

LA PLUVIOMÉTRIE EST-ELLE ASSEZ FIABLE POUR ÉVALUER LES CRUES EXTRÊMES ?

P. GUILLOT¹

RÉSUMÉ

Les processus à l'origine de la transformation de la pluie en débits sont très divers et très complexes. Il paraît illusoire d'espérer à la fois les identifier tous et avoir accès à une description du milieu qui soit suffisante pour les intégrer dans l'espace. L'utilisation des modèles pluies-débits déterministes pour calculer des crues extrêmes ne peut dans ces conditions que conduire à des résultats très incertains voire aberrants. Pour les mêmes raisons, l'extrapolation des lois statistiques calées sur des séries, toujours limitées, de débits ne peut être justifiée. En revanche, il n'est pas contestable que le volume d'eau que peut retenir un bassin tend vers une limite, que par conséquent la queue des distributions des volumes de crue peut se déduire par simple translation de celles des volumes de pluie. C'est à partir de ce constat qu'a été développée la méthode du Gradex pour l'estimation des crues rares, estimation qui est essentielle pour la conception des aménagements. Une question se pose cependant : « la pluviométrie est elle assez fiable pour pouvoir appliquer cette méthode ? ».

Dans cette communication, l'auteur répond à cette interrogation. Il analyse les causes d'erreurs commises dans l'estimation des volumes précipités (erreurs liées à la mesure et à la représentativité des sites). Il en déduit que les mesures pluviométriques sont fiables pour les fortes valeurs. Il montre sur des exemples français que les queues des distributions pluviométriques peuvent être convenablement décrites par des exponentielles.

L'emploi de la méthode Gradex est donc justifié.

¹Ingénieur conseil, Grenoble

INTRODUCTION

La connaissance exacte, dans l'espace et dans le temps, de tous les mécanismes qui génèrent le débit n'est pas, et de loin, à la portée de nos moyens d'investigations les plus futuristes. À condition d'avoir été capable de recueillir une série d'enregistrements fiables, l'analyse de la régression multiple « variation du débit/pluies horaires » permet de répondre au besoin de l'annonce des crues. Mais il ne s'agit pas là de relations physiques, et c'est un contresens d'espérer tirer de ces régressions non-linéaires, ajustées aux événements observés, des extrapolations lointaines pour calculer les valeurs extrêmement rares du débit, qui sont demandées pour la conception des aménagements.

Pour extrapoler aussi loin, une logique globale de bilan a plus de chance de nous éclairer, que des modèles artificiellement détaillés (FRANZ *et al.*, 1991), truffés d'hypothèses invérifiables. Le volume d'eau qui forme une crue est la différence de 2 grandeurs aléatoires :

- le volume de l'averse génératrice ;
- le volume retenu par le bassin, qui tend vers une limite, liée à l'état initial du terrain, et à la concentration spatio-temporelle de l'averse.

La convolution des aléas principaux entraîne que la queue de la distribution du volume de crue, dans la gamme de probabilité annuelle de dépassement 10^{-3} à 10^{-4} , est pratiquement la réplique de celle du volume de pluie dans la gamme 10^{-1} à 10^{-2} , qui est à la portée de nos observations.

Certains persévèrent cependant dans les errements traditionnels, d'ajustements aux seules séries de débit, de lois diverses de probabilité, dont le choix est inépuisable et l'extrapolation totalement factice, quelle que soit la taille du bassin. Chez maints hydrométriciens, cette attitude est due à la méfiance que leur inspire la pluviométrie, qui leur paraît une information indirecte et douteuse. Les quelques réflexions qui suivent leur sont destinées.

LES DÉFAUTS DE MESURE

À première vue très simple, puisqu'il suffit de mesurer la masse d'eau recueillie dans un récipient dont l'ouverture horizontale a une surface connue, la mesure des précipitations est sujette dans un site exposé au vent, à un grave défaut, auquel on ne sait pratiquement pas remédier : avec l'accélération de l'écoulement de l'air autour du pluviomètre, les trajectoires des gouttelettes ou flocons divergent en approchant de l'embouchure, de sorte que la quantité captée est systématiquement inférieure à celle reçue par la même surface de sol horizontal.

La perte peut dépasser 80 % en cas de bruine ou de neige, à vitesse de chute inférieure à 1 m.s^{-1} , bien plus faible que celle du vent. Mais le défaut est quasi-nul pour les grosses gouttes qui tombent à 15 m.s^{-1} .

Le vent est donc un souci des hydrologues, des pays continentaux froids pour connaître les précipitations d'hiver, mais aussi des climats océaniques, où les bruines et crachins marins font une large part du total annuel.

De nombreuses formes d'écran ont été essayées depuis plus d'un siècle pour protéger du vent les pluviomètres : qu'ils soient du type autrichien Nipher (tronc de cône rigide), américain Alter (claire souple), ou russe Tretiakov (claire rigide), leur efficacité est très décevante ; leur taille est insuffisante, et c'est toute la surface délimitée par l'écran qui est en déficit. Au terrain d'essai de Valdaï, les Russes sont allés jusqu'à tester un écran de 15 mètres de diamètre.

Le *pit-gauge* anglais, avec son embouchure au ras du sol, est le meilleur dispositif pour la bruine, mais il flotte et chavire dans sa fosse par forte averse, et se remplit de neige soufflée en hiver.

Les météorologues ont naturellement tendance à préférer les sites d'observation bien dégagés, jugeant que les obstacles, arbres et bâtiments, interceptent les précipitations qui tombent à l'oblique. En réalité, dans une clairière, un verger, le vent est freiné par plusieurs rideaux d'arbres successifs, et après chaque obstacle, la trajectoire des gouttes de pluie se rapproche de la verticale. À condition de respecter la règle de distance au moins égale à la hauteur, l'expérience a toujours montré que les obstacles sont beaucoup moins à redouter que le vent. La conclusion des études très poussées de Valdaï est qu'un large entourage de végétation est le meilleur écran pluviométrique.

Aucun site pluviométrique n'est irréprochable. Les postes climatologiques, dans les jardins des particuliers bénévoles, sont généralement meilleurs que les postes synoptiques d'aéroports, trop ventés. Même dans les meilleurs sites, un déficit global systématique de l'ordre de 5 à 10 % sur le total annuel est vraisemblable. Il arrive qu'un changement d'emplacement à l'intérieur d'une commune entraîne une modification de 10 % du total annuel.

En définitive, les causes principales d'erreur sont, dans l'ordre :

- le vent ;
- les obstacles, quand ils sont trop proches ;
- la ré-évaporation du contenu du pluviomètre.

Mais toutes ces causes n'ont qu'un effet nul ou relativement négligeable sur les averses les plus intenses. En valeur relative, les précipitations journalières faibles, de 0 à 5 mm, sont les plus affectées, voire complètement altérées, alors que les pluies supérieures à 10 mm/jour ne souffrent que de défauts mineurs.

Bien sûr, pour les stations climatologiques il y a aussi les négligences (oublis et cumuls) des observateurs bénévoles. Quand un réseau est suivi décemment, elles s'éliminent aisément par un simple examen comparatif, et des tests peu

coûteux. Les données brutes du fichier pluvio de Météo-France sont utilisables au prix de ces quelques précautions de bon sens. Elles constituent une masse d'information d'une utilité primordiale pour l'économie générale.

LES PROBLÈMES DE REPRÉSENTATIVITÉ

L'INFLUENCE DU RELIEF, ET L'ÉCHELLE SPATIALE DES VARIATIONS

La cause directe de l'accroissement des précipitations n'est pas l'altitude (cartes naïves de Gaussens), mais la proximité des accidents du relief, sources d'ascendances orographique et thermique, qui initient les développements orageux, et renforcent aussi, considérablement, les pluies frontales sur le versant au vent. Les journées de précipitation sont plus nombreuses autour des sommets, qui « accrochent » par tous les régimes perturbés, d'où la corrélation altitude-abondance annuelle. Mais la corrélation altitude-intensité est faible, et même négative en haute montagne selon certains géographes, opinion invérifiable faute de mesures.

En fait, les précipitations les plus intenses naissent dans les « choux-fleurs » entre 5 et 10 km d'altitude, grossissent en captant de la vapeur d'eau et d'autres gouttelettes dans leur chute, parfois longtemps prolongée par la violence des courants ascendants. Leur trajectoire peut s'achever au sol à plus de 10 km des foyers orageux, eux-mêmes déportés de plusieurs kilomètres par rapport aux sources d'ascendance.

Avec ces vecteurs aléatoires de formation et de dissémination, les paramètres de probabilité des pluies intenses n'ont aucune raison de varier rapidement sur le terrain, de façon anarchique discontinue, ni de suivre étroitement la carte du relief. Logiquement, la carte du Gradex sur une région doit refléter la puissance des sources d'ascendance, avec un lissage sur plusieurs kilomètres, et une anisotropie influencée à la fois par les lignes directrices du relief, et par l'orientation dominante du vent en altitude pendant les heures de précipitations, généralement de sud-ouest sous notre climat.

La continuité de cette carte découle de l'intégration d'un grand nombre (idéalement illimité) d'épisodes pluvieux, étant bien entendu que chaque épisode individuel présente des irrégularités et discontinuités particulières, qui échappent à l'observation d'un réseau pluviométrique discret dont la maille est de 10 à 20 km. Cette densité est insuffisante pour dresser la carte exacte de la pluie horaire et journalière de chaque épisode, mais cela n'empêche nullement le réseau climatologique d'être une base valable d'interpolation spatiale des paramètres du régime d'intensité de la pluie.

Pour la même raison, l'absence de pluviomètres sur les crêtes, où le vent et la neige interdisent les mesures, n'empêche pas d'avoir une estimation du Gradex dans les bassins de haute montagne grâce aux postes climatologiques des vallées.

L'expérience montre que les cartes d'isohyètes des épisodes faibles, de moins de 10 mm, sont difficiles à tracer et pleines d'interprétations douteuses, alors que les épisodes de plusieurs 10^1 ou 10^2 mm sont remarquablement réguliers. C'est normal puisque l'addition de plusieurs noyaux aléatoires successifs lisse les irrégularités, mais cela confirme aussi que les fortes averses sont peu affectées par les défauts du capteur évoqués plus haut.

Des précipitations faibles de l'ordre du millimètre/jour sont produites par des écharpes de stratus qui condensent sur des accidents du microrelief, tels un simple talus, la lisière d'une forêt. D'où des différences de pluviosité de quelques pourcents, voire une modification sensible du nombre annuel de jour de précipitations, quand on déplace un poste dans une commune. Mais cela ne concerne pas la statistique des fortes précipitations.

MOYENNE SPATIALE SUR UN BASSIN

Nous avons besoin de la valeur numérique du Gradex de la pluie moyenne spatiale sur le bassin, qu'on assimile à la pluie moyenne pondérée de quelques stations. On peut se contenter de la méthode scolaire de Thiessen. Il existe de nombreuses méthodes d'interpolation bien plus élaborées (Landau, Krieger, vecteurs propres, etc.), mais s'agissant seulement d'évaluer une propriété linéaire de la moyenne spatiale des pluies, l'essentiel est d'attribuer à chaque pluviomètre une surface voisine de la fraction du bassin qu'il représente, sans que cette répartition soit très critique. Grâce aux liaisons fortes entre stations voisines, quelques échanges de pondération n'ont qu'un effet du second ordre sur le résultat final.

LES ESPOIRS DE LA TÉLÉDÉTECTION

La télédétection par radar et satellite nous donne en temps réel l'image des nuages de grosses gouttes, et des sommets froids de cumul, sources potentielles de précipitations. Mais leur traduction en hauteur de pluie réelle qui parvient au sol est très mauvaise : intégrée sur 24 h, elle est encore si incertaine, qu'elle est très loin de pouvoir concurrencer un réseau climatologique, même médiocre (thèse de Creutin). Il paraît assez chimérique de déduire la forme mathématique de la loi de probabilité des pluies extrêmes d'une analyse statistique, fractale ou autre, de ces images.

D'après *LEBEL et al.* (1992), il faut intégrer ces indices sur au moins 1 mois pour atteindre un niveau de corrélation significatif avec la pluie mesurée au sol.

Si on disposait donc sur une région d'une longue série (au moins 10 ans ?) d'images intégrées sur 24 h, peut-être serait-il déjà moins chimérique d'ébaucher la carte du paramètre d'échelle de la pluie journalière intense, c'est à dire du Gradex.

À QUOI S'APPLIQUE LA SIMILITUDE ?

En particulier, quand on change de site géographique, y a-t-il conservation par similitude de toute l'étendue de la fonction de répartition de la hauteur de pluie, ou seulement d'une partie ?

LOVEJOY ET SCHERTZER (1985), soutenus par WAYMIRE (1985), suivis par HUBERT (1991), sont contredits par KEDDEM ET CHIU (1987). Ils répondent (LOVEJOY ET SCHERTZER, 1989) qu'il y a maladresse et que la similitude concerne, non les valeurs absolues, mais les variations ou incréments.

Sans nous hasarder dans les arcanes du débat, il nous semble que les chutes de pluie intense résultent de mécanismes turbulents atmosphériques qui sont du même type dans tous les climats, en changeant seulement d'échelle : au moins la queue supérieure a de bonnes raisons d'avoir partout le même type de comportement asymptotique.

En revanche, la distribution des valeurs faibles, très sensible aux défauts et particularités du site de mesure, n'a aucune raison d'avoir une forme standard et de représenter une source d'information fiable pour la connaissance des pluies extrêmes. C'est pourquoi, un ajustement statistique, qu'il soit classique ou fractal, qui cherche à décrire toute la distribution par une expression unique depuis le bas jusqu'en haut, risque d'être peu significatif et fortement erratique.

L'évaluation par un modèle fractal (HUBERT, 1991) d'une « pluie maximale possible » aboutira vraisemblablement à une valeur numérique tellement élevée et controversée, qu'elle sera de toutes façons au moins d'un ordre de grandeur au-dessus de ce qui peut concerner les dimensions d'un projet.

La connaissance des limites de la nature est certes un beau sujet de discussion métaphysique : nous sommes destructibles et mortels quel que soit le prix payé pour la sécurité. Imitons ce jésuite qui, lui, le jour de la panne de jus, sait où sont les plombs : nous avons à notre portée dans les pluviomètres, la mesure pratique de l'échelle du risque.

LA QUEUE EST - ELLE RÉELLEMENT EXPONENTIELLE ?

Tableau 1

Test d'exponentialité appliqué à 9 longues séries pluviométriques centennaires coefficient p de la loi de Weibull $(1 - F) = \exp [-(x/g)^p]$, ajustée, par le maximum de vraisemblance, à la distribution des valeurs dépassant le vingtile de chaque mois. L'hypothèse d'une loi mère exponentielle correspond à $p=1$, avec un intervalle interdécile de 0,91 à 1,09.

Durée d'obs. année		Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil.	Aoû	Sep	Oct.	Nov.	Déc	Moy. ann
108	Nantes	1,01	1,22	0,97	0,95	0,98	0,83	0,93	0,90	1,03	0,98	1,02	1,05	0,99
117	Paris	1,08	1,00	1,01	1,12	0,92	0,99	0,89	0,94	1,06	0,96	0,98	0,99	0,99
115	Strasb.	0,95	0,97	1,07	0,91	0,92	0,93	1,00	0,97	0,98	0,98	0,93	1,01	0,97
113	Dijon	1,17	0,99	1,04	0,95	0,98	0,95	0,99	1,00	1,00	1,05	0,95	1,08	1,01
124	Mars.	0,97	0,94	1,06	0,98	0,94	0,92	0,84	0,92	0,87	0,87	0,93	1,01	0,94
90	Troyes	1,14	1,01	1,13	1,03	0,89	0,98	1,09	0,93	1,00	1,12	0,97	0,88	1,01
107	Besan.	0,96	1,15	0,98	1,03	1,00	0,89	0,93	0,90	0,92	0,95	0,96	1,01	0,97
98	Decaz.	0,99	1,03	1,01	1,02	0,94	1,05	1,04	0,96	1,00	0,90	1,00	0,98	0,99
109	Peyr.	1,12	0,94	1,14	1,00	0,96	1,06	1,04	0,91	1,09	1,03	1,11	1,12	1,04
981	moy.9 st.	1,04	1,03	1,05	1,00	0,95	0,96	0,97	0,94	1,00	0,98	0,98	1,01	0,99

LES VARIATIONS DU GRADEX AVEC LA SAISON

9 séries pluviométriques françaises centenaires (980 années - stations)

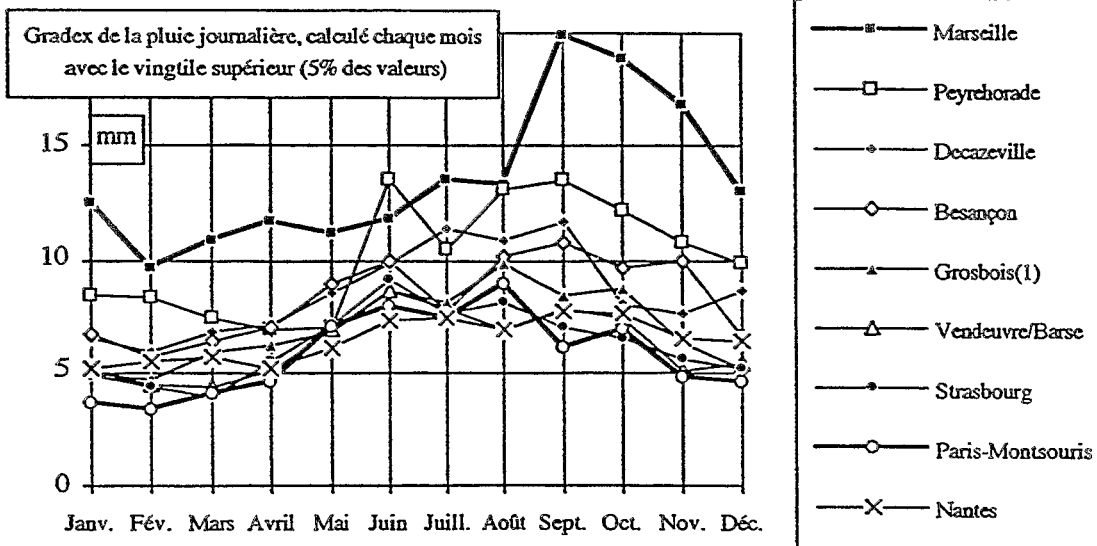


Figure 1

Gradex de la pluie journalière pour les 9 séries pluviométriques

CONCLUSIONS

- les mesures pluviométriques sont suffisamment fiables, et représentatives de la vraie grandeur des fortes précipitations sur un bassin versant ;
- en revanche tout modèle statistique s'appuyant sur toute l'étendue de la distribution, y compris les valeurs nulles, risque d'être fortement biaisé par les défauts de mesure et de représentativité des faibles précipitations ;
- la queue de la distribution est suffisamment voisine d'une exponentielle, même si l'expérience suggère qu'elle est parfois un peu au-dessus ;
- l'information essentielle pour l'évaluation du risque de crue est le paramètre d'échelle de la queue de la distribution, dont l'estimation la plus robuste est donnée par la moyenne des 5% plus fortes pluies journalières, pendant la saison où le Gradex est maximum.

BIBLIOGRAPHIE

- FRANZ D.D., KRAEGER B.A., LINSLEY R.K., 1991. Estimating the frequency of flood events, EOS, June 25, 1991, 276-277.
- GUILLOT P., RICHER C., AUDINET M., TOURASSE P., COLOMBANI J., THONY J.L., 1985. Mesures en Hydrologie de surface, Techniques de l'ingénieur, R 2330, 23 p.
- GUILLOT P., 1991. Structure de la relation stochastique non-linéaire averse-crue, CR des rencontres hydrologiques Franco-Roumaines, Paris Sept.1991, 10 p., (à paraître).
- GUILLOT P., 1992. Rainfall and extreme floods ; in quest of a logic. Symposium CIGB, Grenade, Sept.1992, 10 p., à paraître.
- HUBERT P., 1991. Analyse multifractale de champs temporels d'intensité des précipitations, CR des rencontres hydrologiques Franco-Roumaines, Paris Sept.1991, 8 p., à paraître
- KEDEM B., CHIU L.S., 1987. Are rain rate processes self-similar ?, WRR, 23, 10, 1816-1818.
- LEBEL T., SAUVAGEOT H., HOEPFNER M., DESBOIS M., GUILLOT B., HUBERT P., 1992. Rainfall estimation in the Sahel : the Epsat-Niger experiment, *Journal des Sciences hydrologiques*, 37, 3, 6/1992, 201-215.
- LOVEJOY S., SCHERTZER D., 1985. Generalized scale invariance in the atmosphere and fractal models of rain, WRR 21, 8, 1233-1250.
- LOVEJOY S., SCHERTZER D., 1989. Comment on « Are Rain rate processes self-similar », WRR, 25, 3, 577-579.
- Météo-France, fichier « Pluvio »
- WAYMIRE ED., 1985. Scaling limits and Self-Siilarity in Precipitations Fields, WRR, 21, 8, 1271-1281.