

PREDETERMINATION OF FLOODS IN SMALL SAHELIAN BASINS UNDER 10 km<sup>2</sup>

P. Ribstein, ORSTOM  
J. A. Rodier, ORSTOM

ORSTOM, Laboratoire d'hydrologie,  
BP 5045, 34032 Montpellier cedex

ABSTRACT

Practical rules have been developed for the peak discharge estimation of the 10 years flood on ungauged basins under 10 km<sup>2</sup>. This work was carried out using the data of 29 Sahelian representative catchments.

Problems of flood estimation in Sahel are presented and original aspects of the established procedure are pointed out:

- the estimation of the hydrological characteristics of the 10 years flood, using the observed data: the runoff coefficient and the unit hydrograph parameters.
- the use of fictitious basin concept for the survey of the whole variation field of the hydrograph characteristics in relation with four main factors: area, 10 years rainfall depth, slope and infiltrability.
- the capability for the method to be used jointly with a questionnaire to take into account possible extreme values of other runoff factors, the influence of which may be significant.

La prédétermination des crues sur des petits bassins sahéliens inférieurs à 10 km<sup>2</sup>.

Ribstein, P., ORSTOM  
Rodier, J.A.  
ORSTOM  
Laboratoire d'hydrologie  
BP 5045  
34032 Montpellier cedex

RESUME

A partir des données de 29 bassins représentatifs, les auteurs ont mis au point des règles pratiques pour l'estimation du débit maximum d'une crue de fréquence décennale sur des bassins non jaugés de moins de 10 km<sup>2</sup>.

Après un rappel des problèmes liés à la prédétermination de crue au Sahel, cet article souligne les points originaux de la méthode proposée :

- le calcul des caractéristiques hydrologiques des bassins observés : coefficient de ruissellement, paramètres de l'hydrogramme type ;
- l'utilisation du concept de bassins fictifs pour étudier l'ensemble des variations possibles des facteurs explicatifs de la crue prédéterminée ;
- l'élaboration d'un questionnaire pour tenir compte de valeurs extrêmes de certains facteurs non pris en compte dans la méthode proposée.

INTRODUCTION

De nombreux projets d'aménagements nécessitent le dimensionnement d'ouvrages sur des petits bassins versants : franchissement de route, aménagement hydro-agricole,.... Or, les observations hydrologiques de petits bassins sahéliens sont délicates et coûteuses par suite de problèmes tels que la forte variabilité des événements climatiques, ou les difficultés d'accès.

Cette constatation a conduit les hydrologues de l'ORSTOM à développer les études par bassin représentatif au Sahel. De 1951 à nos jours, un nombre restreint de bassins sahéliens (une centaine de bassins de superficie inférieure à 100 km<sup>2</sup>), bien choisis, a donc été étudié avec beaucoup de précision et sur des durées courtes (moins de trois années d'observations en moyenne).

O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire

N° : 39698

Cote : B

† 13 JUIN 1994

81371

Dès 1962, Auvray a proposé une méthode de calcul d'une crue décennale sur des petits bassins versants d'Afrique de l'Ouest. Cette méthode précisée et généralisée (Rodier et Auvray, 1965) est encore très utilisée au Sahel. Plus récemment, le CIEH a proposé une méthode de prédétermination (Puech et Chabi-Gonni, 1984) qui utilise les régressions multiples pour sélectionner les facteurs explicatifs du débit de crue décennale.

Le présent article est issu d'un document (Rodier et Ribstein, 1988) qui actualise la note de 1965 pour les petits bassins inférieurs à 10 km<sup>2</sup> pour lesquels cette note était très imprécise.

Les observations de 29 bassins représentatifs ont été dépouillées avec une même méthode, le plus rigoureusement possible (Rodier, 1986). A partir des plus forts événements observés, les auteurs déduisent les caractéristiques de la fonction de production (coefficient de ruissellement) et de la fonction de transfert (temps de montée, temps de base, coefficient de pointe qui est le rapport entre le débit de pointe et le débit moyen).

Les résultats obtenus sur les bassins observés sont régionalisés à partir de quatre facteurs principaux : la superficie, la perméabilité globale, la pente globale et la hauteur de pluie décennale.

Les temps de montée de ces bassins sont trop faibles pour appliquer directement la théorie de l'hydrogramme unitaire en considérant une averse unitaire. Il a donc fallu calculer des hydrogrammes composés à partir de formes types de pluies et des caractéristiques de la fonction de transfert. Ce travail a été fait sur des bassins fictifs plutôt que sur les bassins observés pour pouvoir prendre en compte l'ensemble des variations possibles des facteurs explicatifs.

Outre les facteurs principaux, certaines particularités des bassins peuvent avoir une influence sur les paramètres de crues ; c'est le cas de la forme du bassin par exemple. Cette constatation a motivé l'élaboration d'un questionnaire ou check-list des points délicats à examiner avant d'appliquer une méthode de prédétermination de crues sur un bassin non jaugé.

#### PREDETERMINATION DE CRUES AU SAHEL : PROBLEMES ET METHODES

Le choix de la fréquence décennale peut étonner. Mais, à partir de trois années de mesures hydrologiques, il est hasardeux de vouloir prédéterminer des crues de fréquence trop rare. De plus les coûts modérés des ouvrages projetés sur les petits bassins sahéliens conduisent souvent les hydrologues à adopter la fréquence décennale pour la crue à prédéterminer.

Du fait des observations disponibles, c'est un modèle global qui a été appliqué. En effet, sur certains bassins observés, l'information est faible sur la variabilité spatiale de paramètres importants (pluie, perméabilité, humidité initiale). Or, la fiabilité d'une méthode de prédétermination est directement fonction du nombre de bassins qui a servi à la mettre au point. C'est pourquoi les auteurs ont préféré utiliser toute l'information disponible avec une méthodologie globale.

Actuellement, parmi les modèles globaux, seuls les modèles utilisant la théorie de l'hydrogramme unitaire permettent de reconstituer des crues et d'estimer des débits de pointe. Classiquement, ces modèles se décomposent en deux fonctions : la fonction de production permet d'estimer la pluie nette qui est la partie de la pluie brute qui arrive par ruissellement superficiel à l'exutoire du bassin et la fonction de transfert transforme cette pluie nette en débit.

La méthode de 1965 se base sur la constatation suivante : les séries hydrométriques obtenues sur des petits bassins sahéliens sont courtes alors que les séries pluviométriques sont suffisamment longues (souvent plus de cinquante ans) pour estimer d'une manière fiable la pluie journalière de hauteur décennale.

Cette constatation justifie la notion de crue décennale (présentée en 1965 et adoptée dans le présent travail) qui peut se définir comme suit : la crue décennale est la crue issue d'une pluie journalière de hauteur décennale, toutes les autres caractéristiques étant voisines des caractéristiques les plus fréquentes observées pour les fortes averses (répartition spatio-temporelle des intensités de pluie, état initial d'humidité du sol, ...).

En appliquant cette définition, la méthode de 1965 déduit le débit de pointe de la crue décennale par l'équation suivante :

$$Q_{10} = K.P_{10}.KR_{10}.S.a/T_b \quad (1)$$

avec  $Q_{10}$ , débit de pointe de la crue décennale,  $K$ , coefficient d'abattement,  $P_{10}$ , pluie journalière ponctuelle de fréquence décennale,  $KR_{10}$ , coefficient de ruissellement décennal,  $S$ , superficie du bassin,  $a$ , coefficient de pointe ( $a=Q_{10}/Q_{moy}$ ),  $Q_{moy}$  étant le débit moyen pendant le temps de base  $T_b$ . Le coefficient d'abattement  $K$  correspond au passage de la pluie ponctuelle à la lame moyenne précipitée sur le bassin.

L'équation 1 provient de l'hypothèse suivante : la durée de la pluie  $P_{10}$  est suffisamment faible par rapport au temps de montée des crues pour considérer l'averse comme unitaire et appliquer le principe de linéarité de la fonction de transfert tel qu'il est défini dans la théorie de l'hydrogramme unitaire.

Sur les bassins observés,  $KR_{10}$ ,  $a$  et  $T_b$  sont déduits des plus fortes crues mesurées. Le temps de montée  $T_m$  est aussi déduit pour compléter les caractéristiques de cette crue décennale. Les valeurs de crue décennale ainsi prédéterminées sur les bassins observés ont été publiées avec les données dans un recueil des bassins représentatifs étudiés par l'ORSTOM (Dubreuil et al., 1972).

Il faut ensuite régionaliser ces résultats pour pouvoir estimer les valeurs sur des bassins non jaugés. Dans la note de Rodier et Auvray (1965), les valeurs estimées sur les bassins versants observés ( $KR_{10}$ ,  $a$   $T_m$  et  $T_b$ ) sont portées sur des abaques en fonction de la superficie, d'un indice global de pente et d'une perméabilité moyenne du bassin.

Puech et Chabi-Gonni (1984) sont partis des débits décennaux estimés par l'équation 1 et publiés par Dubreuil et al. (1972). Il ont sélectionné les facteurs explicatifs de ce débit décennal par la méthode des régressions multiples. Les facteurs sélectionnés sont la superficie, la hauteur de la pluie décennale, l'indice de pente et le coefficient de ruissellement.

Pour les petits bassins de superficie inférieure à 10 km<sup>2</sup>, les méthodes de 1965 et 1984 sont peu fiables pour plusieurs raisons :

- \* le nombre de bassins observés dans cette gamme de superficie est faible. Certains bassins étudiés plus récemment (ceux de la Mare d'Oursi par exemple publiés par Chevallier et al. en 1985) permettent d'actualiser ces méthodes.
- \* les valeurs KR10,  $\alpha$  et Tb (et Q10 qui en résulte) n'ont pas été déduites avec la même rigueur pour tous les bassins observés.
- \* le classement des bassins observés dans des catégories de pente et de perméabilité n'a pas été fait avec tout le soin requis.
- \* l'équation 1 ne peut s'appliquer directement aux très petits bassins car l'hypothèse sur la durée de l'averse n'est plus respectée. En effet les temps de montée de ces bassins sont souvent inférieurs à trente minutes alors que la durée du corps de la pluie décennale peut être raisonnablement estimée à un peu moins de une heure.
- \* certains bassins observés présentent des particularités, forme du bassin ou nature du réseau hydrographique par exemple, qui sont difficiles à quantifier, qui ne sont pas prises en compte dans les méthodes mais qui ont une influence certaine sur la forme des crues. Ces particularités créent une dispersion dans les abaques de la note de 1965 et dans les régressions de la note de 1984.

Les différentes raisons invoquées ci-dessus expliquent la nécessité d'une actualisation des méthodes de prédétermination pour les très petits bassins. L'originalité de la démarche adoptée est présentée dans les paragraphes suivants.

### LES CARACTERISTIQUES HYDROLOGIQUES DES BASSINS OBSERVES

Cette partie du travail a été publiée par Rodier en 1986. La méthodologie d'étude s'inspire de la note de 1965 et s'appuie sur les données de 29 bassins observés de superficie comprise entre 0.1 et 20 km<sup>2</sup>.

### L'ESTIMATION DES PARAMETRES

Les paramètres hydrologiques à déduire des bassins observés sont donc : coefficient de ruissellement, coefficient de pointe  $\alpha$ , temps de base Tb et temps de montée Tm. Pour les trois derniers paramètres il s'agit de choisir les valeurs à adopter pour la fonction de transfert.

Pour se rapprocher de crues "unitaires", on a sélectionné les événements importants mais avec une faible durée du corps d'averse c'est à dire de la partie de la pluie à forte intensité.

Les temps de montée choisis correspondent aux plus faibles valeurs observées après élimination des événements pour lesquels tout le bassin ne ruisselle pas.

La théorie de l'hydrogramme unitaire ne s'applique qu'au ruissellement superficiel. En conséquence, le calcul du temps de base Tb et du coefficient de ruissellement nécessite au préalable la séparation entre les différentes formes d'écoulement.

L'écoulement souterrain n'existe pratiquement pas au Sahel mais il y a un écoulement retardé, provenant de divers processus, qui rallonge d'une manière importante les temps de base. La séparation s'est faite à partir de la première cassure en coordonnées semi-logarithmiques mais en majorant de 20% les valeurs trouvées de Tb pour diminuer les valeurs de l'écoulement intermédiaire qui, sans cette majoration, étaient trop fortes.

Il ne s'agit pas de choisir un mode de séparation qui corresponde parfaitement à des considérations physiques mais il faut utiliser des règles simples qui soient les mêmes sur tous les bassins. Il faut noter à ce sujet qu'il est important de ne pas prendre en compte le ruissellement de la traîne dans le temps de base de l'hydrogramme unitaire.

Dans la note de 1965, c'est le coefficient de ruissellement décennal qui est estimé. Pour améliorer la méthode de prédétermination, nous avons préféré estimer Kr (Kr70 et Kr100) pour deux pluies de 70 et de 100 mm. Par ce moyen, on élimine une cause de dispersion dans les courbes de 1965 donnant Kr en fonction de la superficie. De plus, ces coefficients de ruissellement ont été calculés à partir de la lame précipitée moyenne sur le bassin obtenue avec un coefficient d'abattement donné par la formule de Guillaume (1974).

Les pluies de 70 et 100 mm ont des caractéristiques cohérentes avec les observations faites sur les fortes pluies sahéliennes : corps d'averse de 75 à 80% de la hauteur totale avec des intensités dépassant 20 mm/h, une partie préliminaire et une traîne à faible intensité, l'ensemble ne formant qu'une averse unique à une seule pointe de 120 mm/h en 5 minutes d'intensité maximale survenant 48 heures après une averse de 20 à 30 mm.

Pour la majorité des bassins étudiés, ces estimations de Kr ont été obtenues par extrapolation des courbes pluie moyenne-lame ruisselée. Dans tous les cas, ces valeurs Kr70 et Kr100 ont été estimées après une étude très précise des plus forts événements observés.

Le coefficient de pointe  $\alpha$  est le rapport entre le débit maximum et le débit moyen de ruissellement pendant le temps de base. Pour chaque bassin, une valeur de  $\alpha$  a été adoptée à partir des valeurs calculées pour toutes les fortes crues. Sur 27 valeurs adoptées, 17 sont comprises entre 2.2 et 2.7, 5 entre 2 et 2.2 et 5 entre 2.7 et 3.6. Il est possible d'adopter pour  $\alpha$  une valeur de 2.5, constante pour tous les bassins.

## LA REGIONALISATION DES RESULTATS

Les résultats obtenus ( $K_r$ ,  $T_b$  et  $T_m$ ) sont ensuite reportés sur des abaques en fonction des caractéristiques des bassins : superficie, indice de pente globale et perméabilité moyenne.

L'indice de pente est calculé à partir de la dénivellation totale du bassin (après élimination des altitudes extrêmes) divisée par la longueur du rectangle équivalent. Cet indice de pente longitudinale est éventuellement corrigé ( $I_{gcor}$ ) pour tenir compte de fortes pentes transversales. Les courbes ont été tracées pour des valeurs données de  $I_g$  (m/km) :  $I_g=60$ ,  $I_g=25$ ,  $I_g=15$ ,  $I_g=7$ .

Pour la perméabilité globale du bassin, 3 classes ont été choisies : Imperméable (Imp), Relativement Imperméable (Rimp), Perméable (P). Cette classification grossière devrait être améliorée par le répertoire des aptitudes au ruissellement publié récemment (Casenave et Valentin, 1988) et mis au point à partir d'un minisimulateur de pluie opérationnel.

Les courbes représentant le coefficient de ruissellement en fonction de la superficie, de l'indice de pente et de la perméabilité ont été tracées pour trois averses différentes, pluie décennale, pluie de 70 mm et pluie de 100 mm. La courbe de  $K_r$  pour la pluie de 100 mm est donnée figure 1.

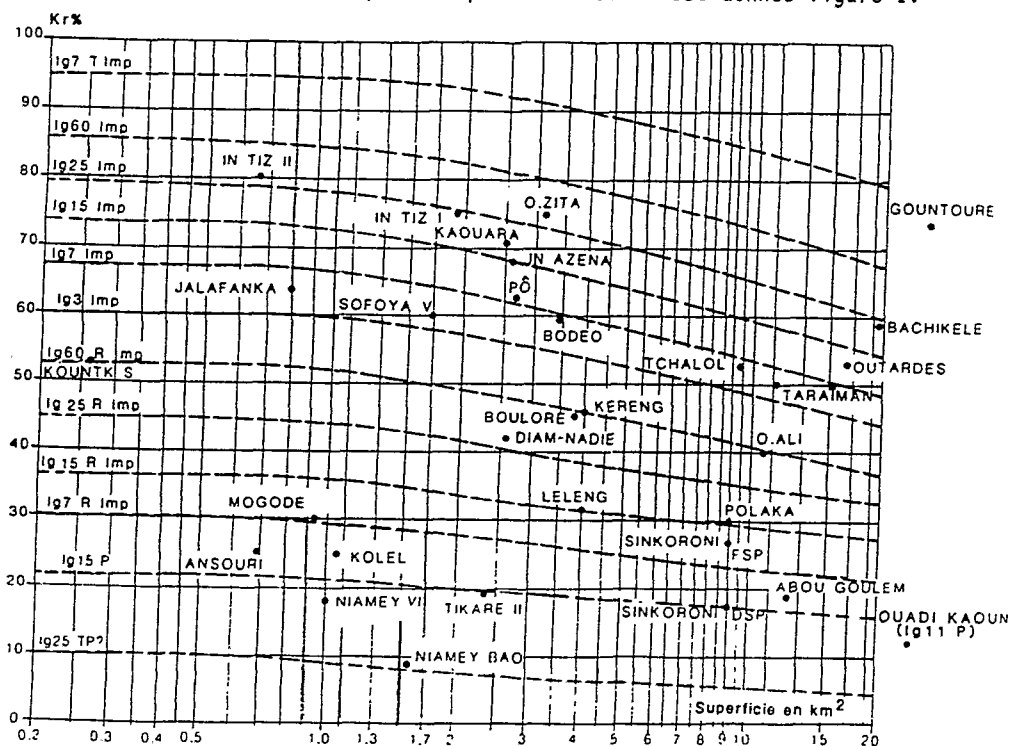


Figure 1. Coefficient de ruissellement pour une pluie de 100 mm.

Les courbes de temps de montée et de temps de base ont été tracées en fonction de la superficie et de l'indice de pente globale. Ces courbes ont été ajustées sur l'expression suivante :

$$T_m \text{ ou } T_b = a(S-S_0)^n + b \quad (2)$$

avec  $n$  proche de 0.5 ;  $a$ ,  $b$  et  $S_0$  ajustés pour un indice de pente donné.

Physiquement, on peut interpréter cette équation en considérant le premier terme comme le ruissellement dans le réseau hydrographique et le second comme le ruissellement superficiel avant l'arrivée au premier ruisseau d'ordre 1.

## LES CARACTERISTIQUES DE LA CRUE DECENNALE

Comme cela a été signalé précédemment, il n'est pas possible de considérer que la pluie décennale est unitaire. Il faut donc composer les hydrogrammes unitaires dont les caractéristiques ont été estimées sur les bassins observés avec une pluie de projet à définir.

Le travail de composition des hydrogrammes unitaires s'est fait sur des bassins fictifs définis par les différentes caractéristiques suivantes : superficie, perméabilité, pente et hauteur de pluie. Cette notion de bassins fictifs a permis d'étudier séparément l'influence de chacune de ces caractéristiques tout en s'affranchissant des particularités des bassins observés. En effet, il est nécessaire de supprimer l'influence des facteurs "secondaires" que l'on ne sait pas quantifier mais qui perturbent les résultats issus des bassins observés.

Les hyétogrammes des pluies de projet 70 et 100 mm ont été déduits des études des longues séries pluviographiques de Niamey et Ouagadougou faites à l'occasion de rapports sur le ruissellement urbain de ces villes (Le Barbe, 1982 ; Bouvier, 1985). Ces études ont fourni les données suivantes : rapport entre hauteur du corps et hauteur totale de l'averse, durée du corps, position médiane du maximum d'intensité et intensité correspondant à ce maximum, forme générale du corps.

La difficulté d'une étude par bassin fictif tient surtout à l'estimation des variations du coefficient de ruissellement en fonction du temps. Le coefficient de ruissellement global est fourni par les abaques (exemple de la figure 1). Cette valeur globale a été modulée dans le temps en respectant les valeurs obtenues pour des crues des bassins observés. Pour une tranche de 5 minutes du hyétogramme, le maximum du coefficient de ruissellement peut dépasser 100% (jusqu'à 115%) par suite de la différence entre pluie au sol et pluie dans le pluviomètre Association à 1 mètre du sol.

Pour l'hydrogramme unitaire, on connaît les temps de montée et de base (équation 2) pour un bassin fictif caractérisé par une superficie, une pente et une perméabilité. On adopte un coefficient de pointe  $a$  de 2.5. La montée est supposée linéaire jusqu'au maximum de crue et la décrue commence par un segment de droite coupant l'axe des abscisses aux deux tiers du temps de base. Cette droite se raccorde progressivement par une courbe tangente à l'axe des abscisses.

Pour un bassin fictif donné, on peut ainsi composer la pluie brute transformée en hyétogramme de pluie nette par les variations du coefficient de ruissellement, avec la fonction de transfert ainsi définie.

Ces calculs par bassins fictifs permettent d'obtenir des relations linéaires, variables avec la pente et la perméabilité, qui donnent le temps de montée et le temps de base de la crue décennale en fonction de la surface. Ces temps se rapprochent des temps obtenus pour l'hydrogramme unitaire lorsque le bassin a une faible pente et une superficie proche de 10 km<sup>2</sup>.

Cette étude a aussi mis en évidence une cassure nette aux alentours d'une pente de 15 m/km, dans la courbe entre le temps de base de la crue décennale et l'indice de pente. Enfin l'étude des coefficients de pointe des hydrogrammes composés montre une faible variabilité de  $\alpha$  autour de la valeur 2.6. Cette valeur est légèrement supérieure à la valeur 2.5 adoptée pour le coefficient de pointe de l'hydrogramme unitaire.

### LE QUESTIONNAIRE DES POINTS DELICATS A EXAMINER

Le traitement des données des bassins observés a montré l'importance de certaines particularités des bassins sur la forme des crues. Dans la prédétermination de la crue décennale sur un bassin non jaugé, ne pas prendre en compte ces particularités, c'est risquer une erreur grave sur les valeurs estimées.

Pour aider l'ingénieur responsable d'un projet hydrologique au Sahel, une ébauche de questionnaire est proposée avec la méthode de prédétermination dans la note complète (Rodier et Ribstein, 1988). Dans ce questionnaire, les bassins sont classifiés suivant trois facteurs principaux : type d'averse dominant, superficie et caractère plus ou moins dégradé du réseau hydrographique.

Le type d'averse permet de mettre l'accent sur la bande littorale de la Mauritanie et du Sénégal où les averses présentent un corps de durée beaucoup plus longue et des intensités maximales plus faibles qu'à l'intérieur du continent.

La superficie  $S$  du bassin à étudier oriente sur la méthode de prédétermination à choisir. Si la superficie est inférieure à 12 km<sup>2</sup>, on choisit la méthode proposée dans cet article ; si la superficie est comprise entre 12 et 120 km<sup>2</sup>, c'est la note de Rodier et Auvray (1965) que nous proposons d'utiliser ; pour des superficies plus grandes, seule la méthode du CIEH (Puech et Chabi-Gonni, 1984) est utilisable.

Enfin le classement suivant la dégradation hydrographique permet de spécifier si le bassin présente une particularité concernant sa forme, le réseau hydrographique, la pente, la répartition des surfaces perméables ou imperméables, la nature de la dégradation hydrographique, la végétation, les cultures et enfin les aménagements. On peut illustrer l'intérêt du questionnaire par l'exemple des crues de Polaka (Burkina Faso). Ce bassin présente une grande hétérogénéité des perméabilités qui explique un fort coefficient de pointe (figure 2) ; dans un tel cas, il est possible de considérer un bassin réduit à la zone la plus imperméable.

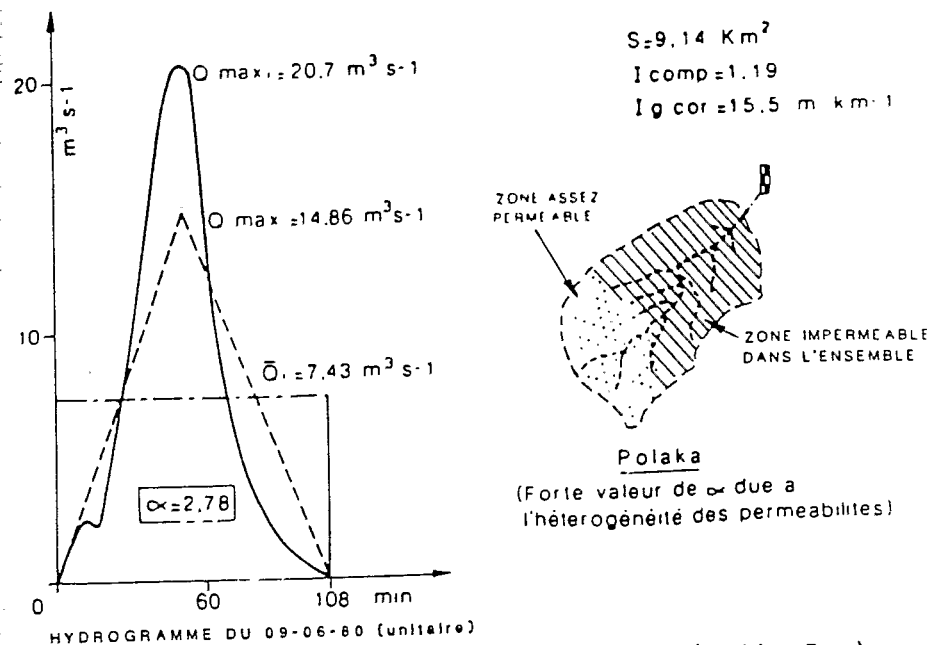


Figure 2. Forme des hydrogrammes du bassin de Polaka (Burkina Faso).

### LA PREDETERMINATION SUR UN BASSIN NON JAUGE

Après ces quelques considérations sur l'élaboration de la méthode, nous pouvons présenter succinctement les étapes à suivre dans l'application de cette méthode à un bassin non jaugé :

- \* examen des caractéristiques physiques et de la couverture végétale à partir de cartes, de photographies aériennes et d'une visite du terrain. Cet examen permettra en particulier de classer le bassin dans une catégorie de perméabilité et de calculer l'indice de pente globale. L'utilisation du questionnaire peut conduire à modifier les caractéristiques ainsi définies ;
- \* évaluation de la précipitation décennale ponctuelle à partir des cartes fournies par le CIEH et correction par le coefficient d'abattement de Vuillaume (1974) pour obtenir la lame précipitée moyenne sur le bassin ;
- \* estimation du coefficient de ruissellement décennal avec les abaques donnant  $K_r$  en fonction de la superficie, de l'indice de pente, de la perméabilité et de la pluie décennale ponctuelle. Il est possible d'effectuer des interpolations sur ces abaques pour obtenir la valeur de  $K_r$  correspondant exactement aux caractéristiques du bassin ;
- \* estimation des temps de base et de montée de l'hydrogramme décennal à partir des abaques déduits des calculs sur les hydrogrammes composés. Le coefficient de pointe est égal à 2.6 sauf indication contraire du questionnaire. L'équation 1 permet le calcul du débit maximum décennal de ruissellement auquel il faut ajouter 3 à 6% d'écoulement retardé.

## CONCLUSION

La précision à attendre du débit décennal ainsi estimé est de l'ordre de 20%, mais cette méthode permet surtout d'éviter les erreurs de plus de 100% qui sont possibles avec les autres méthodes.

Une étude de sensibilité de la méthode montre qu'une erreur de un indice sur la perméabilité conduit à une différence de 200% sur le débit de pointe estimé. L'amélioration envisagée consiste donc à remplacer cette indice de perméabilité assez subjectif par un paramètre plus facile à quantifier qui pourrait découler du catalogue des états de surface au Sahel (Casenave et Valentin, 1988).

Cette étude aura enfin permis de mieux comprendre les mécanismes à l'origine des fortes crues et d'élaborer une méthode qui est en grande partie applicable à des bassins plus grands.

## REFERENCES

- Auvray, C. (1962). Estimation de débits de crues en régimes tropicaux. CIEH, Conférence de Monrovia.
- Bouvier, C. (1985). Etude du ruissellement urbain à Niamey. Rapport général. Tome 3 : Interprétation des données. CIEH, ORSTOM, Niamey.
- Casenave, A. et Valentin, C. (1988). Les états de surface de la zone sahélienne. Influence sur l'infiltration. Communauté Economique Européenne, ORSTOM.
- Chevallier, P., Claude, J., Pouyaud, B. et Bernard, A. (1985). Pluies et crues au Sahel. Hydrologie de la Mare d'Oursi (1976-1981). Trav. et Doc., 190, ed. ORSTOM, Paris.
- Dubreuil, P., Chaperon, P., Guiscafne, J. et Herbaud, J. (1972). Recueil des données de base des bassins représentatifs et expérimentaux. Années 1951-1969. ed. ORSTOM, Paris.
- Le Barbe, L. (1982). Etude du ruissellement urbain à Ouagadougou. Essai d'interprétation théorique. Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., XIX, 3, 135-204.
- Puech, C. et Chabi-Gonni, D. (1984). Méthode de calcul des débits de crue décennale pour les petits et moyens bassins versants d'Afrique de l'Ouest et Centrale. CIEH, Ouagadougou.
- Rodier, J.A. (1986). Caractéristiques des crues des petits bassins versants représentatifs au Sahel. Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., XXI, 2,3-25 +annexes.
- Rodier, J.A. et Auvray, C. (1965). Estimation des débits de crues décennales pour les bassins versants de superficie inférieure à 200 km<sup>2</sup> en Afrique Occidentale. CIEH, ORSTOM, Paris. (translated in english by Herridge, W.E. (1965). CIEH, Ouagadougou).
- Rodier, J.A. et Ribstein, P. (1988). Estimation des caractéristiques de la crue décennale pour les bassins versants du Sahel couvrant de 1 à 10 km<sup>2</sup>. ORSTOM, Montpellier.
- Vuillaume, G. (1974). L'abattement des précipitations journalières en Afrique intertropicale. Variabilité et précision de calcul. Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., XI, 3, 205-240.