Analyse comparative Agregee/PMP-PMF en estimation des crues rares et extrêmes (1)

Isabelle DESUROSNE (2), Victor OANCÉA (2), Guy OBERLIN (2), Alexandre TOMA (3), Pierre HUBERT (3)

RÉSUMÉ

L'estimation des crues rares à extrêmes représente un enjeu considérable, tant sur le plan humain que sur le plan économique. Le but de cet article est de comparer deux approches, aujourd'hui en usage, d'estimation de ces crues : la première est la méthode Agregee (Adaptation du gradex à toutes crues rares et extrêmes par généralisation de ses estimateurs élémentaires) très récemment développée ; la seconde consiste à estimer la pluie maximale probable (PMP), principalement par une méthode statistique, complémentairement via une analyse multifractale des chroniques de pluie, puis à transformer cette hauteur précipitée en débit maximal probable (PMF) par un modèle pluie/débit, le modèle CIA (runoff Cœfficient – Intensity – Area). Cette première analyse comparative suggère de construire un modèle de synthèse qui arrête le domaine de validité d'Agregee à une période de retour Te, le relaye ensuite avec PMP/PMF et intègre dans ce dernier les limites en pluie (PMP « réelle ») auxquelles conduit mathématiquement le modèle multifractal à cascades. Elle s'inscrit dans une phase d'exploration du domaine des crues de période de retour importante, les différentes méthodes employées étant encore largement sujettes à discussion et parfois à polémique.

MOTS CLÉS : Crues rares à extrêmes — Modélisation.

ABSTRACT

COMPARISON BETWEEN PMP/PMF AND AGREGEE ASSESSMENT OF RARE AND EXTREME FLOODS

Rare and extreme flood estimates are essential for human and economic reasons. This paper tries to compare two methodologies of flood assessment : the first is Agregee, a generalization of the Gradex model, recently developed. The second is a PMP/PMF approach, estimating the PMP mainly through a statistical method, and completing with a multifractal model. The PMP is converted into PMF through a very simple CIA model (runoff Coefficient – Intensity – Area). These analyses are applied to 3 European basins. The results lead to a synthetic model that limits the validity of Agregee to a quite important mean return period Te, and tend then progressively to an asymptotic value equal to PMF value, with or without a remaining initial loss, in any case of second importance.

KEY WORDS : Rare and extreme floods — Modelling.

1. INTRODUCTION

Le présent article aborde l'analyse des crues rares et extrêmes, en utilisant deux des méthodes en usage les plus connues : la méthode *classique PMP/PMF* (pluie maximale probable/débit maximal probable) et la nouvelle méthode *Agregee* (Adaptation du gradex à toutes crues rares et extrêmes par généralisation de ses estimateurs élémen-

(1) Ce papier a fait l'objet d'un poster présenté à la conférence AISH du 12-23/07/1993 à Yokohama (Japon)

(2) Cemagref Lyon, division Hydrologie/Hydraulique, 3 bis quai Chauveau, 69336 Lyon cedex 09, France.

(3) École des Mines de Paris, Cent. Inf. en Géologie, 35, rue St-Honoré, 77305 Fontainebleau, France.

taires). Toutes deux sont appliquées à des données (françaises, roumaines et suisses) en provenance de zones exposées à de fortes précipitations. Pour déterminer les débits extrêmes, les deux méthodes exploitent les connaissances en pluies rares, mais d'une façon très différente : la méthode *PMP*, fondamentalement déterministe, maximise les processus de masses d'air qui précipitent (contenu en vapeur d'eau, vitesse du vent, etc.), à partir d'extrapolation des averses observées. La méthode *Agregee* est basée sur l'analyse des lois statistiques de pluie, *F(P)*, en la libérant de certaines contraintes pour donner la priorité aux lois reproduisant le mieux les observations, mais en imposant la contrainte suivante : F(P) doit au moins posséder une direction asymptotique à gradex (éq. 1) ou, à défaut, il doit être possible d'estimer un pseudo-gradex local pour une période moyenne de retour extrême Te.

Concernant l'évaluation des débits écoulés, la méthode *PMP/PMF* nécessite l'introduction d'un modèle pluie-écoulement, choisi généralement simple car tenant compte de la sévérité des phénomènes envisagés (4). Dans le cadre de cette analyse, c'est le modèle CIA qui a été retenu. En revanche, la méthode *Agregee* contient son propre modèle d'estimation des débits qui associe un modèle QdF (Débits-durées-Fréquences) et fournit des estimations de crues particulièrement cohérentes tout le long d'une rivière.

La méthode *PMP/PMF* utilisant des processus de maximisation ne peut pas encore être quantifiée en probabilité, et fournit des valeurs extrêmes sans probabilité de dépassement connue. On se propose, dans cette analyse, de donner une estimation de la période de retour liée à la PMF, à partir des résultats du modèle Agregee.

À titre de test partiel de la potentialité des méthodes fractales, une variante les utilisant a été introduite pour estimer la PMP, autorisant une comparaison à trois, mais pour un seul des bassins analysés.

2. MÉTHODOLOGIE

2.1. Le modèle Agregee

L'estimation des crues rares et extrêmes est liée à une bonne connaissance des pluies rares et extrêmes. L'exploitation de cette forte liaison a donné naissance à la méthode du *Gradex* (GUILLOT et DUBAND, 1967), puis au modèle *Agregee* récemment développé au Cemagref de Lyon (MARGOUM *et al.*, 1991 ; MARGOUM, 1992 ; OANCÉA *et al.*, 1992). Celui-ci consiste, pour l'essentiel, à permettre, pour un pas de temps donné, une extrapolation souple et réaliste de la loi statistique des débits à partir de celle des pluies (fig. 1). Élargissant le champ d'application du modèle du Gradex, il a été développé dans le but, d'une part, d'améliorer la connaissance des crues de fréquence rares (i.e. situées entre les observables et les extrêmes ; la méthode du Gradex, engendrant une cassure dans les distributions, surestime ces crues) et, d'autre part, de s'affranchir de contraintes statistiques liées au modèle du Gradex (loi de probabilité exponentielle pas toujours adaptée aux échantillonnages). À noter que dans cette modélisation, la localisation du quantile-seuil à partir duquel on extrapole la distribution des débits ne revêt qu'une importance relative grâce à la généralisation des variantes progressives.

Le modèle repose sur les deux hypothèses suivantes, la première étant de nature déterministe (strictement conforme à celle du Gradex) alors que la seconde est de nature statistique :

— en période de hautes eaux, quand on approche de la saturation du bassin versant, tout accroissement dP de précipitations, mesuré sur un pas de temps adéquat, produit un accroissement du débit dQ écoulé (directement) qui tend à devenir égal à dP ;

— la fonction de distribution des pluies a un comportement asymptotique exponentiel tel que :

Lim dP/(d.Log(T)) = Ae quand P tend vers l'infini.

Sous ces hypothèses, le modèle permet la généralisation du modèle du Gradex à des lois autres que la loi exponentielle pour les pluies, et en particulier aux lois sans gradex, ou n'admettant un gradex que de façon parabolique (exemple : loi de Pearson III)) ou asymptotique (exemple : somme de deux exponentielles). Les lois des débits sont alors extrapolées « esthétiquement », les options d'extrapolation simple, intégrée, brutale (quasi-Gradex) ou progressive, présentes dans le modèle, n'ayant qu'un intérêt de cadrage pour situer l'option opérationnelle et validée dite esthétique.

La formulation esthétique est considérée comme une généralisation approfondie du modèle antérieur dit « Gradex esthétique » de MICHEL (1982). Elle s'appuie sur les exigences et hypothèses de base de ce modèle initial, mais elle permet la généralisation à d'autres lois de pluies, et en particulier aux lois sans « gradex », ou n'admettant un

(4) L'application de la modélisation multifractale directement aux débits n'est à l'heure actuelle pas encore opérationnelle.

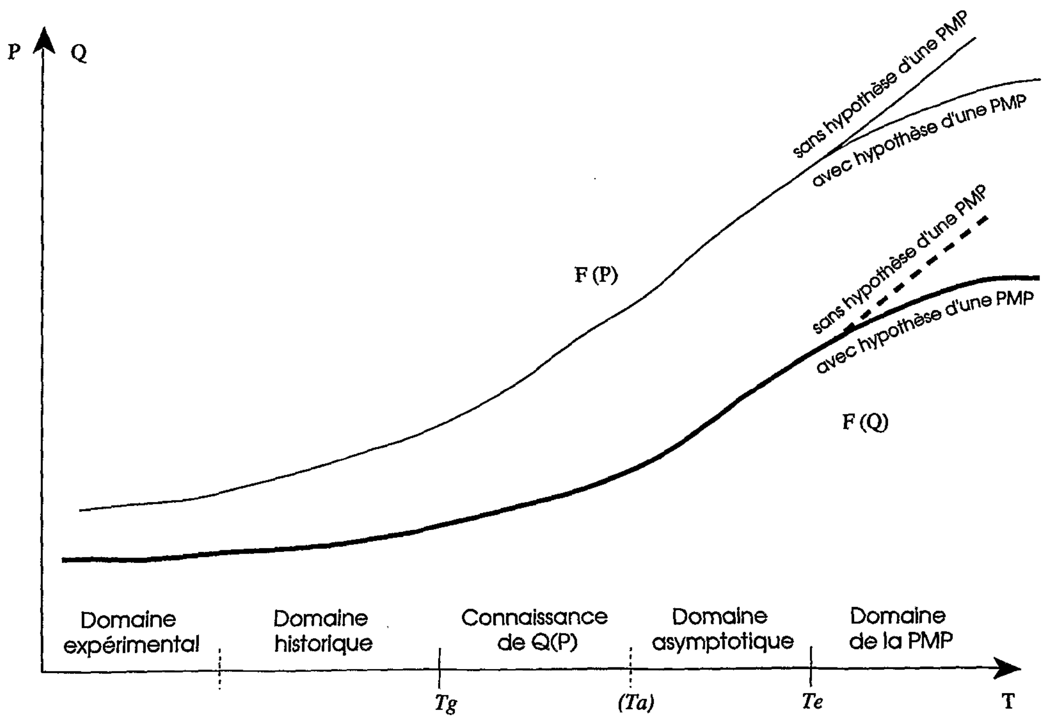

FIG. 1. — Illustration de la méthode Agregee : les différents domaines investigués.

gradex que de façon parabolique, comme avec la loi de Pearson III, ou asymptotiquement, comme avec les deux exponentielles mélangées. Ce modèle a nécessité :

a) l'étude des branches asymptotiques des lois suivies par des pluies ; obtention du paramètre :

$$Ae = \text{Lim } (dP/d(\text{Log}(T))) \text{ quand } P \rightarrow \text{oo} \quad (1)$$

qui est un pseudo-gradex des pluies valable à l'infini ;

b) l'étude des distributions des pluies et des débits au voisinage du seuil de début d'extrapolation (Tg), pour l'obtention des lois F(P) et F(Q) ajustées aux observations. Les trois paramètres Ae, Apg, et Aqg, nous permettent ensuite d'exprimer le pseudo-gradex des débits Aq au-delà du seuil d'extrapolation Tg, sous une forme (résoluble) :

$$Aq = f(Ae,Apg,Aqg,Tg,T) \quad (2)$$

traduisant une évolution progressive de Aq vers Ae, tout en assurant une continuité du premier ordre entre les domaines d'extrapolation et d'avant-gradex (branche calée sur des observations ou sur des données simulées).

Dans le seul but ultérieur de comparaison avec les résultats sur les PMF, les quantiles de débit ont été estimés jusqu'à des périodes de retour de 10^7 années, le logiciel Agregee (logiciel mettant en œuvre la méthode Agregee) ne travaillant d'ordinaire que jusqu'à des périodes de retour de 10^4 années. On rappelle que de telles périodes moyennes de retour n'ont rien à voir avec la durabilité ou la stationnarité du climat ou du régime des crues : c'est leur inverse qui donne la probabilité de dépassement de la variable concernée pour une année historique donnée. Leur signification s'arrête là, et ceci est compatible avec n'importe quelle hypothèse d'évolution climatique.

2.2. La méthode PMP/PMF

2.2.1. Estimation de la PMP

La recherche de la PMP consiste normalement à utiliser un modèle météorologique en entrant les données climatologiques (humidité relative, température, vent, etc.) observées allant dans le sens d'une maximisation de la hauteur d'eau précipitée. Cependant, parce qu'on ne dispose que rarement de telles données dans la zone investiguée, il est couramment fait appel à une méthode statistique (HERSHFIELD *et al.*, 1960 ; WMO, 1986) ; pour une durée donnée, la PMP en un lieu donné peut s'estimer par :

$$X_m = X_n + K_m.S_n \tag{3}$$

où X_n et S_n sont respectivement la moyenne et l'écart-type de séries des n valeurs maximales annuelles et K_m un coefficient lié à la durée étudiée et à X_n.

À noter qu'avant d'être entrés dans cette formule, moyenne et écart-type sont corrigés afin de tenir compte (HERSHFIELD, 1960) :

— de la présence éventuelle d'outliers ;
— de la durée d'observation ;
— du pas de temps des fichiers de données : correction de WEISS (uniquement concernant la moyenne).

Ces corrections et le coefficient K_m sont donnés par des abaques (WMO, 1986).

2.2.2. *Estimation de la PMF*

Celle-ci est estimée à partir de la PMP précédemment calculée. Le modèle pluie/débit retenu est le modèle CIA (non généralisé) qui repose sur l'hypothèse que l'intensité de la pluie est uniforme et constante dans le temps (DELSALLE *et al.*, 1991). Ainsi, cette pluie produit un ruissellement maximal au moment où tous les points du bassin versant (BV) contribuent au débit aval, c'est-à-dire dès que le point le plus éloigné hydrauliquement contribue à ce débit. La durée de la pluie est égale au temps de concentration, défini ici classiquement comme le temps mis par la goutte d'eau tombée au point le plus éloigné hydrauliquement de l'exutoire pour parvenir à celui-ci. Ce débit maximal, pour des périodes moyennes de retour variant entre 5 et 10 ans, est donné par la formule :

$$QX = K.C.I.S \tag{4}$$

où QX est le débit maximal recherché ($m^3.s^{-1}$), K une constante d'homogénéité (K=1/3,6), C un coefficient de ruissellement de pointe, I l'intensité de la pluie ($mm.h^{-1}$) et S la superficie du BV (km^2).

Du fait des conditions extrêmales dans lesquelles se situe cette étude, le coefficient C et l'intensité I seront respectivement pris égaux à 1 et à la PMP.

2.3. LE MODÈLE MULTIFRACTAL

L'analyse multifractale permet de réaliser une modélisation des précipitations dans le domaine temporel qui ne dépende que de deux paramètres caractérisant respectivement l'homogénéité et la multifractalité du phénomène étudié.

Pour un flux conservatif par changement d'échelle et qui suit un modèle en cascade, une équation (SCHERTZER *et al.*, 1987) relie la distribution de probabilité d'apparition des singularités d'ordre supérieur à γ et la fraction de l'espace occupée par ces dernières :

$$\mathrm{Proba}(\varepsilon_\lambda \geqslant \lambda^\gamma) = K_\lambda.\lambda^{-C(\gamma)} \tag{5}$$

où ε_λ est l'intensité du champ d'échelle λ, λ le rapport de la plus grande échelle d'intérêt à l'échelle d'homogénéité considéré, γ l' ordre de singularité et $C(\gamma)$ la fonction codimension fractale ; celle-ci se définit par $C(\gamma) = E - d(\gamma)$, où E représente la dimension (euclidienne) de l'espace dans lequel est inclus l'objet et d la dimension fractale du phénomène étudié. La fonction $C(\gamma)$ dépend de deux paramètres fondamentaux, C_1 et α (SCHERTZER *et al.*, 1987) :

$$C(\gamma) = C_1.\ [\gamma/(C_1.\alpha') + 1/\alpha]^{\alpha'} \text{ avec } 1/\alpha' + 1/\alpha = 1 \tag{6}$$

où C_1 est la codimension fractale des singularités qui contribuent à la valeur moyenne du champs (paramètre caractérisant le caractère régulier du phénomène étudié : plus C_1 tend vers 1 et plus le phénomène est régulier) et α l'indice de Lévy qui mesure l'écart à la monofractalité et indique à quelle classe la distribution de probabilité appartient ; α est compris entre 0 et 2.

Si l'on s'intéresse à présent à l'accumulation h_λ (= $\varepsilon_\lambda/\lambda$) à l'échelle λ et non plus à une intensité ε_λ, l'équation (5) s'écrit :

$$\mathrm{Proba}(h_\lambda \geqslant \lambda^{\gamma-1}) = K_\lambda.\lambda^{-C(\gamma)} \tag{7}$$

On note $h_\lambda{}^p$ l'accumulation dépassée avec une probabilité p :

$$\mathrm{Proba}(h_\lambda \geqslant h_\lambda{}^p) = p \tag{8}$$

Les fonctions (7) et (8) combinées conduisent alors à une équation où $\mathrm{Log}(h_\lambda{}^p)$ est une fonction linéaire de $(\mathrm{Log}(K_\lambda/p))^{1/\alpha'}$; sachant qu'on définit dans ce type d'analyse la PMP comme étant la plus petite pluie qui a une probabilité nulle d'être dépassée, l'ordonnée à l'origine de la fonction précédente est $\mathrm{Log}(h_\lambda{}^0)$, PMP à l'échelle considérée.

Concrètement, le paramètre α' est estimé à partir des équations (5) et (6) (il existe diverses méthodes d'estimation telles que la DTM ou PDMS) ; K_λ, qui représente la probabilité que l'accumulation à l'échelle λ soit strictement positive se calcule facilement à partir de l'échantillon des données ; de même, afin d'estimer $h_\lambda{}^p$, on attribue à chaque hauteur de pluie une probabilité au dépassement empirique. Il ne reste qu'à tracer pour différentes valeurs de p $\mathrm{Log}(h_\lambda{}^p)$ en fonction de $(\mathrm{Log}(K_\lambda/p))^{1/\alpha'}$ et à estimer l'ordonnée à l'origine de la droite ainsi obtenue.

Par ailleurs, il est possible, du fait de l'invariance d'échelle, de passer d'une échelle à une autre : $h^o{}_{\lambda 1} = h^o{}_{\lambda 2}.(\lambda_1/\lambda_2)^{(\gamma_0-1)}$, γ_0 étant l'ordre de singularité maximal. Les analyses seront donc menées au pas de temps de base de la journée et les résultats seront extrapolés vers les autres durées investiguées au moyen de la formule précédente.

De même que précédemment, la PMF sera estimée grâce au modèle pluie/débit CIA (4).

3. APPLICATION

3.1. Données

3.1.1. Choix des bassins versants

Les méthodologies exposées ci-dessus ont été appliquées aux données de trois bassins versants (BV) (fig. 2 et tabl. I).

Ces BV ont été retenus car ils présentent des caractéristiques relativement proches :

— ils sont situés en altitude ;

— leur surface est du même ordre de grandeur ;

— ils se trouvent pratiquement à la même latitude ;

— les données disponibles (débits et pluie) portent sur des périodes assez longues et sont réputées fiables ; elles sont en outre stockées dans la base de données du projet Unesco, PHI-Friend/Amhy (Alpine and Mediterranean Hydrology) à laquelle nous avons facilement accès.

Néanmoins, les conditions locales de ces BV diffèrent quelque peu :

— le BV de la Zorn (France) est situé sur le flanc est du massif vosgien, exposé à un climat continental ; or la décroissance très rapide des précipitations avec l'altitude a été à plusieurs reprises, mis en relief (la plaine du Rhin située au pied de ce versant constitue la région la plus sèche de la France), les effets de fœhn étant de première importance. Par ailleurs, il s'agit d'un BV de petite montagne ;

TABLEAU I
Caractéristiques des bassins versants retenus

Pays	Rivière	Station limnimétrique	Superficie (Km^2)	Pluviographe
France	Zorn	WELTHEIM (73 ans)	688	SAVERNE (210 m) (42 ans)
Suisse	Emme	EMMENMATH (80 ans)	443	LANGNAU (673 m) (91 ans)
Roumanie	Bistra	OBREJA (9 ans)	863	TARCU (2 000 m) (29 ans) CUNTU (1 500 m) (29 ans)

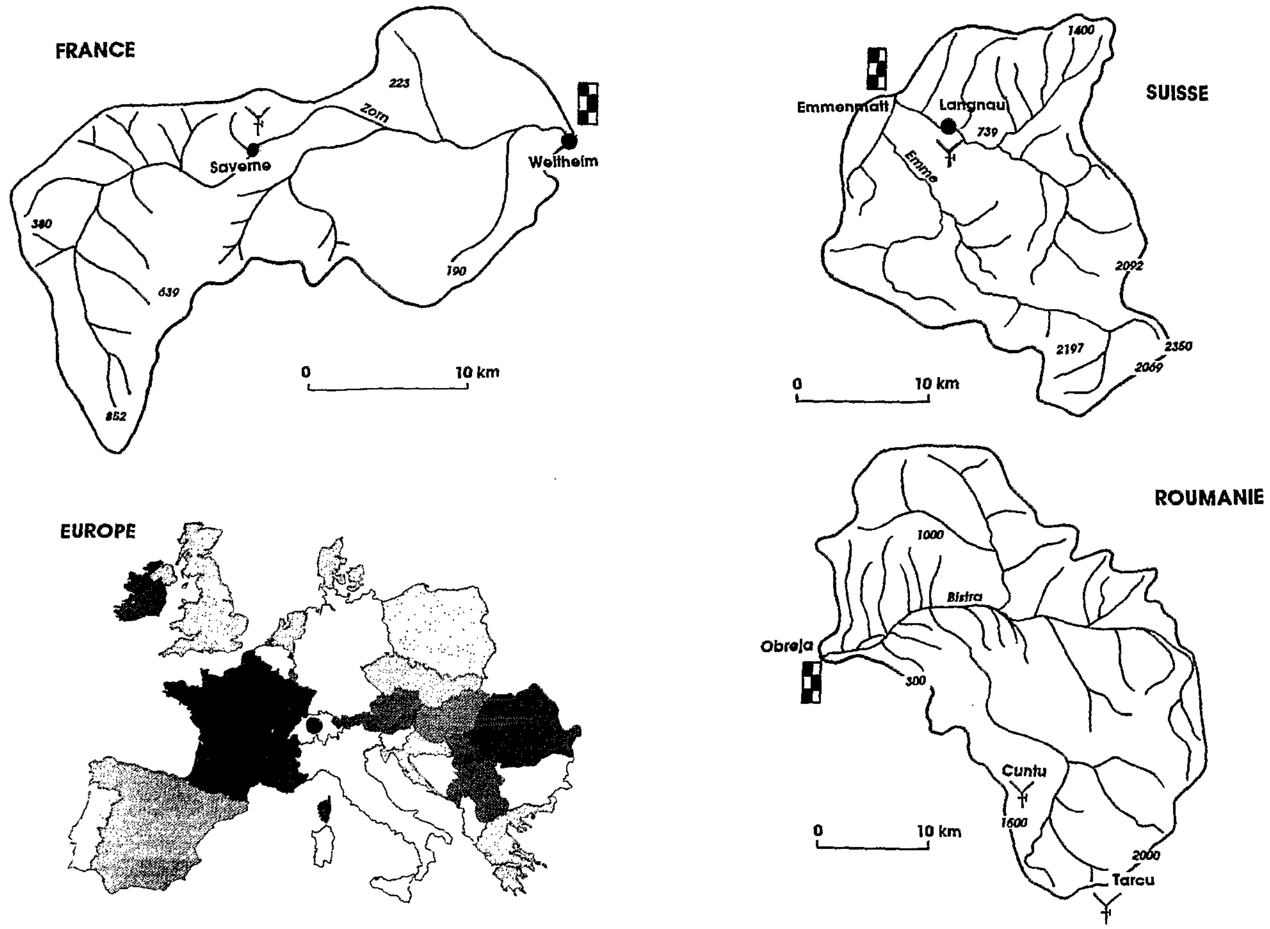

FIG. 2. — Bassins versants étudiés avec la situation des stations de mesure de débit et de précipitation. Les chiffres en italique indiquent quelques altitudes.

— le BV de l'Emme (Suisse) est un BV de moyenne montagne (les crêtes aux alentours culminent à quelque 2 000 m), ouvert sur le nord-ouest ; il est sous influence continentale, les influences méditerranéennes ne parvenant pas au cœur du massif alpin ;

— le BV de Bistra (Roumanie) est un BV de moyenne montagne subissant essentiellement des influences continentales : il n'est cependant pas exclu qu'il ait parfois affaire à des orages d'origine méditerranéenne. De durée d'observation faible (9 ans), et modestement instrumenté, ce bassin figure ici à titre de bassin représentatif des limites d'informations souvent rencontrées en hydrologie.

Ces quelques remarques aideront à interpréter les résultats de l'analyse.

3.1.2. Choix des pluviographes

La pluie est une grandeur qui varie spatialement rapidement, et ce d'autant plus que l'altitude augmente (DESUROSNE *et al.*, 1991 ; DESUROSNE, 1992) ; cette variation est complexe, ce qui rend toujours difficile le choix d'un pluviographe représentatif d'un BV pour l'estimation d'une lame d'eau moyenne, pour une durée et une période de retour données. Néanmoins, ce choix est généralement limité, car :

— il n'existe que rarement plusieurs pluviographes implantés sur le BV investigué ;

— la priorité est donnée à la station jugée la plus fiable par le gestionnaire et présentant la période d'observation la plus longue (cas de la station suisse).

Il arrive malgré tout que le cas se présente. Ainsi, sur le BV de la Zorn (France), quatre pluviographes (à des altitudes voisines de 300 m) pouvaient convenir. Des analyses statistiques ont donc été faites pour différentes durées (1 jour à 10 jours) et des résultats très proches ont été trouvés quant aux différents gradex (LANG and OBERLIN, 1993). Une seule station (Saverne) a ainsi été retenue pour la suite du travail.

Concernant le BV de Bistra (Roumanie), deux pluviographes (Tarcu et Cuntu), observés sur la même période, pouvaient convenir. Situés à des altitudes différentes, ils engendrent des lois de probabilité sensiblement différentes ; c'est pourquoi les résultats seront ci-après donnés pour les deux stations puis discutés.

Les pas de temps sur lesquels portent l'analyse sont supérieurs à la journée (contrainte liée aux données disponibles). Il s'agit de 1, 2, 3, 5 et 10 jours.

3.2. RÉSULTATS

Une illustration de l'application de la méthode Agregee au pas de temps journalier est donnée en figure 3. La loi retenue pour l'ensemble des analyses est la loi exponentielle, étant celle qui s'appliquait le mieux aux échantillons. Les résultats des analyses statistiques sont donnés dans le tableau II, la période de retour de la PMF étant estimée brutalement par les résultats d'Agregee.

TABLEAU II
Résultats statistiques

Pays	pdt (jours)	Méthode statistique		
		PMP (mm)	PMF (m^3/s)	T (ans)
	1	174	1 386	> 10^9
	2	242	963	[10^8; 5.10^8]
France	3	254	675	[10^7; 5.10^7]
	5	260	334	[10^5; 5.10^5]
	10	271	216	[10^5; 5.10^5]
	1	358	3 577	10^9
	2	438	2 189	[10^8; 5.10^8]
Roumanie	3	499	1 659	> 10^9
(Tarcu)	5	531	1 062	[10^7; 5.107]
	10	866	865	10^7
	1	467	4 665	10^9
	2	707	3 529	[10^8; 5.10^8]
Roumanie	3	809	2 695	[10^7; 5.10^7]
(Cuntu)	5	904	805	[10^7; 5.10^7]
	10	996	995	[10^7; 5.10^7]
	1	239	1 225	10^9
	2	294	754	10^9
Suisse	3	334	571	[5.10^8; 10^9]
	5	417	428	5.10^8
	10	538	276	10^9

Les données de Bistra (Roumanie) ont été extrapolées à partir des données de pluie de deux stations, Tarcu (*) et Cuntu (**). Il semblerait à ce stade qu'il faille donner plus de crédit à (**), la station de mesure étant située dans les deux tiers supérieurs du BV (alors que la première se trouve au voisinage de la crête) et les résultats étant de surcroît compatibles avec ce qui a pu être observé dans ce pays.

Concernant la méthode multifractale, elle n'a pu être appliquée avec succès que sur les données de la station suisse. Les résultats sont ceux du tableau III (p. 101).

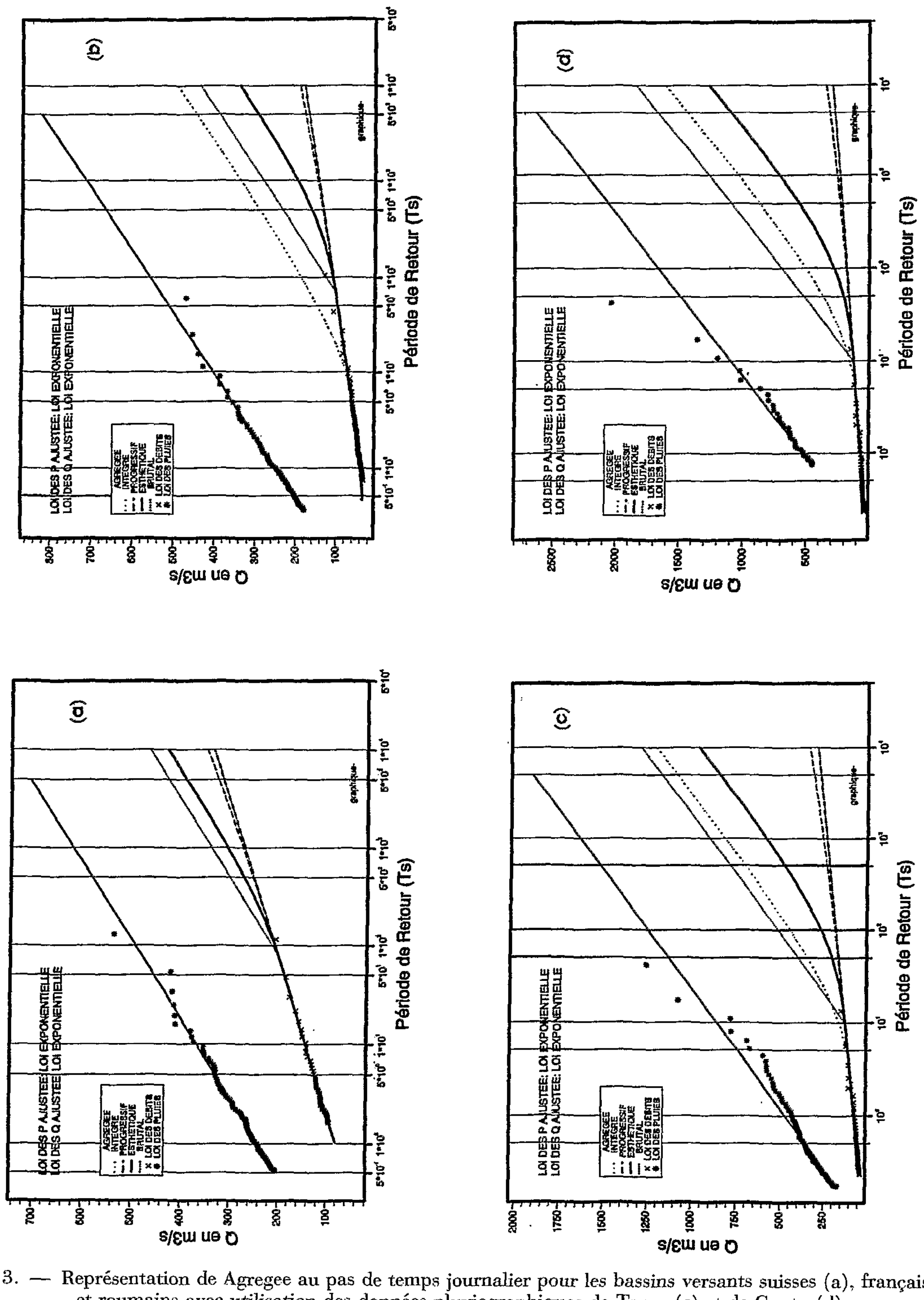

FIG. 3. — Représentation de Agregee au pas de temps journalier pour les bassins versants suisses (a), français (b) et roumains avec utilisation des données pluviographiques de Tarcu (c) et de Cuntu (d).

TABLEAU III
Résultats avec la méthode multifractale

Pays	pdt (jours)	Méthode multifractale		
		"PMP" (mm)	PMF (m^3/s)	T (ans)
Suisse	1	500	2 563	>> 10^9
	2	555	1 423	>> 10^9
	3	590	1 008	>> 10^9
	5	636	652	>> 10^9
	10	706	362	>> 10^9

4. DISCUSSION ET CONCLUSION

En prenant Agregee comme référence, on peut conclure ainsi.

4.1. SUR L'INTÉRÊT DES FRACTALS

La méthode multifractale engendre des débits maximaux de même ordre de grandeur que ceux déduits de l'analyse statistique pour le BV suisse et pour des durées supérieures à 2 jours ; la tendance s'inverse pour les pas de temps de 1 jour et de 2 jours. Au modeste stade de cette note, on ne peut évidemment afficher aucune conclusion solide sur l'interprétation des différences entre les débits extrêmes, outre qu'aucune méthode ne peut être réellement validée en crues extrêmes, faute d'observations de validation. Mais il était utile d'aborder cette comparaison dans un contexte ordinaire.

Une comparaison de même type pour les autres BV n'a pas été possible : la méthode multifractale n'a en effet pu être appliquée à cause de transitions de phase de premier ordre (LOVEJOY et SCHERTZER, 1992). Il est d'ailleurs à noter que l'ajustement d'une loi statistique des données pluviographiques des stations roumaines et françaises n'a pas été sans poser de problème : échantillons présentant des outliers pour les petits pas de temps et plafonnant pour des pas de temps supérieurs. Un « forçage » a été parfois nécessaire.

Ainsi, la recherche de la PMP par la méthode multifractale pose encore de nombreux problèmes, en particulier lorsque l'on a affaire à des échantillons difficiles à modéliser par une loi de probabilité classique. Néanmoins, dans cette analyse les échantillons ont été traités dans leur globalité, alors qu'il aurait été souhaitable de les traiter après les avoir fractionnés afin d'en moyenner des résultats.

4.2. SUR LES APPROCHES PMP/PMF PLUS CLASSIQUES

Concernant la méthode PMP/PMF classique, les valeurs obtenues sont très importantes et conduisent à des périodes de retour extrêmes (de l'ordre de 10^7 à 10^9 ans). Si l'on venait donc à compléter les lois de probabilité des débits obtenues par la méthode Agregee, il faudrait prendre en compte une direction asymptôtique horizontale à partir de périodes de retour extrêmement importantes. Cependant, pour la majorité des ouvrages actuellement conçus, cette branche ne présente qu'un intérêt modéré, étant donné que c'est le domaine des crues rares qui est généralement pris en compte.

L'ensemble de ces deux ou trois approches sont en cours de développement au sein du groupe Amhy du projet Friend, thème IV (crues).

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient les services ayant accepté de mettre à disposition des données encore non présentes dans la banque Amhy : M Devred (EPFL, Suisse), banques Hydro et Pluvio (France).

La démarche de cet article permet d'élargir l'objectif initial du projet *MOI* (Methods Of Integration) du pôle « Europe du Nord-Ouest » du projet *Friend.*

BIBLIOGRAPHIE

DELSALLE (F.), GALÉA (G.) et GILARD (O.), 1991 — *Hydrologie et hydraulique des petits bassins versants de vignobles,* Synthèse méthodologique, Cemagref Lyon, déc. 1991.

DESUROSNE (I.), OBERLIN (G.) et RIBOT-BRUNO (J.), 1991 — Corrélogrammes spatio-climatiques des intensités de pluie en montagne, *Hydrologie continentale,* vol. 6 (2) 1991 : 91-109.

DESUROSNE (I.), 1992 — *Gradients d'intensités de pluie en zones à relief : expérimentations et premières modélisations des données d'un réseau rhônalpin, le TPG,* thèse ULPS/Cemagref Lyon, sept. 1992, *multigr.*

GUILLOT (P.) et DUBAND (D.), 1967 — *La méthode du Gradex pour le calcul de la probabilité des crues à partir des pluies,* Paris, Journées de la SHF, question 1, rapport 7, sept. 1967.

HERSHFIELD (D. M.) et WILSON (W. T.), 1960 — A comparison of extreme rainfall depths from tropical and North-tropical storms, *Journal Geophys. Res.,* vol. 65, n° 3.

HUBERT (P.) et CARBONNEL (J. P.), 1993 — *Analyse multifractale et précipitations extrêmes,* Yokohama, Japon, AISH, juil. : 11-23.

LANG (M.) et OBERLIN (G.), 1993 — *Preliminary test for mapping the 100-year flood with the Agregee model,* Technische Universität Braunschweig, Friend Conference, 11-15 oct. 1993.

LOVEJOY (S.) et SCHERTZER (D.), 1992 — *Multifractals in Geophysics.* AGU-CGU-MSA Spring Meeting, May 1992.

MARGOUM (M.) et OBERLIN (G.), 1991 — *Agregee : premiers résultats,* Colloque franco-roumain, septembre 1991.

MARGOUM (M.), 1992 — *Estimation des crues rares et extrêmes : le modèle Agregee. Conception et premières validations,* thèse de l'école des Mines de Paris/Cemagref Lyon, juillet 1992.

MICHEL (C.), 1982 — *Extrapolation par la méthode du Gradex,* Note du 03-05-1982.

OANCÉA (V.), MARGOUM (M.) et OBERLIN (G.), 1992 — *Estimation des crues rares et extrêmes par le modèle Agregee.* Étude de cas, Paris, Orstom.

SCHERTZER (D.), LOVEJOY (S.) et TSONIS (A.), 1987 — Functionnal Box-Counting and Multiple elliptical dimensions in rain, *Science,* 27.2.87, vol. 235 : 1036-1038.

WMO, 1986 — *Manual for estimation of Probable Maximum Precipitation,* n° 332.