

AGENCE FINANCIERE DE BASSIN RHIN-MEUS  
"Le Longeau" - Rozerieulles  
57160 - MOULINS-LES-METZ



----

MI SE EN EVIDENCE DES RELATIONS  
ENTRE LE GRADEX DES PLUIES JOURNALIÈRES  
ET LES GRADEX DES PLUIES  
DE DURÉE INFÉRIEURE À 24 HEURES  
EN LORRAINE

----

J. L. ESTORGES

J. P. LABORDE

----

Juin 1978

----

Ecole Nationale Supérieure de Géologie Appliquée  
et de Prospection Minière  
SERVICE . HYDROGÉOLOGIQUE RÉGIONAL  
B. P. 452 - 54001 NANCY Cedex

# S O M M A I R E

	Pages
RESUME . . . . .	1
I - La méthode du gradex et la connaissance des pluies qu'elle nécessite . . . . .	2
II - Données disponibles . . . . .	5
III - Etude des pluies à l'échelle mensuelle . . . . .	7
111.1 : traitement effectué . . . . .	7
111.2 : exploitation des données . . . . .	7
a) prise en compte des valeurs "douteuses" . . . . .	7
b) comparaison à une période longue de référence . . . . .	8
c) comparaison pluie en 24 h et pluie journalière . . . . .	8
d) courbe pluie-durée pour les moyennes des pluies maximales mensuelles . . . . .	8
IV - Essais de découpage saisonnier . . . . .	11
IV.1 : comparaison directe des moyennes . . . . .	11
IV.2 : utilisation du test de Student-Fisher . . . . .	12
a) principe du test . . . . .	13
b) normalisation des variables . . . . .	14
c) U q u e d a résultats . . . . .	14
IV.3 : utilisation des courbes pluie-durée . . . . .	16
IV.4 : synthèse. . . . .	17
V - Etude statistique des pluies maximales mensuelles par saison . . . . .	18
V.1 : ajustements à des lois de Gumbel . . . . .	18
V.2 : estimation des gradex saisonniers . . . . .	18

	Pages
V.3 : évolution du gradex avec la durée . . . . .	19
V.4 : formules régionales . . . . .	21
a) gmdex d a <i>stations de plaine</i> . . . . .	21
b) <b>gradex</b> d a <i>stations des Hautes Vosges</i> . . . . .	21
VI – Etude des pluies maximales mensuelles sur l'année . . . . .	22
VI.1 : ajustements à des lois de Gumbel . . . . .	22
VI.2 : estimation des gradex à l'échelle annuelle . . . . .	22
VI.3 : évolution du gradex annuel avec la durée . . . . .	23
VI.4 : formules régionales . . . . .	24
a) <i>stations de plaine</i> . . . . .	24
b) <i>stations des Hautes Vosges</i> . . . . .	24
VI.1 – Conclusions . . . . .	25
BIBLIOGRAPHIE . . . . .	27
ANNEXES . . . . .	26

A La demande de L'Agence Financière de Bassin Rhin-Meuse,  
Le Laboratoire d'Hydrogéologie et d'Hydraulique Appliquée de l'Ecole  
Nationale Supérieure de Géologie Appliquée a entrepris cette étude  
**de l'estimation du gtrcdex** de pluies sur des durées inférieures à  
24 heures.

Le but était de donner une méthode de valorisation des  
données pluviométriques journalières maximales mensuelles, en vue de  
l'application de la méthode du **gtradex** à de petits bassins versants  
de temps de concentration inférieur à 24 heures.

Cette étude a été menée par Monsieur ESTORGES, Etudiant de  
3<sup>ème</sup> Année de l'E.N.S.G., dans le cadre de son stage de fin d'études,  
sous la direction et en collaboration avec Monsieur LABORDE,  
Maître-Assistant à l'Institut National Polytechnique de Lorraine.

## R E S U M E

La critique des données disponibles pour les postes pluviographiques gérés par l'Agence Financière de Bassin Rhin-Meuse a montré que dans l'ensemble, sur une centaine de mois d'observation [neuf stations durant neuf années), moins de dix ne pourraient être exploitées.

Dans un premier temps, nous avons cherché à effectuer un regroupement saisonnier des pluies maximales mensuelles, Un découpage en deux saisons continues et de même durée a pu être proposé en s'appuyant sur différents critères [page 17).

Ce découpage admis, nous avons étudié, par saison, les lois de variation du gradex des pluies en fonction de leur durée. Il n'existe pas de loi unique, mais nous en avons mis deux en évidence en fonction de la région. Ces lois de variation permettent d'évaluer avec une bonne précision' [de l'ordre de 10 %, les gradex des pluies sur une durée comprise entre 3 heures et 24 heures, à partir des gradex des pluies relevées à des pluviomètres. On trouvera, page 23, ces formules pour chaque saison et chaque région.

Enfin, nous avons établi puis présenté page 24, deux formules régionales qui permettent d'évaluer sommairement le gradex des pluies maximales annuelles sur une durée quelconque à partir des pluies journalières.

## I - La méthode du gradex et la connaissance des pluies qu'elle nécessite

---

Il y a dix ans déjà, Messieurs GUILLOT et DUEAND, de l'E.O.F., proposaient leur "méthode du gradex" pour l'évaluation des crues de fréquence rare.

Cette méthode, que nous allons résumer brièvement, a donné satisfaction dans la quasi-totalité de ses applications. Malheureusement, la nature des données pluviométriques a généralement limité son emploi à l'étude de bassins versants de surface moyenne ou grande ; voici pourquoi.

L'idée de départ était de maximiser "l'information débit", à partir de "l'information pluie", généralement beaucoup plus abondante.

### Première constatation :

Les pluies maximales (décadaires, mensuelles, annuelles) sur une durée quelconque, 12 h, 24 h, 48 h ... s'ajustent bien à des lois de Gumbel. Or, la loi de Gumbel, qui s'écrit :

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

a un comportement asymptotiquement exponentiel lorsque x croît. En effet, on peut alors écrire :

$$F(x) = 1 - e^{-\frac{(x - x_0)}{a}} + \frac{1}{2} e^{-\frac{(x - x_0)}{a}} \left( -\frac{(x - x_0)}{a} \right)^2 \dots$$

Si x tend vers l'infini, F(x) tend vers 1 - e<sup>- $\frac{(x - x_0)}{a}$</sup>  et en posant T la période de retour : T =  $\frac{a}{1 - F(x)}$

$$x \approx x_0 + a \ln T$$

a est appelé le "gradex" des pluies pour la durée envisagée.

Le gradex des pluies annuelles est donc identique à celui des pluies mensuelles ou décadaires, les ajustements de Gumbel étant décalés respectivement de log 12 et log 36.

Deuxième constatation :

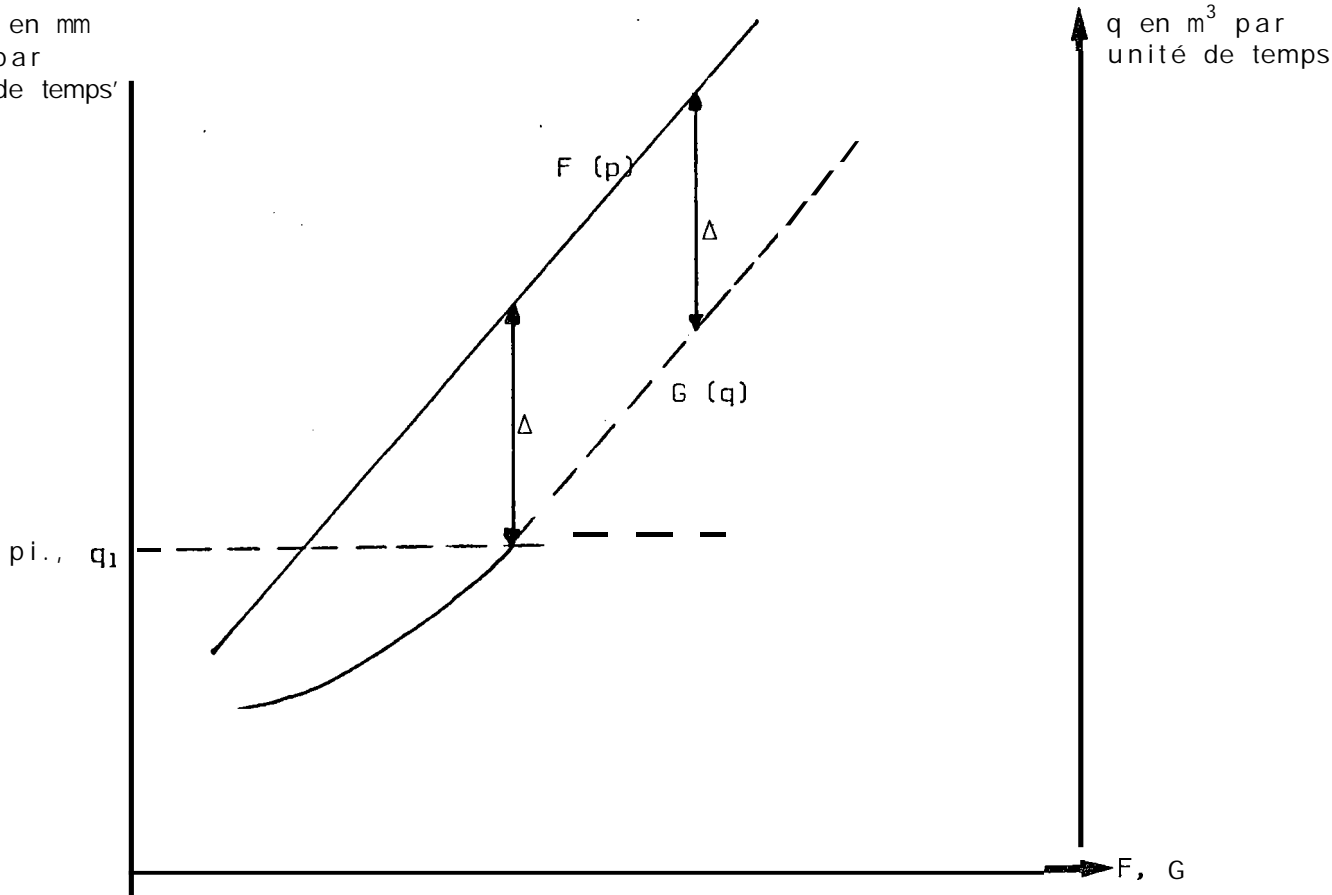
Le gradex des pluies moyennes **sur** un bassin versant est sensiblement **égal à la** moyenne des gradex des pluies ponctuelles.

Hypothèse **sur** le passage des pluies au débit : la quantité d'eau  $p$  tombée durant un intervalle de temps  $h$  donnera lieu à un volume ruisselé  $q$  durant un intervalle de temps de l'ordre de  $h + t_c$  ;  $t_c$  étant le temps de concentration du bassin. A partir d'une certaine quantité d'eau  $p_1$ , tombée durant le temps  $h$ , on peut admettre que le déficit d'écoulement demeure constant [pouvoir évaporant pleinement satisfait, intensité de la pluie supérieure à la capacité d'infiltration du sol, dépression pleines d'eau, ...].

A tout surcroît de pluie  $dp$  correspondra **alors** un surcroît de débit  $dq$ .

$$P > P_1 \implies dp = dq$$

$p$  et  $q$  en mm  
d'eau par  
unité de temps'



Cette méthode présente deux principales difficultés de mise en oeuvre :

- la détermination de  $h$  et  $t_c$  ;
- la détermination du gradex des pluies de durée  $h$ .

Dans la pratique, on touche la première difficulté en confondant  $h$  et  $h + t_c$  et en n'utilisant que le temps de concentration du bassin (ou parfois le temps de montée) pour l'évaluation du gradex, et pour celle du débit moyen de crue. Il faut noter que ceci n'a que peu d'influence sur le résultat. En effet, pour obtenir une évaluation du débit de pointe de crue, on multiplie généralement le débit moyen sur  $t_c$  par un coefficient de pointe moyen  $\bar{a}$ , estimé d'après les rapports des débits de pointe aux débits moyens sur  $t_c$  pour toutes les crues observées. Or, si on fait varier légèrement  $t_c$ , le coefficient de pointe  $\bar{a}$  varie en sens inverse et les erreurs commises se compensent approximativement.

Quant à la deuxième difficulté, elle n'apparaît pas si  $t_c$  est de l'ordre de 24 h puisque l'on dispose à peu près partout de relevés pluviométriques quotidiens. ..

La méthode du gradex a été maintes fois utilisée pour des bassins de l'ordre de quelques milliers de  $\text{km}^2$ . Dans ces conditions, les temps de concentration étaient de l'ordre de 24 h et on pouvait utiliser les pluies journalières relevées à des pluviomètres pour évaluer le gradex.

Mais, si on désire appliquer cette méthode à des bassins plus petits, les temps de concentration  $t_c$  seront nettement inférieurs à 24 h. Il sera alors nécessaire soit de disposer d'enregistrements pluviographiques pour déterminer le gradex sur  $t_c$ , soit de connaître la "loi" de variation des gradex en fonction de la durée.

Le but de cette étude est d'essayer de montrer si, d'après les données pluviographiques disponibles, il existe une telle "loi" et si oui, d'en préciser la forme et ses paramètres.



## II - Données disponibles

.....

L'Agence Financière de Bassin Rhin-Meuse gère 9 stations pluviographiques, qui viennent en complément du réseau de mesure de la Météorologie Nationale.

Les enregistrements obtenus sur ces stations ont fait l'objet d'un premier dépouillement à l'échelle du jour et de 1'heure. (parfois du quart d'heure), ce qui rend particulièrement aisé l'accès à ces données.

N°	.	date de mise en service	échelle du temps de dépouillement	observation
1	Prix-les-Mézières	avril 1969	1/4 heure	-
2	Vela ine-en-Haye	mai 1970	1 heure	cumuls importants en septembre-octobre 1977 et janvier 1978
3	St Nicolas-Varangéville	juin 1970	1 heure	-
4	Domèvre sur Vezouze	mai 1969	1 heure	plusieurs valeurs douteuses
5	St Boingt	mars 1971	1 heure	plusieurs valeurs douteuses. Décembre 1976 rejeté
6	Clefcy	mars 1969	1 heure	-
7	St Maurice sur Moselle	février 1969	1 heure	avril 1975 rejeté
a	Corn imont	mars 1970	1 heure	plusieurs valeurs douteuses. juin 1976 rejeté
9	Xonrupt-Longemer	octobre 1969	1 heure	-

Pour la station de Prix-les-Mézières, où les données sont à l'échelle du quart d'heure, nous avons évalué mois par mois les pluies maximales sur 1/4 d'heure, 1/2 heure, 1 heure, 3 heures, 6 heures, 12 heures et 24 heures. Les origines de l'intervalle sur lequel on estimait la pluie varient de façon discrète de quart d'heure en quart d'heure.

Pour **les** huit autres stations, dépouillées à l'échelle horaire, nous n'avons retenu que **les** durées de 1 heure, 3 heures, 6 heures, 12 heures et 24 heures.

Le fait d'évaluer la pluie maximale sur une certaine durée  $t$  à partir de la somme de  $n$  pluies consécutives sur des intervalles de temps fixes de durée  $t/n$ , introduit certainement un biais dans l'échantillon. Cependant, il est vraisemblable que lorsque  $n$  dépasse 3, ce biais devient négligeable devant toutes les autres sources d'incertitude. Nous pouvons donc considérer comme fiable de ce point de vue tous les résultats concernant les pluies de durée supérieure ou égale à 3 heures.

On trouvera en annexe 1 **page 29**, un exemple de relevé pluviographique mensuel et son mode de dépouillement.

Les stations pluviométriques ne donnent en général que la hauteur de pluies en 24 heures. Pour permettre de rattacher ces données pluviométriques journalières aux résultats de l'étude pluviographique, nous avons également relevé les hauteurs journalières maximales mensuelles relevées entre 8 h et 0 h.

L'ensemble de ces données est récapitulé dans l'annexe 2 page 51.

Certains mois, du fait d'un mauvais fonctionnement de l'appareil ou d'autres causes diverses, les relevés présentent des lacunes plus ou moins importantes. Dans la mesure du possible, nous avons retenu une pluie maximale mensuelle par défaut. Ces valeurs sont qualifiées de "douteuses" et accompagnées d'un code particulier qui permet un traitement informatique sélectif.

Dans le cas de lacunes très importantes, le mois a été purement et simplement rejeté.

Enfin, l'étude des enregistrements du pluviographe de Nancy-Tornblaine avait été réalisé précédemment (\*). Nous nous sommes servis de ces résultats comme série longue de référence (1952-19763).

---

(\*) M. DUCAÏTAING "Comment calculer les gradex des pluies maximales mensuelles sur un intervalle de temps quelconque dans la région de Nancy".  
Rapport de D.E.A., E.N.S.G. Nancy, 1977.

### III - Etude des pluies à l'échelle mensuelle

.....

#### 111.1 : Traitement effectué

Les échantillons de pluie pour chaque mois ont une taille inférieure ou égale à neuf ; il n'était donc pas question de choisir d'après ces données, la loi la plus adéquate.

Nous avons donc décidé, a priori, d'ajuster ces données à des lois de Gumbel, qui, d'après les expériences antérieures, représentent bien la distribution statistique des pluies maximales quelle qu'en soit la durée.

Ce travail a été effectué pour chaque mois, chaque durée, et soit en prenant en compte les valeurs douteuses, soit en les rejetant. Ces résultats font l'objet de l'annexe 3 page 42.

Compte tenu de la faible taille des échantillons, il ne faut pas attribuer un très grand crédit aux valeurs numériques obtenues. Par contre, nous pouvons dégager certaines remarques qualitatives.

#### 111.2 : Exnloitation des données

##### a) Prise en compte des valeurs "douteuses"

La prise en compte des valeurs "douteuses" ne modifie généralement la moyenne que de l'ordre de 10 % (des exceptions parfois comme la station de Velaine-en-Haye où on passe de 18.1 mm à 21.0 mm pour les pluies de 6 h en juillet). Bien évidemment, l'écart-type est beaucoup plus sensible.

Les valeurs "douteuses" sont des valeurs par défaut. En les introduisant dans les calculs, on doit donc sous-estimer la moyenne, et vraisemblablement la variance. Or, on constate que moyenne et variance sont généralement plus fortes avec les échantillons prenant en compte ces valeurs douteuses.

Dans un souci de sécurité, nous retiendrons donc par la suite les échantillons complets (valeurs sûres plus valeurs douteuses].

6) Catnpatrainan à une période longue de référence

Ces neuf années d'observations sont-elles représentatives ?  
Les données de Nancy-Tomblaine permettent d'apporter une réponse.

En comparant, page ci-contre, les résultats sur les périodes  
1952-1976 et 1969-1976, on constate que :

- les pluies d'été (mai à septembre) ont été généralement plus fortes sur la dernière décennie ;
- au contraire, les mois d'hiver (et surtout janvier et octobre), ont été moins arrosés. Février et novembre font exception.

Il en ressort que les valeurs relatives des pluies d'été peuvent être comparées alors qu'en hiver, la dernière décennie semble peu représentative.

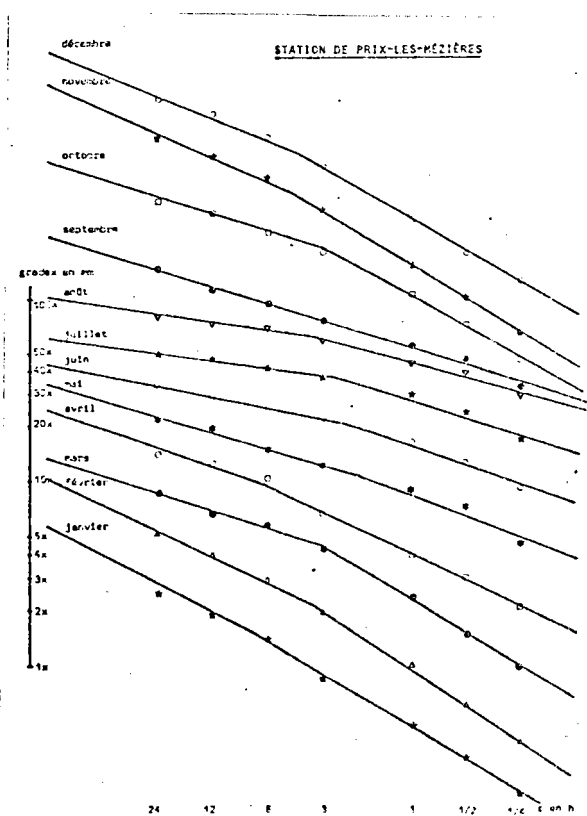
Dans l'annexe 4 page53, on constate bien que les mois de novembre et février font exception aux tendances générales saisonnières, quelle que soit la durée ou la station.

c) Comparaison pluie en 24 h et pluie journalière (8 h à 8 h)

Les pluies maximales mensuelles moyennes sur 24 h sont supérieures de 10 % à 20 % à celles sur la journée de 8 h à 8 h. Ce résultat confirme ceux cités dans de nombreuses autres études.

d) Courbe pluie-durée pour les moyennes des pluies maximales mensuelles

La station de **Prix-les-Mézières** permet le traitement le plus complet. Sur la figure ci-contre, le log des pluies est porté en fonction du log de la durée. Ainsi, dans le cas où la loi de Montana serait vérifiée, les points devraient être alignés.

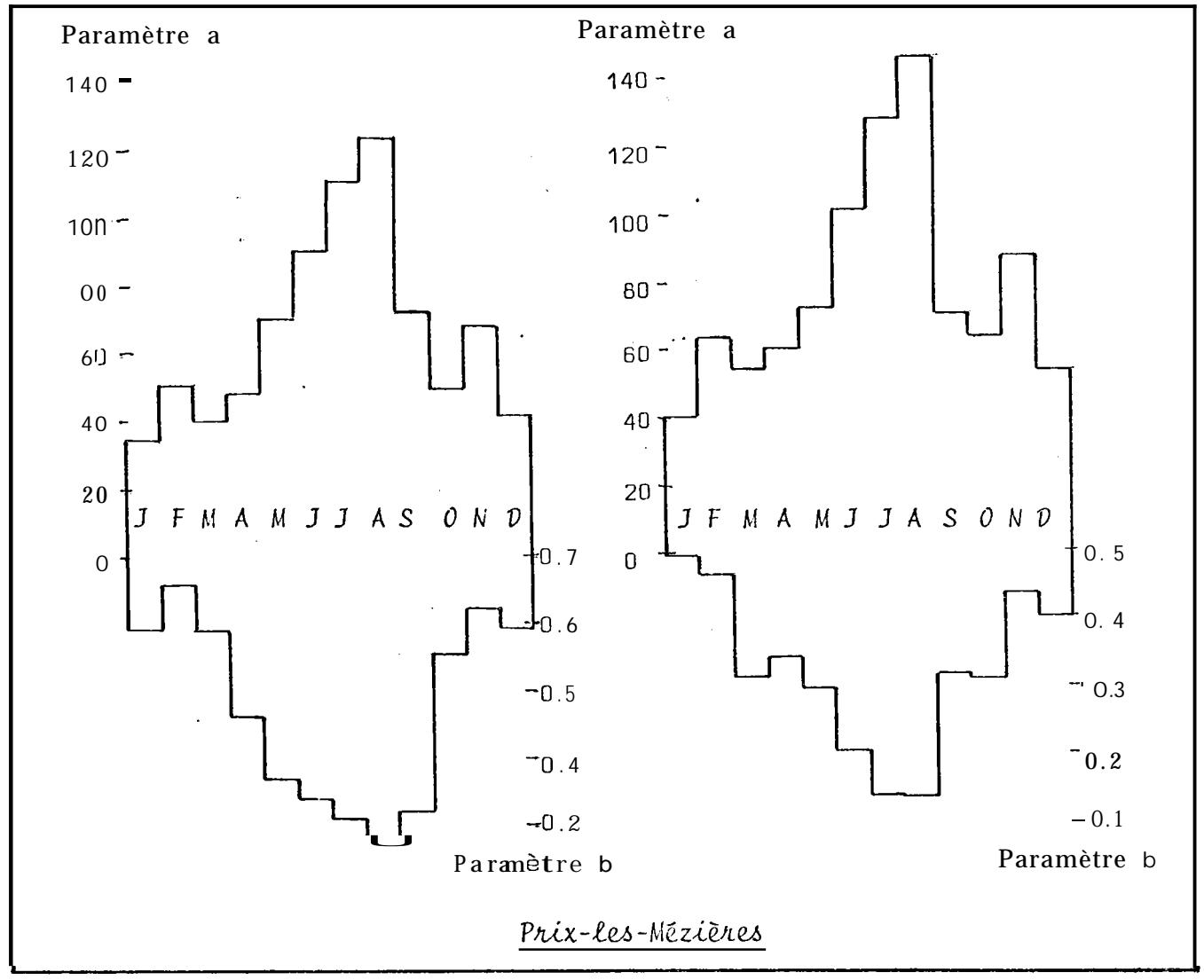


On constate sur ce graphique, un premier alignement pour les quatre durées allant de 3 h à 24 h. Pour les durées inférieures ou égales à 3 h, l'alignement est moins satisfaisant surtout pour les mois d'été (mai à septembre). Cependant, il faut rappeler que la pluie en 1/4 d'heure est certainement sous-estimée puisque les origines du quart d'heure sont imposées.

Chaque "droite" permet de déterminer les paramètres a et b de la loi de Montana :

$$P = a t^b$$

Les valeurs de a et b sont les suivantes :



De 15 minutes à 3 heures

De 3 heures à 24 heures

L'existence pour un mois donné de deux lois de Montana peut avoir plusieurs significations :

- pour des durées inférieures à 3 h, on observe la variation de l'intensité dans le corps de l'averse, alors qu'au-delà de 3 h, l'intensité décroît rapidement ;

- en été, pour des durées inférieures à 3 h, on n'a qu'une seule averse, alors qu'au-delà de 3 h, deux averses peuvent être prises en compte.

L'évolution saisonnière des paramètres a et b montre que les averses d'été sont fortes pour les faibles durées (valeur forte de a) et qu'elles sont relativement brèves (faible valeur de b). Les averses d'hiver ont un comportement inverse.

## IV - Essais de découpage saisonnier

.....

L'idée est de regrouper des mois pour lesquels on peut admettre que les pluies maximales sont tirées d'une même loi de probabilité. Pour chaque mois, on estimera certains paramètres statistiques à partir de 8 ou 9 valeurs disponibles, puis on vérifiera que d'un mois à l'autre, ces paramètres varient significativement ou non.

Puisque l'on cherche un découpage en vue de la détermination des gradex, il serait souhaitable de comparer les variances. Cependant, la variance est un paramètre beaucoup plus sensible aux erreurs d'échantillonnage que la moyenne. Compte tenu de la faible taille des échantillons, il ne paraît pas possible de comparer significativement les variances. Aussi nous nous en sommes tenus à la comparaison des moyennes.

Pour ce faire, deux voies étaient possibles, chacune présentant des inconvénients.

### IV.1 : CornDaraison directe des moyennes

Pour chaque station et chaque durée, nous avons porté la moyenne des pluies maximales sur une durée en fonction du mois ; les cinquante-six graphiques ainsi obtenus font l'objet de l'annexe 4.

Ces graphiques ont l'avantage d'être clairs mais par contre, leur interprétation n'est que subjective.

Il s'en dégage les remarques suivantes :

- pour des durées inférieures ou égales à 3 h et pour toutes les stations, les pluies d'été sont plus fortes que les pluies d'hiver. L'année semble pouvoir se découper de la façon suivante : un été d'avril-mai à septembre-octobre et un hiver d'octobre-novembre à mars-avril. Cette constatation peut s'expliquer de la façon suivants : sur des durées inférieures ou égales à 3 h, l'intensité moyenne des pluies d'orage (on été) est toujours supérieure à celle des pluies de front (en hiver).

- p u r des durées supérieures à 3 h, on rencontre deux types régionaux de graphiques :

- pour les stations de "plaine" [Prix-les-Mézières, Velaine-en-Haye, St Nicolas, Domèvre, St Boingt et à un moindre degré Clefcy), on observe des pluies plus fortes en été. Les mois de février et surtout novembre sont également forts, mais ceci est dû, au moins en partie, à la période d'observation (cf. I.III.2.b).

- pour les stations de "montagne" des Hautes-Vosges (St Maurice, Cornimont, Xonrupt), les pluies d'été sont égales ou même inférieures à celles d'hiver.

Ceci peut s'expliquer de la façon suivante : en plaine, les pluies d'orage d'été demeurent prépondérantes car les pluies de front sont modestes du fait de l'absence de reliefs conséquents. Au contraire, en "montagne", les pluies de front sont très importantes [ce qui se voit nettement au niveau des pluviométries annuelles] et pour des durées supérieures à trois heures elles donnent des intensités moyennes supérieures à celles des orages d'été.

En conclusion, on retiendra qu'un découpage en deux saisons au moins s'impose, quelle que soit la durée de la pluie, et quelle que soit la région. Par ailleurs, le mois de novembre est assez particulier pour des pluies de durée supérieure à trois heures.

#### **IV.2 : Utilisation du test de Student-Fisher**

Il paraît plus satisfaisant pour l'esprit, d'utiliser des tests statistiques plutôt que la méthode empirique précédente.

Dans la pratique, on se heurte à des difficultés non négligeables.

Les tests sont dans l'ensemble peu puissants et les risques de deuxième espèce sont importants.

Le test de Student-Fisher (comparaison des moyennes de deux échantillons de faible taille), semble le mieux adapté à notre problème. Mais, il suppose que les populations sont normalement distribuées, ce qui n'est pas le cas.



a) Principe du test

Soit une population mère  $X$  distribuée normalement, de moyenne  $\mu$  et d'écart-type  $\sigma$ .

Deux échantillons de taille  $n_1$  et  $n_2$  sont tirés de cette population et on obtient les estimations suivantes de  $\mu$  et  $\sigma$

d'après l'échantillon n° 1 :

$$\hat{\mu} = \bar{x}_1 = \frac{\sum_{i=1}^{n_1} x_{i1}}{n_1}$$

$$\hat{\sigma}^2 = S_1^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n_1} (x_{i1} - \bar{x}_1)^2}{n_1 - 1}$$

d'après l'échantillon n° 2 :

$$\hat{\mu} = \bar{x}_2 = \frac{\sum_{i=1}^{n_2} x_{i2}}{n_2}$$

$$\hat{\sigma}^2 = S_2^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n_2} (x_{i2} - \bar{x}_2)^2}{n_2 - 1}$$

A partir de ces deux échantillons, on peut obtenir une meilleure estimation de  $\sigma$  par l'expression :

$$\hat{\sigma}^2 = \hat{\sigma}^2 = \frac{(n_1 - 1) S_1^2 + (n_2 - 1) S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

La variable  $t$  suit une loi de Student-Fisher à  $\nu$  degré de liberté :

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\hat{\sigma} \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \approx \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{S \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} ; \nu = n_1 + n_2 - 2$$

Les tables donnent pour chaque valeur de  $V$  la valeur de  $t$  qui a la probabilité  $P$  d'être dépassée en valeur absolue.

Par conséquent, si on rencontre une valeur de  $t$  supérieure à celle de probabilité 5 %, on peut affirmer que l'hypothèse d'une même population-mère est fautive, et le risque de se tromper dans cette affirmation (risque de première espèce) est très faible.

Dans le cas contraire, on ne peut trancher car le risque de deuxième espèce [considérer une seule population-mère, alors qu'il y en a deux] est trop élevé.

Enfin, le test est peu puissant, car les différences qu'il qualifie de significatives au seuil de 5 %, sont généralement évidentes.

#### 6) Normalisation des variables

Nous avons postulé au départ que les pluies maximales mensuelles étaient distribuées selon des lois de Gumbel ; or, le test de Student ne s'applique qu'à des populations normales.

Malheureusement, il n'existe pas d'anamorphose simple pour passer d'une population "Gumbelienne" à une population normale. Cette difficulté a été tournée de la façon suivante :

On constate que l'ajustement de données hydrologiques à des lois de Gumbel et à des lois de Galton, donne des estimations comparables des valeurs de fréquence comprise entre 0.1 et 0.9.

Par conséquent, si les pluies sont distribuées selon une loi de Gumbel, on doit obtenir une distribution quasi-normale en remplaçant les hauteurs de pluie par leur logarithme. C'est ce procédé que nous avons adopté et qui donne les résultats suivants.

#### c) Critique des résultats

Pour chaque durée et pour chaque mois, nous avons testé si les différences entre la moyenne des logarithmes des pluies maximales du mois considéré et celles de tous les autres mois, étaient significatives. Dans l'annexe 6, page 66, nous avons porté les résultats en fonction de deux seuils :

- un seuil à 5 % figuré par un X. Ceci signifie qu'il y a moins de 5 % de chance pour que les valeurs des deux mois considérés soient tirées d'une même population ; on ne peut donc pas regrouper ces deux mois ;

- un seuil à 20 % figuré par un +. Sa signification est analogue à la précédente mais avec un risque de 20 % Il a paru utile d'adjoindre ce seuil moins précis, car pour certaines stations où l'ensemble de l'année risquerait de paraître homogène, ■■ permet une séparation, certes plus risquée.

Dans ce système de graphique, une saison homogène continue doit apparaître comme un carré blanc centré sur la première diagonale.

L'exploitation des résultats du test de Student sur l'ensemble des stations et l'ensemble des pluies envisagées permet les remarques suivantes :

- les données des mois de mai-juin-juillet-août et septembre sont toujours compatibles entre elles. Ces cinq mois constituent une saison d'été homogène ;

- les mois de janvier-février-mars et avril et à moindre degré décembre [exceptions pour Velaine, St Nicolas et St Boingt où décembre se rapprocherait plutôt de l'été], constituent une seconde saison homogène et continue ;

- le comportement des pluies d'octobre, novembre et parfois décembre, est différent selon les stations et les durées :

STATIONS	comportement d'un mois par rapport à l'été et l'hiver		
	Octobre	Novembre	Décembre
Cornimont	été	à part	hiver
Xonrupt-Longemer	été	à part	hiver
St Maurice	été pour $t > 6$ h hiver pour $t \leq 6$ h	à part	hiver
Clefcy	hiver	à part	hiver
Domèvre	hiver	été	hiver
St Boingt	hiver	été	été
Velaine-en-Haye	hiver	été	été
St Nicolas	hiver	étés	été
Prix-les-Mézières	été	à part	hiver

Au vu de ces seuls résultats, le découpage saisonnier se ferait ainsi :

- un été de mai à septembre (5 mois)
- un hiver de décembre à avril (5 mois)
- deux mois particuliers octobre et novembre : octobre est soit un mois d'hiver, soit un mois d'été selon les stations. Novembre est soit à part, soit un mois d'été

#### IV.3 : Utilisation des courbes pluie-durée

Nous avons vu au paragraphe III.2.d que pour des durées supérieures à 3 heures, les moyennes des pluies maximales mensuelles suivraient une loi de Montana :

$$P(t) = a t^b$$

Pour toutes les stations et tous **les** mois, nous avons ajusté les paramètres a et b d'après les pluies de 3 h, 6 h, 12 h et 24 h. Pour les stations dépouillées au pas de temps horaire, la pluie en 1 heure est sous-estimée puisque **les** origines de l'intervalles de temps sont fixes. Sur la page ci-contre, nous avons figuré l'évolution mensuelle des paramètres a et b.

a est égal à la pluie moyenne maximale mensuelle en une heure. Un découpage saisonnier **sur** a n'est pas utile puisqu'un découpage sur ce même principe a été fait précédemment.

Le paramètre b caractérise lui, la variation de la pluie en fonction du temps ; **il** permet de distinguer la nature des averses (pluies de front, pluies d'orage).

On constate que les plus faibles valeurs de b se rencontrent dans la quasi-totalité des cas, de mai à octobre,

du point de vue de la nature des pluies, **il** n'y a plus d'ambiguïté pour les mois d'octobre, novembre et décembre. L'année peut se découper en deux saisons, un hiver de novembre à avril, un été de mai à octobre.

#### IV.4 : Synthèse

De l'ensemble de ces résultats, on pourra retenir que les pluies d'été de mai à septembre sont de ~~même~~ nature et d'intensité comparable. Il en est de ~~même~~ pour les pluies d'hiver de décembre à avril. Les pluies d'octobre sont aussi faible que celles d'hiver, mais elles semblent être de ~~même~~ nature [orages prédominants) que les pluies d'été (paramètre b faible).

Les pluies de novembre sont fortes ~~comme~~ les pluies d'été, mais elles sont certainement des pluies de front [paramètre b fort].

Du seul point de vue des pluies, **il** faudrait donc découper l'année en deux saisons de 5 mois, et 2 mois isolés. Cependant, cette étude étant menée dans le but d'utiliser les données pluviométriques pour l'évaluation des crues, **il** convient de tenir également compte des découpages saisonniers sur les débits. Or manifestement, le mois de novembre est un mois d'hiver avec de fortes eaux, alors qu'en octobre, on peut encore observer la fin **de** la période de tarissement.

Enfin, si on doit traiter deux mois d'une façon isolée, on ne répond pas au but recherché par le découpage saisonnier, c'est-à-dire augmenter la taille des échantillons.

Pour toutes ces raisons, nous avons retenu un découpage en deux saisons égales et continues :

- un "été" de mai à octobre
- un "hiver" de novembre à avril

## V - Etude statistique des pluies maximales mensuelles par saison

.....

### V.1 : Ajustements à des lois de Gumbel

Pour chaque station et chaque durée, l'échantillon saisonnier comporte une cinquantaine de points. Ceci permet de vérifier la bonne adéquation de la loi de Gumbel.

Dans l'ensemble, les ajustements sont bons. L'alignement des points dans **les** graphiques de Gumbel donnés en annexe 7 page 71, est très satisfaisant.

On notera cependant pour les stations de Meurthe-et-Moselle, une légère tendance "hyper-gumbelienne" (concavité tournée vers le haut<sup>1</sup> pour les pluies d'été, et parfois d'hiver, de courte durée ( $t \leq 3$  h).

### V.2 : Estimation des gradex saisonniers

L'ensemble des gradex calculés pour chaque station et chaque durée est récapitulé dans le tableau ci-contre.

Pour des pluies de durée inférieure à 6 h, le gradex des pluies d'été est supérieur au gradex des pluies d'hiver. Pour des durées supérieures à 6 h, le gradex des pluies d'été est supérieur ou égal à celui des pluies d'hiver dans la "plaine", alors que dans la "montagne" vosgienne, les valeurs relatives du gradex sont inversées.

Afin de valoriser les relevés quotidiens de postes pluviométriques, nous avons établi les coefficients de passage du gradex des pluies sur un jour au gradex des pluies de 24 h, 12 h ... (voir tableau ci-après, p. 18 bis).

Une constatation s'impose : on sous-estime le gradex des pluies de 24 h en l'estimant à partir des pluies journalières. Cette sous-estimation est en moyenne de 8 % en hiver et de 11 % en été.

### V.3 : Evolution du gradex avec la durée

.Pour chaque station et chaque saison, on dispose au moins de 5 gradex pour S'durées.

Cependant, le gradex des pluies de 1 h est lui-aussi sous-estimé. En effet, si chaque valeur de la pluie est affectée d'une erreur systématique multiplicative, l'écart-type. est affecté de la même erreur ainsi que le gradex qui en dérive.

Apparemment, le gradex des pluies varie comme une fonction puissance de la durée, comme le montre les figures de l'annexe 8.

Les ajustements obtenus en se basant sur des durées de 3 h, 6 h, 12 h et 24 h, sont les suivants :

STATIONS	gradex en 1/10 mm - t en heure	
	hiver	été
Prix-les-Mézières	19.1 t <sup>0.46</sup>	48.8 t <sup>0.11</sup>
Velaine-en-Haye	11.2 t <sup>0.52</sup>	57.7 t <sup>0.15</sup>
St Nicolas-Varangéville	16.5 t <sup>0.32</sup>	57.6 t <sup>0.12</sup>
Domèvre-sur-Vezouze	18.6 t <sup>0.43</sup>	47.5 t <sup>0.25</sup>
St Boingt	24.7 t <sup>0.39</sup>	70.5 t <sup>0.10</sup>
Clefcy	19.7 t <sup>0.51</sup>	59.2 t <sup>0.12</sup>
St Maurice-sur-Noselle	19.2 t <sup>0.74</sup>	34.2 t <sup>0.40</sup>
Cornimont	18.6 t <sup>0.70</sup>	39.4 t <sup>0.30</sup>
Xonrupt-Longemer	23.4 t <sup>0.58</sup>	40.8 t <sup>0.32</sup>

Cette présentation a l'inconvénient de ne pouvoir être extrapolée à des données de postes pluviométriques. En faisant apparaître le gradex des pluies journalières  $G_{24 HF}$  on obtient les résultats suivants :

STATIONS	Gradex des pluies en heures en fonction du gradex des pluies journalières			
	hiver		été	
Prix-les-Mézières	0.28	G <sub>24</sub> HF t <sup>0.46</sup>	0.80	G <sub>24</sub> HF t <sup>0.11</sup>
Vezaine-en-Haye	0.20	G <sub>24</sub> HF t <sup>0.52</sup>	0.64	G <sub>24</sub> HF t <sup>0.15</sup>
St Nicolas-Varangéville	0.31	G <sub>24</sub> HF t <sup>0.38</sup>	0.71	G <sub>24</sub> HF t <sup>0.12</sup>
Domèvre-sur-Vezouze	0.28	G <sub>24</sub> HF t <sup>0.43</sup>	0.50	G <sub>24</sub> HF t <sup>0.25</sup>
St Boingt	0.32	G <sub>24</sub> HF t <sup>0.39</sup>	0.81	G <sub>24</sub> HF t <sup>0.10</sup>
Ciefcy	0.24	G <sub>24</sub> HF t <sup>0.51</sup>	0.71	G <sub>24</sub> HF t <sup>0.12</sup>
St Maurice-sur-Moselle	0.11	G <sub>24</sub> HF t <sup>0.74</sup>	0.32	G <sub>24</sub> HF t <sup>0.40</sup>
Cornimont	0.12	G <sub>24</sub> HF t <sup>0.70</sup>	0.44	G <sub>24</sub> HF t <sup>0.30</sup>
Xonrupt-Longemer	0.18	G <sub>24</sub> HF t <sup>0.48</sup>	0.43	G <sub>24</sub> HF t <sup>0.32</sup>

Ce tableau montre quz les 3 stations deshautes Vosges se distinguent très nettement des stations de "plaine".

Il n'existe aucune relation entre les 4 paramètres calculés pour chaque station. Dans l'état actuel, ■■ conviendrait de faire une cartographie de ces quatre paramètres ; or le nombre des stations étant faible, et leur répartition hétérogène, la cartographie est quasi-impossible.



### V.4 : Formules régionales

Dans l'état actuel de nos données, ■■ n'est pas possible de faire une cartographie, mais tout au long de l'étude, ■■ est apparu une distinction nette entre la pluviométrie "en plaine" et la pluviométrie dans les Hautes-Vosges.

#### a) Gmdex d a stations de plaine

Nous avons ajusté toutes les données des stations de plaine (6 stations avec t = 3 h, 6 h, 12 h et 24 h), en une seule eormule par saison :

- hiver : 
$$G(t)_{\text{hiver}} = 0.27 G_{24} HF_{\text{hiver}} t^{0.45} \quad (p = 0,967)$$

- été : 
$$G(t)_{\text{été}} = 0.69 G_{24} HF_{\text{été}} t^{0.14} \quad (p = 0.828)$$

Le gradex sur t heures a 70 % de chances d'être compris entre 1.08 G (t)<sub>été</sub> et 1/1.08 G (t)<sub>été</sub>, soit encore une estimation à environ 10 % près.

#### b) Gradex des stations des Hautes Vosges

Le même travail a été effectué sur les stations de Cornimont, Xorirupt-Longemer, et St Maurice-sur-Moselle.

Les formules obtenues sont toutes aussi satisfaisantes :

- hiver : 
$$G(t)_{\text{hiver}} = 0.13 G_{24} HF_{\text{hiver}} t^{0.67} \quad [p = 0.9841]$$

et 1/1.11G (t)<sub>hiver</sub>, soit une erreur relative de l'ordre de 10 %.'

- été : 
$$G(t)_{\text{été}} = 0.39 G_{24} HF_{\text{été}} t^{0.34} \quad [p = 0.968]$$

La véritable valeur du gradex a 70 % de chance d'être comprise entrs 1.08 G (t)<sub>été</sub> et 1/1.08 G (t)<sub>été</sub>, soit encore une erreur relative de l'ordre de 10 %.

## VI – Etude des pluies maximales mensuelles sur l'année

---

Bien qu'un découpage en deux saisons soit nécessaire, on peut parfois être tenter d'obtenir rapidement le gradex des pluies maximales annuelles. Nous proposons ici les résultats d'une étude à l'échelle annuelle en retenant 12 valeurs maximales mensuelles par an.

### VI.1 : Ajustements à des lois de Gumbel

Les ajustements ont été réalisés en retenant les 12 pluies maximales mensuelles de chaque année, soit environ une centaine de points par station et par durée.

Dans l'ensemble, la loi de Gumbel rend assez bien compte de la distribution statistique des pluies maximales mensuelles. Cependant, la tendance hyper-Gumbelienne signalée précédemment pour les pluies de faible durée, est plus marquée sur les stations **de** plaine. On ne rencontre des ajustements "adéquations parfaites" que pour des pluies de durée supérieure ou égale à 6 heures.

Ceci est vraisemblablement dû au fait que l'on mélange au moins deux populations saisonnières, d'autant plus différentes que les durées d'observation sont courtes.

Pour les Hautes Vosges, cette distinction n'existe pas.

L'ensemble des ajustements graphiques est présenté dans l'annexe 9 page 103.

### VI.2 : Estimation des gradex à l'échelle annuelle

Les résultats obtenus pour les 9 stations sont les suivants : gradex annuels (en 1/10 mml.

STATIONS	O U R E E							
	24 h	12 h	6 h	3 h	1 h	30 m	15 m	1 jour
Prix les Mézières	73,33	62,64	53,47	46,13	40,00	35,69	24,56	65,21
Velaine-en-Haye	80,32	73,69	65,99	57,73	35,72	-	-	79,53
St Nicolas	73,96	66,09	58,15	54,12	43,41	-	-	70,20
<b>Domèvre/Vezouze</b>	93,37	76,59	60,89	55,39	38,28	-	-	83,34
St Boingt	87,96	80,42	71,08	64,40	41,67	-	-	81,79
Clefcy	91,10	76,09	66,36	56,92	46,42	-	-	82,99
St Maurice	167,12	117,20	71,60	48,56	36,81	-	-	146,54
Cornimont	138,66	98,05	66,11	44,01	31,65	-	-	128,22
Xonrupt-Longemer	131,52	92,48	71,56	52,83	38,61	-	-	115,65

### VI.3 : Evolution du yadex annuel avec la durée

Comme pour l'étude à l'échelle saisonnière, nous devons ajuster les gradex des pluies de 3 h, 6 h, 12 h et 24 h à des lois de Montana.

Les résultats sont les suivants :

STATIONS	Loi de Montana I t en hl
<b>Prix-les-Mézières</b>	$G = 36.0 \ t^{0.22}$
Velaine-en-Haye	$G = 49.1 \ t^{0.16}$
St Nicolas-Varangéville	$G = 45.1 \ t^{0.15}$
Domèvre-sur-Vezouze	$G = 40.3 \ t^{0.26}$
St Boingt	$G = 54.4 \ t^{0.15}$
Clefcy	$G = 44.4 \ t^{0.22}$
St Maurice-sur-Moselle	$G = 24.9 \ t^{0.61}$
Cornimont	$G = 24.3 \ t^{0.55}$
Xonrupt-Longemer	$G = 32.7 \ t^{0.43}$

La validité de ces ajustements pourra être vérifiée graphiquement dans l'annexe 10.

#### VI.4 : Formules régionales

Comme pour les gradex saisonniers, deux types régionaux peuvent être retenus :

- les stations de "plaine"
- les stations de "montagne" [Cornimont, St Maurice, Xonrupt]

##### a) Stations de plaine

A partir des gradex des pluies journalières (origine fixée), on pourra estimer les pluies sur des durées inférieures [jusqu'à 3 heures] par la formule suivante :

$$G [t] = 0.58 G_{24 HF} t^{0.20} \quad (p = 0.9561)$$

L'emploi de cette formule n'entraîne, dans 70 % des cas, qu'à une erreur au plus égale à 5 %.

##### b) Stations des Hautes Vosges

De la même façon, on pourra Estimer le gradex des pluies dans les Hautes Vosges par la 'formule :

$$G (t) = 0.21 G_{24 HF} t^{0.53} \quad (p = 0.9771)$$

L'erreur étant alors inférieure à  $\pm 10$  % dans 70 % des cas.

## VI 1 - Conclusions

Les données pluviographiques disponibles correspondent à une période d'observation relativement courte (9 années). ■■ était donc nécessaire d'augmenter la taille des échantillons pour pouvoir faire un traitement statistique significatif.

Le regroupement en raison des données mensuelles, ne pouvait néanmoins se faire que **sur** neuf éléments par mois. Nous avons abouti à un découpage de l'année en deux saisons continues et de 6 mois chacune :

- un été de mai à octobre
- un hiver de novembre à avril

Ce découpage peut prêter le flanc à la critique **sur** le plan théorique, mais ■■ correspond à quelque chose de pratique et qui ne choque pas la connaissance subjective que l'on avait du phénomène.

Ayant admis ce découpage, les échantillons de taille [50 environ] permettent d'évaluer avec une bonne précision, le gradex des pluies sur différentes durées.

Les gradex et leur évolution en fonction de la durée, entraînent une distinction régionale :

- la "plaine" lorraine
- la "montagne" vosgienne (hauteur de pluies annuelles supérieure à 1400 mm\*).

Le gradex  $G(t)$  des pluies d'une durée comprise entre 3 et 24 h, pourra être estimé à  $\pm 10\%$  en moyenne à partir du gradex  $G_{24 HF}$  des pluies journalières sur la même saison [pluies relevées de 8 h à 8 h], par les formules suivantes :

---

\* Courbes isohyètes, 1931-1960, extrait de "Le Bassin Rhin-Meuse", A.F.B.R.M. Metz

		en "plaine"	en "montagne"
Par saison (6 pluies maximales mensuelles par saison)	Hiver	$G(t) = 0.27 G_{24} HF t^{0.45}$	$G(t) = 0.13 G_{24} HF t^{0.67}$
	Eté	$G(t) = 0.69 G_{24} HF t^{0.14}$	$G(t) = 0.39 G_{24} HF t^{0.34}$
Sur l'année (12 pluies maximales mensuelles par an)		$G(t) = 0.58 G_{24} HF t^{0.20}$	$G(t) = 0.21 G_{24} HF t^{0.53}$

La préférence dans l'utilisation de ces résultats devra aller au découpage saisonnier. A l'échelle annuelle, les approximations sont plus importantes et les formules obtenues ne peuvent certainement donner qu'un ordre de grandeur.

Par la suite, ■■ serait souhaitable de comparer ces résultats à quelques stations pluviographiques de plus longue durée d'observation : soit des stations de la météorologie Nationale, soit, ce qui serait préférable, les mêmes stations lorsqu'elles disposeront d'une série plus longue.

## BIBLIOGRAPHIE

-----

"L'application de la méthode du gradex à l'estimation des crues de faibles fréquences".

Ministère de l'Agriculture, C.T.G.R.E.F., Division Hydrologie,  
Juillet 1972.

"Climatologie. Méthodes et pratiques".

R. ARLERY, H. GRISOLLET, B. GUILMET [Gauthiers-Villars, 1973].

"Statistiques élémentaires appliquées aux Sciences de la Terre".

Cours de 1ère année, E.N.S.G., R. COPPENS.

"Comment calculer les gradex des pluies maximales mensuelles sur un intervalle de temps quelconque dans la région de Nancy".

Diplôme d'Etudes Approfondies de Génie Géologique et Minier (Option : Hydrogéologie). M. DUCASTAING (septembre 1977).

"Le Bassin Rhin-Meuse".

Agence Financière de Bassin Rhin-Meuse, Metz, 1968).

"Floods and their computation".

Acte du Colloque de Leningrad, A.I.H.S. (1967).

"Estimation des débits de l'Euron 0 Froville par la méthode du gradex".

E.O.F.-D.T.G., CP/AC, 25 janvier 1972.

A N N E X E S

	Pages
<u>Annex 1</u> - Exemple de relevé pluviographique et de dépouillement . . . . .	29
<u>Annexe II</u> - Données pluviométriques utilisées . . . . .	31
<u>Annexe III</u> - Gradex mensuel des pluies . . . . .	42
<u>Annexe IV</u> - Evolution saisonnière de la moyenne des pluies maximales mensuelles. . . . .	53
<u>Annexe V</u> - Exemple de calcul du test de student . . . . .	63
<u>Annexe VI</u> - Interprétation du test de Student . . . . .	65
<u>Annexe VII</u> - Ajustement à des lois de Gumbel, des pluies maximales mensuelles par saison . . . . .	71
<u>Annexe VII1</u> - Evolution du gradex avec la durée de la pluie par saison . . . . .	100
<u>Annexe IX</u> - Ajustement à des lois de Gumbel, des pluies maximales mensuelles sans découpage saisonnier . . . . .	103
<u>Annexe X</u> - Evolution du gradex avec la durée de la pluie sans découpage saisonnier . . . . .	118