques essentielles de la distribution statistique des pluies extrêmes sur la région. Il ne saurait cependant dispenser d'une étude plus approfondie dans chaque cas où la hauteur pluviométrique doit être évaluée avec précision.

Sur le plan méthodologique, les résultats sont très encourageants. Nous poursuivons l'amélioration de ces techniques, en élargissant le choix des variables pluviométriques à cartographier, (hauteurs de pluies interannuelles, fréquence des jours sans pluie . . .) et des zones géographiques (France, Algérie, . . .). Certains inconvénients des méthodes décrites doivent disparaître avec l'introduction de régressions non linéaires, (mise en évidence d'un optimum pluviométrique par exemple), et de régressions variant selon la position dans le plan. Ces essais sont actuellement en cours. La difficulté est bien souvent, de trancher sur la signification statistique des résultats, au vu de l'imprécision des données de départ.

### Références

- [1] COLIN E., MEUNIER, PUECH — *Problèmes hydrologiques relatifs à l'étude des crues*. Notes Techniques du C.T.G.R.E.F., Paris, 1972.
- [2] DEMASSIEUX L., LABORDE J.P., MARCHAND A. — *Etude pluviométrique sur le District de l'Agglomération de Nancy*. Connaître le sous-sol, un atout pour l'aménagement urbain. Actes du Colloque National, Lyon, 1979.
- [3] ESTORGES J.L., LABORDE J.P., ZUMSTEIN J.F. — *Mise en évidence des relations entre le gradex des pluies journalières et les gradex de durée inférieure à 24 heures en Lorraine*. La Météorologie, numéro spécial Précipitations et Hydrologie, Paris, 1980.
- [4] GUILLÔT P., DUBAND D. — *La méthode du gradex pour le calcul de la probabilité des crues à partir des pluies*, 1967. Les crues et leur évaluation. Actes du Colloque International A.I.H.S., Leningrad, 1967.
- [5] LABORDE J.P. — *Notion d'indice de pente : approche par le calcul automatique*. Sciences de la Terre, série informatique géologique, n° 8, Nancy, 1976.
- [6] LABORDE J.P. — *Synthèse cartographique des pluies journalières extrêmes dans l'Est de la France*. S.R.A.E. Lorraine, D.E.D.S., Metz, 1980.
- [7] LABORDE J.P., SANCHEZ M. — *Cartographie automatique des caractéristiques pluviométriques et exemple d'application dans l'Est de la France*. Acte du Colloque International sur l'eau au XXI<sup>e</sup> siècle, Madrid, 1980.
- [8] MALLET J.L. — *Présentation d'un ensemble de méthodes et techniques de la cartographie automatique*. Sciences de la Terre, série informatique géologique, n° 4, Nancy, 1974.
- [9] MALLET J.L. — *Programmes de cartographie automatique : présentation de la bibliothèque CARTOLAB*. Sciences de la Terre, série informatique géologique, n° 7, Nancy, 1976.
- [10] SCHERER J.C. — *Une méthode d'extrapolation dans l'espace de données pluviométriques moyennes*. Recherche Géographique, n° 4, Strasbourg, 1978.
- [11] Anonyme — *Utilisation de quelques tests en hydrologie et calcul d'intervalles de confiance*. Informations techniques du C.T.G.R.E.F., cahier 31, n° 2, Paris, 1978.
- [12] Anonyme — *Techniques des barrages en aménagement rural*. Ministère de l'Agriculture, Paris, 1977.
- [13] Anonyme — *Analyse des pluies de 1 à 10 jours*. C.T.G.R.E.F., Antony, 1979.
- [14] Anonyme — *Synthèse nationale sur les crues des petits bassins versants*. Ministère de l'Agriculture, Paris, 1980.
- [15] Anonyme — *Hauteurs des précipitations journalières décennales de la France du Nord-Est. Carte au 1/500 000 et sa Notice*. Mission Déléguée de Bassin Rhin-Meuse. Metz, 1981.