

BOUVIER C.
ORSTOM, France

Modélisation de la relation pluie-débit maximum en milieu urbain tropical

Rain peak flow model in urban tropical environment

Modelo pluvia caudal máximo en zona urbana tropical

Après avoir précisé les caractéristiques hydrologiques des bassins expérimentaux étudiés en milieu urbain tropical, l'auteur décrit une modélisation de la relation pluie-débit maximum qui tient compte de ces caractéristiques.

After a description of the hydrological characteristics of experimental catchments studied in tropical urban environment, the author uses a rain-peakflow model that takes these characteristics into account .

Después de focalizar las características hidrológicas de las cuencas experimentales estudiadas en zonas urbanas tropicales, el autor hace una descripción de un modelo pluvia-caudal máximo lo cual toma en cuenta esas características.

1. Spécificités du milieu urbain tropical et conséquences sur la modélisation de la relation pluie-débit

1.1. Urbanisme des bassins étudiés

Parmi les aspects divers que présente l'urbanisation africaine, les quartiers d'habitations de type traditionnel sont les plus répandus et paradoxalement ceux dont le comportement hydrologique est le moins connu. Ce type d'habitat est constitué par des maisons de petite taille, en dur ou en banco, et couvertes de tôle ondulée; un réseau de rues non goudronnées, à l'exception des axes principaux quadrille le bassin. L'écoulement en provenance des toitures se déverse dans

les cours de concessions ou dans les rues avoisinantes.

De façon générale, les surfaces imperméables ne sont pas reliées directement au réseau.

Le tableau 1 indique les répartitions des surfaces perméables et imperméables des 4 bassins expérimentaux dont nous avons analysé les mesures :

- Bassin St Julien à Ouagadougou 1977 à 1979
- BV1, BV2, BV3 à Niamey de 1978 à 1980

1.2. Hydrologie des bassins

A Niamey comme à Ouagadougou, les averses sont simples, à une seule pointe se produisant généralement peu après le début de la pluie. Pour les sols de ces bassins tassés en

Tableau 1

	Surfaces imperméables			Surfaces perméables		Habitat Traditionnel
	C1 (%)	C2 (%)	C=C1+C2 (%)	C3 (%)	C4 (%)	(%)
St Julien	2	8	10	20	79	100
EV1	7	20	27	50	23	85
EV2	7	24	31	64	5	95
EV3	3	18	21	40	39	69
Désignation	Rues Goudronnées	Toitures		Rues non goudronnées Cours des concessions	Grands espaces	

Avec C1 Surfaces imperméables directement reliées au réseau
 C2 Surfaces imperméables non reliées au réseau
 C3 Surfaces perméables recevant de l'eau en provenance des surfaces imperméables
 C4 Surfaces perméables ne recevant pas d'eau en provenance des surfaces imperméables

surface et dépourvus de végétation, nous avons choisi à priori une intensité de 5 mm/h pour définir la pluie efficace (ou pluie qui ruisselle) et séparer ainsi le corps et la traîne de l'averse.

Ces corps d'averse se caractérisent par :

- des durées courtes, inférieures à 30' dans 50% des cas.
- des intensités élevées, ce qui laisse prévoir que les surfaces perméables participeront aussi au ruissellement la plupart du temps.

Compte tenu de l'importante proportion de ces surfaces sur les bassins, et surtout de leur répartition (surfaces intermédiaires entre surfaces imperméables et réseau, i.e. C3), la nature du sol va donc influencer considérablement l'évaluation du débit de pointe de la crue.

1.3. Conséquences sur la modélisation

En ce qui concerne la transformation pluie brute-pluie nette (fonction de production du modèle), le rôle que jouent les surfaces perméables amène les remarques suivantes:

- la modélisation des pertes à l'écoulement ne se prête vraisemblablement pas aux hypothèses simplificatrices utilisées pour des bassins de type européen :

- . coefficient de ruissellement = coefficient d'imperméabilité (dans l'optique d'un bilan)
- . pertes initiales et pertes continues constantes ou proportionnelles à l'intensité de la pluie (dans l'optique d'une reconstitution dynamique de la pluie efficace);

- le bassin, ou du moins sa partie "active", ne peut pas être considéré comme une entité homogène. Il faut procéder à une analyse plus fine, donc plus complexe, en considérant séparément les différents types de surfaces; -enfin, suivant l'importance des pertes à l'écoulement, on peut être amené à prendre en compte l'état initial du bassin (humidité du sol, remplissage des flaques).

Au niveau de la transformation pluie nette-débit maximum (fonction de transfert du modèle), toutes les conditions sont réunies (pluies de courte durée, intensités rapidement variables, hétérogénéité du bassin) pour que la surface "active" du bassin, celle qui participe au débit de pointe, soit nettement inférieure à la surface "physique" du bassin, surface effectivement drainée. De ce fait, les hypothèses sur lesquelles reposent les formules classiques (rationnelle, superficielle) ne sont plus vérifiées.

2. Description de la modélisation pluie-débit maximum utilisée à Ouagadougou et à Niamey

2.1. Expression du débit spécifique maximum

Si on utilise la méthodologie de l'hydrogram-

me unitaire et si on suppose que les formes des hydrogrammes des pluies efficaces de même durée sont identiques, le débit spécifique QMSP peut s'écrire :

$$QMSP = LR.K(Tp) \quad \text{avec}$$

Tp durée de la pluie efficace

LR lame ruissellée

K fonction décroissante de Tp , caractéristique du bassin et du régime pluviométrique.

Le calcul du débit de pointe de la crue se ramène donc à la détermination de LR et de K .

2.2. Fonction de production du modèle

Après avoir distingué 4 zones homogènes sur le bassin (voir tab.1), le calcul de la lame ruissellée s'effectue par sommation des bilans volumétriques élémentaires (fig.1):

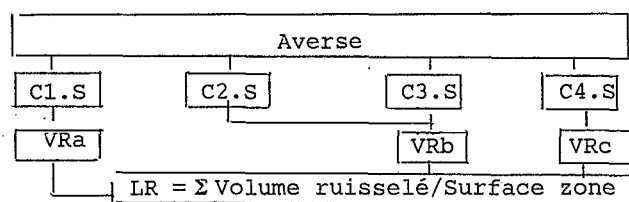


Figure 1

Dans ces bilans interviennent au niveau des pertes l'infiltration et le stockage superficiel (rétention sous forme de flaques) :

la lame infiltrée est représentée par un processus de Horton (3 paramètres) :

$$INF(Tp) = a/60.Tp + b(1-\exp(-cTp))$$

elle est reliée à l'intensité d'infiltration instantanée $INF(t)$ par la relation :

$$INF(Tp) = \int_0^{Tp} INF(t)dt + W \int_{Tp}^{Tp+Tc} INF(t)dt$$

avec Tc temps de concentration du bassin

W proportion moyenne de surface sur la-

quelle continue le ruissellement après la fin du corps de l'averse;

dans ces conditions, la hauteur de pluie efficace sur les surfaces perméables s'écrit :

$$R = Pc + W(P-Pc) - INF(Tp)$$

avec

Pc hauteur du corps d'averse

P hauteur totale de l'averse

en considérant que le stockage superficiel n'intervient que sur les surfaces $C4$, la lame stockée est représentée par une fonction de la pluie efficace R :

$$S(R) = \alpha R \quad \text{si} \quad R < R1$$

$$= \alpha R1 \quad \text{si} \quad R > R1$$

avec α = proportion de volume stocké

$R1$ = seuil de pluie efficace au-delà duquel le stockage est maximum. La valeur de ce seuil, qui dépend du remplissage initial des flaques, se déduit de $R0$ (valeur du seuil sur sol sec) et d'une fonction Ds du temps de ressuyage Ta entre les averses.

Finalement, on obtient quatre équations qui permettent de calculer la lame ruissellée suivant la valeur de la pluie efficace R .

C2

$$1) R < -P \quad LR = C1.P$$

C3

C2

$$2) -P < R < 0 \quad LR = C.P + C3.R$$

C3

$$3) 0 < R < R1 \quad LR = C.P + (1-C-(1-C-C3)\alpha)R \\ = C.P + B.R$$

$$4) R1 < R \quad LR = C.P + (1-C)R - (1-C-C3)\alpha R1 \\ = C.P + (1-C)R - (1-C-B).R1$$

L'objectif est donc de déterminer :

- la fonction $INFT(T_p)$
- les paramètres R_o , B et W
- la fonction $D_s(T_a)$

2.3. Fonction de transfert du modèle

Elle se résume à la fonction $K(T_p)$, qui par construction, dépend de la forme type du hyé-togramme de la pluie efficace de durée T_p et de l'hydrogramme instantané du bassin.

En l'absence de mesures hydrométriques, la connaissance de ces éléments repose respec-tivement sur une analyse statistique détaill-ée des formes de pluie et sur une évaluation de la vitesse de l'écoulement hors/dans le réseau, point de départ d'une reconstitution synthétique de l'hydrogramme instantané du bassin.

Signalons que l'interprétation de la fonction K fournit une estimation du temps de concen-tration du bassin (voir tableau 3).

2.4. Interprétation des résultats obtenus à Ouagadougou et à Niamey

2.4.a. Calage de la fonction de production

La reconstitution des lames ruisselées est assez satisfaisante, particulièrement pour le bassin St Julien de Ouagadougou (fig.2).

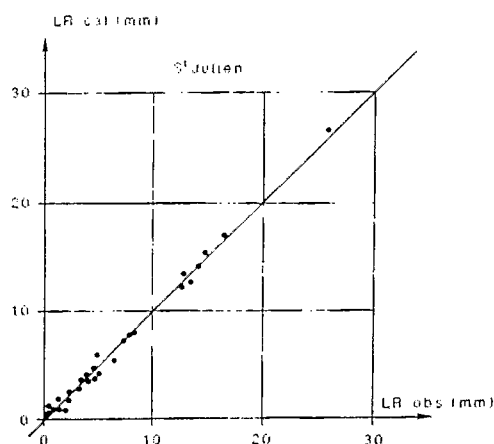


Fig.2 Comparaison LR observée_LR calculée

Ceci s'explique en partie par le fait que les sols argileux que l'on rencontre sur ce bas-sin sont très vite saturés en surface et mi-nimisent l'influence de l'état initial d'hu-midité du sol, dont nous n'avons pas tenu compte au niveau des mécanismes d'infiltra-tion .

Les valeurs déterminées pour les paramètres du modèle sont résumées dans le tableau 2:

	a	b	c	R_o mm	B %	W %	$D_s(T_a)$
StJ.	3,6	15	,029	12	45	75	$e(-,21ta)$
BV1	3,3	25,5	,028	50	20	80	$e(-,21ta)$
BV2	6,4	13,7	,030	50	42	80	$e(-,21ta)$
BV3	3,3	22,5	,028	50	20	80	$e(-,21ta)$

Tableau 2

Ces valeurs ont été obtenues par une méthode itérative dans laquelle les paramètres se dé-duisent les uns des autres. Nous nous sommes efforcés d'établir des comparaisons entre ces valeurs et les caractéristiques des bassins présentées dans le tableau 3 :

	Nature des sols	Pente (m/km)	Aire (ha)	T_c estimé (mn)
StJ.	Argiles	10,5	48,5	60
BV1	Sables	8	71	75
BV2	Sables	10	42	40
BV3	Sables	6,5	73	60

Tableau 3

- la comparaison des lames infiltrées n'est pas très explicite, puisqu'elle fait interve-nir le temps de concentration du bassin (voir

2.2). Nous avons vérifié qu'à Niamey, le choix d'une fonction d'infiltration instantanée INF identique pour les 3 bassins conduit aux valeurs de lames infiltrées du tableau 2. A Ouagadougou, cette fonction présente des valeurs nettement plus faibles. Ces résultats sont tout à fait conformes aux observations faites sur le terrain quant à la nature du sol. On voit l'intérêt qu'il y a donc à procéder à des mesures sous pluies simulées : la fonction d'infiltration instantanée pourrait constituer une référence en matière d'interprétation des paramètres a, b, c et W.

- la capacité de stockage serait beaucoup plus importante à Ouagadougou qu'à Niamey. Cette différence, qu'aucune caractéristique des bassins ne justifie a priori, nous a conduit à remettre en cause l'hypothèse consistant à admettre que le stockage superficiel pouvait être négligé sur les surfaces C3. Les travaux sont menés dans ce sens actuellement.

2.4.b. Calage de la fonction de transfert

Les mesures hydrométriques ont permis de tracer pour chaque bassin une courbe expérimentale représentative de la fonction K.

La dispersion des points (fig.3) n'est pas excessive et accrédite l'hypothèse initiale sur l'identité des formes des hyétogrammes des pluies efficaces de même durée.

A partir des estimations du temps de concentration des bassins et de la vitesse moyenne d'écoulement dans le réseau (2m/s), nous avons évalué la vitesse moyenne de l'eau hors du réseau, VHR, pour chaque bassin :

	St Julien	BV1	BV2	BV3
VHR (cm/s)	31	20	40	30

Compte tenu des pentes respectives de ces bassins, la vitesse de l'écoulement hors du réseau pour un bassin à type d'habitat traditionnel, de pente voisine de 1%, serait assez proche de 30 cm/s.

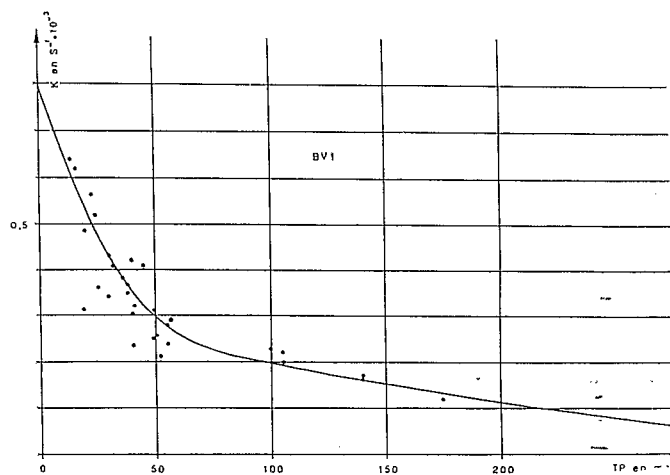


Fig.3 : BV1 Fonction K(Tp)

3. Conclusion

L'hydrologie particulière des bassins urbains africains à type d'habitat traditionnel est spécifique et se prête mal aux modèles élaborés pour des normes d'urbanisation européenne. Leur utilisation peut conduire à de graves erreurs au niveau de l'interprétation des paramètres, et par conséquent de l'évaluation du débit de projet.

La modélisation décrite dans cet article intègre la participation des surfaces perméables à la constitution du débit de pointe de la crue.

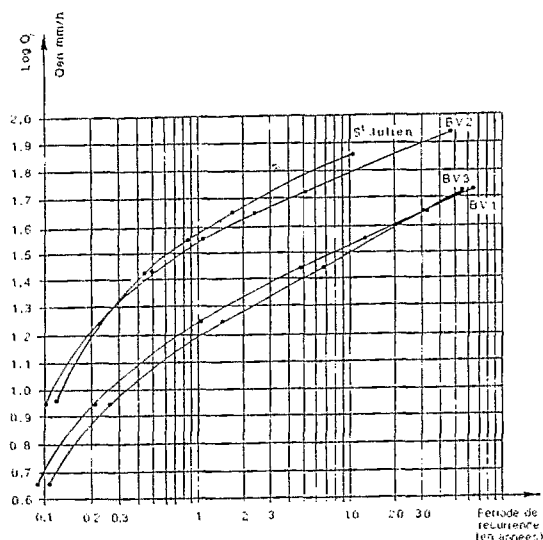
Les mesures effectuées sur les bassins expérimentaux de Ouagadougou et de Niamey ont permis de caler les paramètres de ce modèle et de reconstituer avec une bonne précision les volumes et les débits de pointe de crue.

Une première application de cette modélisa-



tion permet d'évaluer la distribution des débits de pointe de crue à l'exutoire des bassins expérimentaux étudiés. Ceci a été fait, à partir d'une interprétation stochastique de la relation $QMSP = LR.K(Tp)$, et la figure 4 indique les résultats obtenus.

Fig4 Distribution estimée pour les débits spécifiques de pointe de crue



L'interprétation des paramètres du modèle en fonction de caractéristiques mesurables du bassin et du régime pluviométrique permet d'étendre le champ d'application de la méthode à des bassins non jaugés, ou d'entreprendre une reconstitution simulée de débits, en fonction notamment de l'évolution du tissu urbain ou de la conception du réseau de collecte des eaux pluviales envisagé. Le problème qui reste posé est donc de savoir si ces paramètres ont bien le sens qu'on a voulu leur attribuer: le faible nombre de bassins étudiés ne permet pas de répondre actuellement à cette question.

Les objectifs à venir seront donc d'analyser les mesures réalisées dans d'autres villes africaines (Bamako, Lomé, Cotonou, Abidjan). Parallèlement, il faudra entreprendre des

campagnes de simulation de pluies pour définir dans chaque cas les mécanismes d'infiltration. Les mesures de débit à l'exutoire des bassins expérimentaux serviraient alors à la détermination de la fonction de stockage superficiel, qui, tout comme la vitesse de l'écoulement hors du réseau, pourrait être reliée au type d'habitat et à la pente du bassin.

REFERENCES

- BOUVIER (C.)-1986-"Etude du ruissellement urbain à Niamey -Tome 3 : interprétation des données".Publication ORSTOM-CIEH
- DESBORDES (M.)-1974-"Réflexions sur les méthodes de calcul des réseaux d'assainissement pluvial." Thèse docteur-ingénieur. Université des sciences et techniques du Languedoc.
- HERBAUD (J.)-1966-"Etude du ruissellement en zone urbaine à Niamey. Les bassins versants du Gounti-Yena." Publication ORSTOM-CIEH.
- LAFFORGUE (A.)-1977-"Inventaire et examen des processus élémentaires de ruissellement et d'infiltration sur parcelle. Applications à une exploitation méthodique des données obtenues sous pluies simulées." Cahier ORSTOM, série Hydrologie. Vol. XIV,n°4.
- LE BARBE (L.)-1982- "Etude du ruissellement urbain à Ouagadougou.Essai d'interprétation théorique. Recherche d'une méthode d'évaluation de la distribution des pointes de crues à l'exutoire des bassins urbains." Cah. ORSTOM, série Hydrologie. Vol. XIX, n°3.
- LE MOINE (L.) et MICHEL (C.)-"Essai d'adaptation à l'Afrique tropicale des méthodes classiques du calcul du débit des ouvrages d'assainissement." Publication CIEH.



INSTITUT DES SCIENCES ET DES TECHNIQUES DE L'ÉQUIPEMENT
ET DE L'ENVIRONNEMENT POUR LE DÉVELOPPEMENT

JOURNEES INTERNATIONALES DE L'EAU
INTERNATIONAL CONVENTION ON WATER TECHNOLOGY
DIAS INTERNACIONALES DE AGUA

COLLOQUE INTERNATIONAL / INTERNATIONAL CONFERENCE / COLOQUIO INTERNACIONAL

L'EAU, LA VILLE ET LE DEVELOPPEMENT

WATER, CITY AND DEVELOPMENT

EL AGUA, LA CIUDAD Y EL DESARROLLO

C. BOUVIER

MARSEILLE — 9-11 JUIN 1986

ISTED

12 avenue Aristide-Briand BP 123 92223 Bagneux France

Tél. (1) 47 46 80 20

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

N° 41596

Cpte B

08 JUL 1986