Analyse quantitative du phénomène de pluie ponctuelle maximale sur une surface Coefficient d'épicentrage des averses de 1 h à 24 h

Quantitative analysis of the phenomenon of maximum spot rainfall over an area – Epicentric coefficient of showers from 1 h to 24 h

G. Galea, C. Michel et G. Oberlin

Division Hydrologie-Hydraulique Fluviale, CEMAGREF, Paris-Antony

Introduction

Le problème de l'estimation des pluies exceptionnelles est posé traditionnellement en un endroit bien déterminé. Il est résolu par une analyse fréquentielle des pluies observées en ce lieu précis.

Or, pour beaucoup de responsables, le problème des fortes pluies concerne, non pas un endroit fixe, mais toute une parcelle de territoire.

C'est le cas du gestionnaire d'un vaste réseau d'assainissement urbain ou encore du gérant d'un système d'assurance pour les agriculteurs d'une région donnée face aux érosions hydriques catastrophiques.

Pour ces personnes le problème se pose dans les termes suivants :

Avec quelle probabilité peut-il se produire une pluie supérieure à P sur une surface s à l'intérieur d'un domaine d'aire S ?

C'est ce problème que l'on se propose de résoudre à l'aide du coefficient d'épicentrage.

Pluies de durée donnée, en un poste fixe

Il convient de préciser ce que l'on entend par "pluie" et comment on classe les différentes pluies d'une même durée.

Soit une période d'observation Δ de n années. Intéressons-nous à une durée de t heures. A tout intervalle de temps δ de durée t heures, pris de manière quelconque à l'intérieur de Δ, correspond une pluie P tombée pendant cet intervalle de temps δ.

La valeur maximale de P que nous noterons P_1 est obtenue sur l'intervalle δ_1.

On peut à nouveau étudier P sur un intervalle δ de durée t heures appartenant à $[\Delta - \delta_1]$; la valeur maximale, notée P_2 est obtenue sur l'intervalle de temps δ_2.

Cette procédure répétée permet ainsi d'obtenir une suite décroissante de pluies de t heures, sans recouvrement, donc réputées indépendantes à cause de la faible autocorrélation des pluies successives.

A la pluie de rang i on affecte une période de retour expérimentale Ti :

$$Ti = \frac{n}{i - 0.3}$$

la relation $P(T)$ est ce que l'on appelera, par extension, la "distribution" fréquentielle de la pluie locale.

Pluie ponctuelle locale d'une zone donnée

On suppose que les distributions des pluies de différents postes de la zone étudiée sont statistiquement identiques (isotropie de $P(T)$).

Si la zone est couverte par p pluviographes, on peut approcher la distribution théorique commune en faisant une moyenne des distributions expérimentales (liées à 1 échantillon observé) des pluies des p pluviographes.

Notons PL la pluie locale théorique dont la distribution vient ainsi d'être obtenue.

Pluie ponctuelle maximale dans une zone donnée

Considérons une zone couverte par p pluviographes observés sur une même durée Δ. Pour chaque intervalle de temps δ, de durée t heures, situé à l'intérieur de Δ, on peut noter $PX(\delta)$ la pluie maximale enregistrée parmi les p pluviographes. Autrement dit, pour chaque intervalle de temps, on retient le pluviographe qui a enregistré le maximum de pluie.

On peut appliquer alors la même démarche que dans le paragraphe 2, ce qui conduit à une "distribution" $PX(T)$.

L'objet de cette note est l'estimation de $PX(T)$ connaissant $PL(T)$.

Coefficient d'épicentrage KX

Pour estimer $PX(T)$ à partir de $PL(T)$, il est apparu commode d'étudier le rapport

$$\frac{PX(T)}{PL(T)}$$

C'est ce rapport que l'on a dénommé le coefficient d'épicentrage noté KX

$$KX(T) = \frac{PX(T)}{PL(T)}$$

Il est important de noter que ce coefficient est un rapport entre quantiles et non pas entre pluies d'un même événement climatique.

PX, pluie maximale de t heures, a été déterminée à partir de p pluviographes répartis (régulièrement) sur un domaine de superficie S.

En conséquence, KX dépend a priori de 4 variables :

S superficie du domaine (km^2)
p nombre de pluviographes
t durée des pluies (heure)
T période de retour (année)

Le nombre de variables dont dépend KX étant important, la mise au point d'une expression analytique est souhaitable.

Estimation du coefficient d'épicentrage

Pour étudier KX, nous avons utilisé les données pluviométriques du bassin représentatif de l'Orgeval.

Une zone maximale de 104 km^2 est couverte par 21 pluviographes à rotation hebdomadaire.

Les pluies ont été étudiées sur 5 durées différentes : 2, 4, 6, 12, 24 (heures).

4 valeurs de superficies ont été testées : 7, 25, 46, 104 (km^2)

6 valeurs de T ont été retenues : 0.2, 0.5, 1, 2, 5, 10 (an)

Le nombre de pluviographes (p) est resté lié à la superficie de la zone retenue. Cela aurait pu nous obliger à ne pas faire intervenir à la fois S et p dans l'expression analytique de KX.

En fait, ce sont les conditions aux limites qui ont fixé la forme de cette expression. En effet, on a désiré satisfaire aux conditions suivantes :

(1) $S \to 0$; $KX \to 1$
(2) $t \to 0$; KX fini
(3) $t \to \infty$; KX fini
(4) $p \to \infty$; KX fini
(5) $S \to \infty$ avec p fixe ; KX fini

En faisant varier S, T, t et p on a pu caler la formule suivante :

avec S en km^2
T en années
t en heure

$$KX = 1 + \left[ln \left(\frac{S+1}{\frac{S}{p}+1} \right) \right] \cdot \left[0.03 + 0.026\, lnT + 0.32\, e^{-\frac{t}{20}} \right]$$

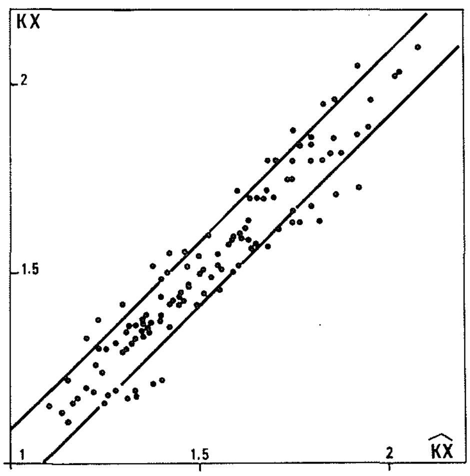
Lors du calage, on a minimisé la somme des carrés des erreurs ; l'erreur standard sur KX, à laquelle correspond cette formule est égale à 0.08.

Contrôle et validité de la formule

Le domaine d'établissement de la formule a été le suivant :

$$\begin{cases} 7 \leqslant S \leqslant 104 & (\text{km}^2) \\ 0.2 \leqslant T \leqslant 10 & (\text{an}) \\ 2 \leqslant t \leqslant 24 & (\text{heure}) \\ 5 \leqslant p \leqslant 21 & \\ \text{Climat du bassin parisien.} & \end{cases}$$

A l'intérieur de ce domaine le graphe des valeurs calculées ($\widehat{KX}$) et des valeurs observées (KX) est le suivant :



Contrôle du calcul de KX
120 valeurs 4 superficies
5 durées
6 fréquences
erreur standard $\simeq$ 0.08

Le domaine de validité de la formule peut être très sensiblement plus large que le domaine d'établissement grâce aux conditions aux limites que l'on s'est fixé et grâce aussi au choix des fonctions analytiques retenues.

En particulier, il devrait être possible de faire p infini dans cette formule sans introduire une erreur démesurée. Dans ce cas, on obtiendrait la formule simplifiée et théorique, indépendante de la densité du réseau de mesure :

$$KX = [1 + ln\,(1 + S)]\,.\,[0.03 + 0.026\,lnT + 0.32\,e^{-\frac{t}{20}}]$$

Conclusion

On propose donc un outil simple pour permettre à l'hydrologue de faire des calculs de prédétermination de pluie ponctuelle maximale dans une zone déterminée.

Cette formule peut donc servir à estimer des risques susceptibles d'intervenir dans un territoire donné : érosion hydrique dans une petite région agricole, débordement local d'un réseau d'assainissement urbain, etc.

Il reste à étendre son domaine de validité et en particulier à l'adapter à d'autres climats que celui du bassin parisien.

Il reste aussi à utiliser cette notion dans les méthodologies opérationnelles de lutte contre les érosions ou de dimensionnement des réseaux d'assainissement et de leurs bassins d'orage.

Discussion

Président : M. J. JACQUET

Le Président. – Je remercie M. MICHEL et demande s'il y a des commentaires à faire ou des questions à lui poser ?

Un Participant. – Comment peut-on être sûr d'avoir mis assez de pluviographes pour avoir mesuré la pluie maximum sur une surface ? Pourquoi affirmez-vous à la fin que vous nous affranchissez du nombre de pluviographes ?

M. MICHEL. – Il faut retourner à la formule. La forme analytique utilisée tient compte des variations du nombre de pluviographes et permet de faire tendre cette variable vers l'infini. La formule peut donc donner une idée de ce qu'on observerait avec un nombre infini de pluviographes. C'est très approché mais il n'y a guère d'autres façons de procéder. Mais la formule a bien été calée sur des valeurs de N_p qui étaient des valeurs observées.

Le Président. – Le problème du calcul de l'intensité maximale des averses se retrouve à propos du dimensionnement des réseaux d'assainissement et suscitera certainement encore beaucoup de discussions. A ce sujet, j'ai été intéressé par un récent travail de M. BEDIOT présentant un tracé d'isohyètes d'averse obtenues à partir d'un réseau de pluviographes assez dense dans la région parisienne. A l'intérieur de la zone couverte par l'averse, un certain nombre de collecteurs ont été mis en charge et les isohyètes tracées ne rendaient pas du tout compte des épicentres de l'averse ayant provoqué ces mises en charge. c'est pourquoi je me permets de provoquer un peu M. BEDIOT en lui demandant son point de vue sur l'analyse des données pluviométriques du bassin de l'Orgeval qui vient d'être présentée.

M. BEDIOT. – J'ai été frappé par ce que j'ai vu au radar de Dammartin en Goële. Il s'agit d'une animation d'images radar sur l'ouest de la région parisienne, en octobre, pour une perturbation classique et aux environs du point triple (fronts froid, chaud et occlus). Toutes les cinq minutes, on voyait les noyaux de pluie se faire et se défaire. Finalement, on croit que les champs pluviométriques sont peu variables et là, on voyait des variations entre 0 et 25 – 30 mm, vérifiées sur le terrain. Au passage on peut se demander comment a réagi la personne chargée de la critique des données pluviométriques.

Il y a aussi les enregistrements pluviographiques d'un réseau dense mais limité au seul département de la Seine Saint-Denis. L'examen de l'averse du 13 juillet 1980 qu'on aurait pu croire homogène révèle des différences de 7 à 49 mm et dans le désordre ! Aussi en traçant les isohyètes par une interpolation quelconque, linéaire ou autre, on rate des évènements qui perturbent la vie de la collectivité ; d'où le rôle important du radar, même si on ne sait pas passer des décibels enregistrés au nombre de millimètres recueillis au sol. C'est d'ailleurs un problème général à la télédétection où nos méthodes en sont encore à la préhistoire.

Le Président. – Merci M. BEDIOT. Je pense effectivement que l'utilisation des données radar – et le Bassin de l'Orgeval est couvert par le radar de Dammartin – pourrait donner des indications intéressantes permettant de compléter l'analyse présentée ici pour un certain nombre de configurations d'averses.

A partir du moment où l'on considère des pluies très localisées, en particulier pour le dimensionnement de réseaux d'assainissement, il importe de tirer tout le parti possible des informations fournies par des radars si de telles données sont disponibles sur la zone considérée.

A ce sujet il est vain d'opposer pluiviographe et radar : l'un ne remplacera jamais l'autre et leurs informations combinées permettent une appréciation plus juste des phénomènes, surtout pour les phénomènes à petite échelle d'espace qui resteront toujours en dehors des possibilités de calcul des modèles dont on a parlé tout à l'heure.

Il me reste à féliciter M. MICHEL et ses collaborateurs pour leur travail : avec 15 ou même 18 années d'informations de qualité bien archivées, le Bassin de l'Orgeval constitue une banque de données d'un grand intérêt pour l'hydrologie de la région parisienne.

Abstract

Quantitative analysis of the phenomenon of maximum spot rainfall over an orea – Epicentric coefficient of showers from 1 h to 24 h

The problem of estimating extraordinary rainfall usually arises in connection with a given location.

In practice, meterorologists are very often confronted with the problem of estimating heavy rainfall, not in a given place, but over a whole section of space. For these practitioners, the problem is posed in the following terms :

What is the probability of rainfall exceeding R over a zone within a region of Area A ?

Consider a region whose area is S covered by p rainfall recorders (thus defining p sub-zones of average area S/p). Assume that rain for t hours follows the same statistical law at all points of the region. The investigation covers the maximum rainfall recorded by the p rainfall recorders for each time interval t. The problem consists of assessing the theoretical distribution of this rain. Denote by PL (T) local rainfall over a return period of T years and by PX (T) maximum rainfall (recorded on the p rainfall recorders) with the same return period. The coefficient (KX) is the ratio of the two quantiles.

$$KX(T) = \frac{PX(T)}{PL(T)}$$

Knowledge of KX(T) thus provides an estimate of PX(T) when local rainfall by site is known.

A priori, KX(T) depends on the four variables listed below :

- area S of the region under study (km^2) ;
- the number of rainfall recorders (or sub-zones) : p ;
- the duration of rainy spells to (hours) ;
- the return period T (years).

We have proposed the following analytical expression for KX, taking account of limit conditions, based on rainfall data portraying the Orgeval area.

$$KX = 1 + \left[\ln \frac{(S+1)}{\frac{S+1}{P}} \right] \left[0.03 + 0.26 \ln T + 0{,}32\, e^{-t/20} \right]$$

This formula has been drawn up within the following limits :

$7 \leqslant S \leqslant 104$ (km^2)
$0.2 \leqslant T \leqslant 10$ (year)
$2 \leqslant t \leqslant 24$ (hour)
$5 \leqslant p \leqslant 21$

Climatic conditions of the Paris basin

The formula can reasonably be extrapolated beyond these limits, expecially for p. when the functions used make it possible to have p tend to infinity.

The formula can be used to assess likely risks in a given small region : hydrical erosion in a sensitive agricultural zone, local overflow of a city sewage system, etc.