

Un modèle de ruissellement urbain pour les villes d'Afrique de l'Ouest

Christophe BOUVIER (1), Michel DESBORDES (2)

RÉSUMÉ

Les modèles de ruissellement urbain, pour la plupart mis au point dans le contexte des pays industrialisés, restent à ce jour peu efficaces pour représenter les écoulements dans les villes des PED. A partir d'un échantillon de 11 bassins expérimentaux situés en Afrique de l'Ouest, les auteurs proposent un modèle mieux adapté, accordant aux surfaces non revêtues un rôle prépondérant. Ce modèle permet la reconstitution complète des hydrogrammes de crues, et les paramètres utilisés peuvent être reliés à des caractéristiques physiques des bassins. Dans leurs conclusions, les auteurs soulignent l'adéquation d'une modélisation conceptuelle globale des écoulements en milieu urbain, et recommandent la mise en œuvre de nouvelles campagnes de mesures.

MOTS-CLÉS: Afrique de l'Ouest — Hydrologie urbaine — Modèle pluie-débit — Simulation de pluie — Calage des modèles.

ABSTRACT

AN URBAN RUNOFF MODEL FOR THE CITIES OF WESTERN AFRICA

Most of the urban runoff models were established for industrialized countries, and up to now, they proved to be unsuited for cases in the cities of developing countries. Based on a sample of 11 urban basins in Western Africa, the authors suggest a runoff model which gives significance to the runoff contribution of the natural grounds. This model allows to reconstruct the whole runoff flow, while its parameters can be derived from the characteristics of each basin. As a conclusion, the authors emphasize the advantages of using lumped runoff models in urban conditions and suggest to carry out experimental works, using new field measurements, to extend data samples.

KEY WORDS: Western Africa — Urban hydrology — Rainfall-runoff models — Rainfall simulator — Model calibration.

INTRODUCTION

Sur le plan de l'occupation des sols, l'urbanisation des PED se différencie généralement de celle des pays industrialisés par une moindre densité du bâti et des infrastructures de drainage. Ces caractéristiques font des bassins urbains des PED des ensembles plus hétérogènes (au sens des états de surface, des conditions de drainage notamment) que leurs homologues des pays industrialisés.

Pour cette raison, les modèles classiques de ruissellement urbain, mis au point dans le contexte des pays industrialisés, restent à ce jour peu efficaces pour représenter les écoulements dans les villes des PED. En particulier, LE BARBÉ (1982) et SIGHOMNOU (1986) ont montré les difficultés d'appliquer les méthodes dites rationnelles au cas des bassins urbains africains, et proposent des concepts différents. En nous appuyant sur les travaux de ces auteurs et sur ceux de DESBORDES (1987), nous avons alors cherché à mettre au point un nouveau modèle, capable de simuler l'hydrogramme complet des écoulements pour être utilisé sur des bassins non jaugés. Cette étude a été réalisée dans le cadre d'une convention passée entre le Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques (CIEH), l'ORSTOM et le Laboratoire d'Hydrologie et Modélisation (LHM) de l'Université Montpellier II.

(1) Hydrologue ORSTOM, Homero 1804, Colonia Los Morales, 11510 Mexico DF.

(2) Labo. d'Hydrologie et Modélisation, Université Montpellier II, place Eugène-Bataillon, 34095 Montpellier Cedex 02.

1. LES DONNÉES DE L'ÉTUDE

1.1. PRÉSENTATION DES BASSINS

Les bassins étudiés sont situés dans quatre capitales africaines : Niamey (Niger), Ouagadougou (Burkina-Faso), Lomé (Togo), Yopougon-Abidjan (Côte-d'Ivoire). Leurs principales caractéristiques sont résumées dans le tableau I, dans lequel IMP représente la proportion de surfaces imperméabilisées, PER (nu) la proportion des surfaces nues non revêtues, PER (veg) la proportion de surfaces non revêtues couvertes de végétation, Pmax, la hauteur de pluie maximale observée, Kr le coefficient de ruissellement moyen sur les 5 plus grosses pluies observées et P₂ la hauteur de pluie de période de retour bi-annuelle.

La comparaison entre Kr et IMP fait apparaître l'importance de la contribution au ruissellement des surfaces non imperméabilisées, différence fondamentale avec les processus admis pour représenter les écoulements urbains dans les pays industrialisés.

TABLEAU I
Caractéristiques des bassins étudiés et des événements averse-crue observés.

Bassin	Nombre de crues	Superf. ha	IMP %	PER(nu) %	PER(veg) %	Pente m/km	Pmax mm	Kr %	P ₂ mm
Niamey 1	19	72	27	73	0	8,0	54	30	60
Niamey 2	15	42	31	69	0	10,0	51	46	60
Niamey 3	14	73	21	79	0	6,5	41	26	60
Niamey 4	14	124	21	79	0	11,4	40	42	60
Ouaga 1	22	48	10	90	0	10,5	39	51	70
Ouaga 2	26	173	25	75	0	6,9	39	50	70
Lomé 1	31	80	23	77	0	11,0	78	49	86
Yop 1	65	184	27	25	48	14,0	80	27	88
Yop 5	61	175	38	36	26	11,0	85	76	88
Yop 6	26	22	56	38	6	10,0	47	80	88
Yop 7	26	1110	21	24	55	11,0	51	25	88

1.2. MESURES DE RUISSELLEMENT SUR PARCELLES

Pour caractériser plus précisément le ruissellement sur les surfaces non revêtues, nous avons procédé à des mesures de ruissellement par simulation de pluie sur des parcelles de 1 m², représentatives des différents sols. Pour chaque parcelle, le protocole expérimental consiste à simuler 3 pluies, d'une durée de une heure et d'intensités variables (40, 80 et 120 mm/h), espacées en moyenne d'une dizaine d'heures. Ce protocole permet notamment de caractériser le comportement des sols dans des conditions extrêmes d'humidité initiale.

Pour chaque expérience, les pertes au ruissellement ont été représentées par rapport au temps. Trois phases distinctes se succèdent (fig. 1) :

— une première phase d'imbibition, de durée t_i , au cours de laquelle le ruissellement R est nul, correspondant à des pertes initiales de volume égale à P_i ;

— une seconde phase transitoire, au cours de laquelle le ruissellement R augmente progressivement alors que l'infiltration et le remplissage des dépressions diminuent ;

— une troisième phase, qui correspond à l'établissement, à l'instant t_m , d'un régime permanent où les pertes à l'écoulement sont uniquement dues à l'infiltration, d'intensité égale à F_n .

Les résultats font apparaître 2 principales catégories de sols :

— sur couvert végétal de type herbacé, le ruissellement est pratiquement nul, ce qui correspond aux résultats observés sur d'autres parcelles du même type obtenus en milieu rural ;

— sur les sols nus, les conditions de ruissellement sont homogènes pour un site donné, pour des conditions données d'humidité initiale du sol. La valeur d'infiltration en régime permanent, F_n , semble ne pas être influencée par l'intensité de la pluie simulée. Les valeurs médianes des paramètres de ruissellement sont indiquées dans le tableau II.

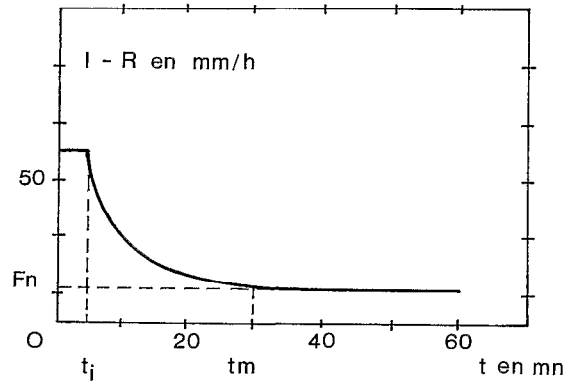


FIG. 1. — Pertes au ruissellement rapportées au temps.

TABLEAU II
Caractéristiques médianes du ruissellement sur parcelles.

Ville	Nbre de parcelles	Sol initialement sec			Sol initialement humide		
		Pi mm	t _m mn	F _n mm/h	Pi mm	t _m mn	F _n mm/h
Niamey	5	4,3	30	6	1,7	15	4
Ouaga	6	3,5	30	5	1,3	13	1
Yopougon	4	2,1	15	3	1,2	13	2
Lomé	3	4,7	35	13	0,7	20	11

2. CARACTÉRISTIQUES DU MODÈLE

Après avoir testé différentes possibilités (au niveau de la fonction de production notamment), le modèle que nous avons finalement retenu s'appuie sur les principes suivants (fig. 2) :

- les pertes au ruissellement sont nulles sur les surfaces imperméabilisées, IMP ;
- les surfaces couvertes de végétation, PER (veg) ne donnent lieu à aucun ruissellement ;
- les pertes au ruissellement sur les sols nus, PER (nu), sont représentées par 2 paramètres :

STO désigne les pertes initiales, et garde une valeur constante pour chaque événement ;

COEF est un coefficient de ruissellement constant, intervenant après satisfaction des pertes initiales.

Chaque hyétogramme de pluie brute, décomposé en pas de temps de 5 minutes, est transformé en hyétogramme de pluie nette, sur chacun des 3 types de surface. On calcule ensuite un hyétogramme moyen de la pluie nette sur le bassin, par composition des hyétogrammes élémentaires des pluies nettes, pondérés par les proportions respectives de chaque type de surface.

Enfin, le hyétogramme net moyen est transformé en hydrogramme en utilisant un modèle de transfert dit de stockage linéaire à un réservoir, faisant intervenir un paramètre K tel que :

$$Q(t) = A \int_{t_0}^t 1/K \cdot i_n(s) \cdot \exp(-(t-s)/K) \cdot ds \quad (1)$$

où A est la superficie du bassin, $i_n(t)$ l'intensité de la pluie nette à l'instant t, et K le paramètre de transfert du réservoir, homogène à un temps.

Les trois paramètres d'occupation des sols, IMP, PER (nu) et PER (veg), ont été mesurés directement pour chaque bassin. Parmi les différentes méthodes utilisées, le sondage statistique mis au point dans le cadre de cette étude offre un excellent rendement.

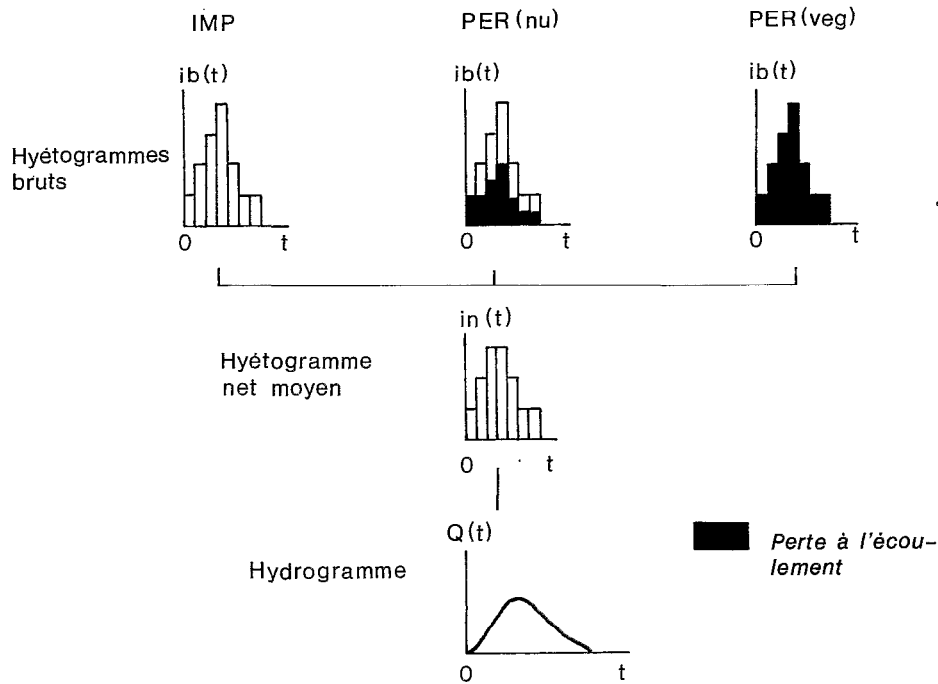


FIG. 2. — Calcul de l'hydrogramme de la crue.

Les paramètres de production, STO et COEF, et de transfert, K, sont des paramètres d'ajustement, que nous allons analyser plus précisément.

3. ANALYSE DES PARAMÈTRES DE PRODUCTION

3.1. RÉFÉRENCES EXPÉRIMENTALES DES PARAMÈTRES DE PRODUCTION

En regard de la modélisation choisie, des références expérimentales pour STO et COEF ont été tirées des mesures réalisées sur parcelles de 1 m^2 (voir fig. 3) :

— les pertes initiales, STO_{ex} , sont définies comme étant l'excédent des pertes au ruissellement par rapport à l'intensité d'infiltration mesurée en régime permanent (zone hachurée de la figure 3) ;

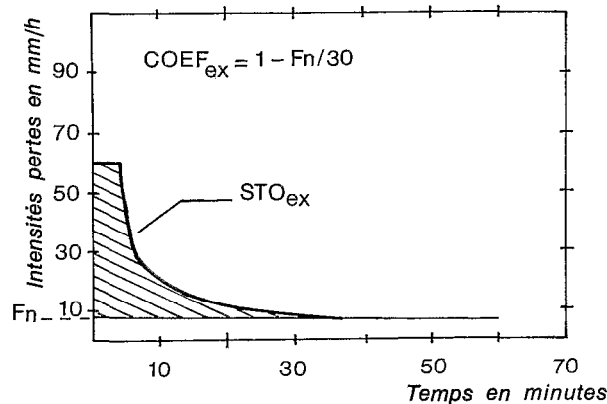


FIG. 3. — Interprétation de STO et COEF.

— le coefficient de ruissellement COEF_{ex} est choisi égal au complément à 1 du rapport de l'intensité d'infiltration constante, F_n , à une intensité de pluie de 30 mm/h. Cette valeur de 30 mm/h correspond sensiblement, pour chacun des bassins étudiés, à la moyenne des intensités des corps d'averses (définies comme étant les parties des averses dont l'intensité est supérieure à 5 mm/h).

Le tableau III indique les valeurs médianes de STO_{ex} et COEF_{ex} , obtenues pour chaque site et pour des sols initialement secs.

TABLEAU III
Valeurs expérimentales des paramètres de production.

Bassins	STO_{ex} mm	COEF_{ex} rapport
Niamey	8	0,77
Ouagadougou	5	0,87
Yopougon	7	0,90
Lomé	8	0,57

3.2. ELABORATION D'UN PROTOCOLE DE CALAGE DES PARAMÈTRES DE PRODUCTION DU MODÈLE

Indépendamment des références expérimentales STO_{ex} et COEF_{ex} , la recherche des valeurs admissibles des paramètres de la fonction de production du modèle a été réalisée de la façon suivante :

1. pour chaque bassin, l'échantillon des événements averse-crue a été découpé en 2 sous-échantillons indépendants (événements de rang pair pour le sous-échantillon n° 1, de rang impair pour le sous-échantillon n° 2) ;
2. pour chacun des demi-échantillons, nous avons calculé un critère EQT, basé sur les écarts quadratiques entre valeurs observées et reconstituées des lames ruisselées, défini par :

$$\text{EQT} = \frac{\sqrt{\sum (\text{Lr}_{\text{obs}} - \text{Lr}_{\text{cal}})^2}}{\sum \text{Lr}_{\text{obs}}} \quad (4)$$

Le critère EQT est calculé pour des valeurs de STO et COEF variant dans des intervalles fixés (ici, de 0 à 50 pour STO, avec un pas de 1, et de 0 à 1 pour COEF, avec un pas de 0,02) :

3. pour chaque bassin, on calcule ensuite un nouveau critère $\text{EQTC} = \text{Sup}(\text{EQT}_1, \text{EQT}_2)$, STO et COEF variant dans les limites indiquées précédemment, et les indices 1 et 2 désignant respectivement les deux sous-échantillons indépendants constitués pour chaque bassin.

Le critère EQTC est un indicateur unique qui, tout en respectant le principe classique de calibration et validation (étape n° 3), exprime la précision du modèle, associée à un jeu de paramètres choisis.

la figure 4 représente les courbes d'isovaleurs de EQTC, espacées de 5 en 5 %, pour 3 des 11 bassins étudiés. L'examen de cette figure permet d'évaluer, dans chacun des cas :

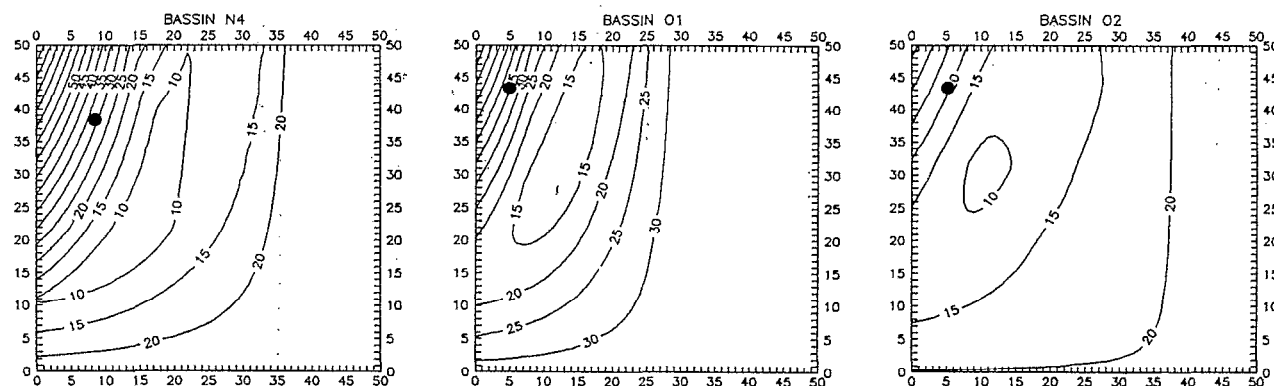


FIG. 4. — Courbes d'isovaleurs du critère EQTC. En abscisse, STO en mm ; en ordonnée, COEF en $\times 0,02$.

- la localisation des valeurs minimales du critère, auxquelles sont associés les jeux de paramètres « optimaux » de la fonction de production du modèle ;
- la sensibilité du critère aux variations des paramètres, qu'illustre le resserrement des courbes d'isovaleurs ;
- l'influence respective de chacun des paramètres, représentée par l'orientation générale des courbes d'isovaleurs ;
- la position de valeurs remarquables des paramètres dans le plan des variations de EQTC. Ici, la position des valeurs expérimentales de STO_{ex} et $COEF_{ex}$ est matérialisée par un rond noir pour chacun des bassins, et la distance de ce repère à la zone des valeurs minimales du critère exprime l'inadéquation des valeurs expérimentales des paramètres pour la reconstitution des lames ruisselées.

3.3. RÉSULTATS

3.3.1. Précision du modèle

Par précision du modèle, nous entendons la valeur du critère associée au jeu de paramètres STO et COEF choisis. Cette précision dépend évidemment du critère utilisé : c'est pourquoi, outre la précision du modèle exprimée au sens des écarts quadratiques par EQTC, nous indiquerons également par la suite une mesure de la précision du modèle au sens des écarts arithmétiques, mesurée par le critère EATC, défini et calculé de la même façon que EQTC, avec :

$$EAT = \frac{\sum (|Lr_{obs} - Lr_{cal}|)}{\sum Lr_{obs}} \quad (3)$$

Le tableau IV contient les valeurs des paramètres que nous avons finalement retenues pour chaque bassin pour procéder ultérieurement au calage de la fonction de transfert. Les critères EQTC et EATC renseignent sur la précision du modèle. Les valeurs, pour 9 des 11 bassins, restent inférieures à 12 %, au sens de EQTC, et à 30 %, au sens de EATC.

TABLEAU IV
Valeurs ajustées des paramètres de production, et critères correspondants.

Bassin	N1	N2	N3	N4	O1	O2	L1	Y1	Y5	Y6	Y7
STO (mm)	24,8	12,8	32,0	14,4	8,5	8,5	12,8	30,1	7,0	18,2	16,8
COEF (rap.)	0,25	0,48	0,19	0,43	0,51	0,51	0,36	0,21	0,90	0,35	0,38
EQTC (%)	5,9	6,5	11,6	7,5	13,4	9,8	8,8	10,9	7,3	10,2	12,9
EATC (%)	14,9	13,7	22,4	18,8	36,5	25,4	23,0	46,2	30,0	25,0	29,2

La comparaison des lames ruisselées calculées et observées est détaillée sur la figure 5, pour 3 des 11 bassins.

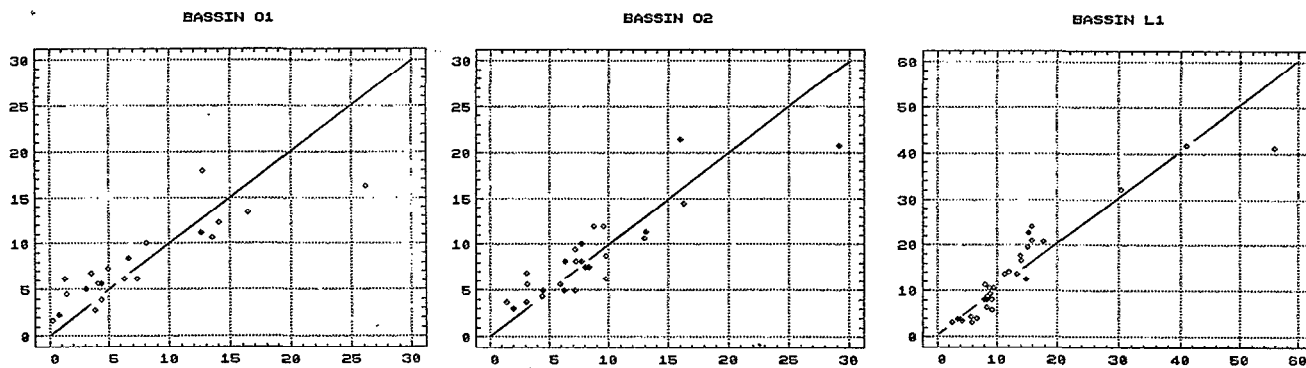


FIG. 5. — Comparaison des lames ruisselées observées (en abscisses) et calculées (en ordonnées), exprimées en mm.

3.3.2. Interprétation des paramètres

Par rapport aux références expérimentales STO_{ex} et $COEF_{ex}$, l'application du modèle avec des valeurs STO' et $COEF'$ des paramètres déterminées par les relations :

$$STO' = STO_{ex} * 1,7 \quad (4)$$

$$COEF' = COEF_{ex}/1,7 \quad (5)$$

conduit dans la plupart des cas à une faible diminution de la précision du modèle.

Cette diminution de la précision peut être mesurée par la différence relative entre EQTC, associé aux valeurs de STO et $COEF$ figurant dans le tableau IV, et EQTC', associé aux valeurs STO' et $COEF'$ définies par les relations (4) et (5). Le tableau V indique les valeurs de EQTC, EQTC' et la différence relative entre ces deux valeurs, exprimées par $(EQTC' - EQTC)/EQTC$.

TABLEAU V
Comparaison des critères EQTC et EQTC'.

Bassin	N1	N2	N3	N4	O1	O2	L1	Y1	Y5	Y6	Y7
EQTC (%)	5,9	6,5	11,6	7,5	13,4	9,8	8,8	10,9	7,3	10,2	12,9
EQTC' (%)	20,0	6,5	28,0	8,0	13,3	9,8	8,8	18,8	8,8	12,0	16,0
dif. rel. (%)	+238	0	+141	+7	0	0	0	+72	+21	+18	+24

La perte de précision relative est nulle pour 4 des 11 bassins, inférieure à 25 % pour 8 des 11 bassins. Dans la mesure où les trois écarts importants peuvent être dus à une délimitation imprécise des bassins correspondants, nous avons tenu pour satisfaisante la prédétermination des paramètres de production à partir des références expérimentales, au moyen des équations (4) et (5).

4. DÉTERMINATION ET INTERPRÉTATION DU PARAMÈTRE DE TRANSFERT

Sur la base des paramètres de production STO et $COEF$ figurant dans le tableau IV, nous avons ensuite procédé au calage de la fonction de transfert.

Le tableau VI indique les valeurs de K qui minimisent pour chaque bassin les écarts EQTC entre valeurs observées et valeurs reconstituées des débits de pointe de crue. Pour la valeur de K ainsi obtenue, nous avons également calculé le critère EATC.

TABLEAU VI
Valeurs ajustées du paramètre de transfert et critères correspondants.

Bassin	N1	N2	N3	N4	O1	O2	L1	Y1	Y5	Y6	Y7
K en x5mn	4,3	1,3	3,2	2,0	4,0	4,1	5,0	7,3	2,7	1,6	6,8
EQTC en %	8,4	7,5	9,5	11,5	12,3	6,6	7,0	7,1	9,1	7,1	11,2
EATC en %	19,8	17,3	19,9	24,3	30,7	18,3	21,4	26,1	31,1	20,6	21,1

Comme pour la fonction de production, la précision du modèle, relative à EATC, est généralement inférieure à 30 % sur les bassins étudiés (pour 9 des 11 bassins). La comparaison entre hydrogrammes de crue observés et calculés est illustrée sur la figure 6, en considérant pour 2 des 11 bassins, l'événement correspondant au débit de pointe maximum observé (P hauteur de la pluie).

K a été relié aux caractéristiques de pente (p en m/m), d'imperméabilisation (IMP en rapport) et de superficie (A en ha) des bassins étudiés. Nous proposons la relation :

$$K = 0,45 \cdot A^{0,30} \cdot IMP^{-0,45} \cdot p^{-0,39} \quad (6)$$

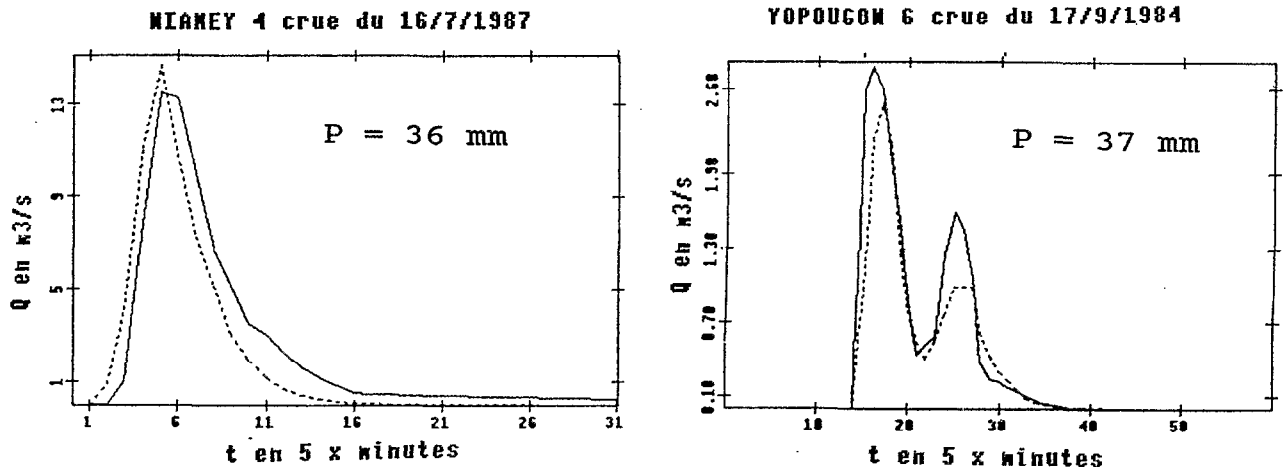


FIG. 6. — Comparaison des hydrogrammes observés et calculés associés au débit de pointe maximum observé.
 — débit observé, - - - débit calculé

Le coefficient de corrélation est de 0,62, et n'autorise pas une détermination très précise de K à l'aide des indicateurs utilisés. Pour les bassins africains et à densité urbaine donnée, les équipements de drainage (secondaire et tertiaire notamment) et leurs conditions d'entretien sont très variables : il est probable que la densité de drainage ne puisse être simplement exprimée en fonction du coefficient d'imperméabilité IMP, comme c'est plus ou moins le cas pour les bassins urbains des pays industrialisés. D'autres essais, incluant la notion de longueur du plus long chemin hydraulique, n'ont pas donné de meilleurs résultats.

Ceci étant, les performances du modèle sont assez peu sensibles aux variations de K (une variation relative de K de moins 20 % à plus 40 % n'entraîne pas une perte de précision relative supérieure à 25 % sur la reconstitution des débits de pointe de crue), et la relation proposée reste acceptable en première approximation.

Enfin, rapprochées de celles qu'on obtient à l'aide d'une relation de même type proposée par DESBORDES pour des bassins français et américains, les valeurs de K tirées de la relation (6) sont 2 fois moindres. A caractéristiques d'imperméabilisation, de pente et de superficie égales, la réponse des bassins africains est donc beaucoup plus rapide que celle des bassins des pays industrialisés. Ces différences sont essentiellement dues à la contribution des surfaces nues au ruissellement, ainsi qu'à la forme des averses tropicales.

5. CONDITIONS D'UTILISATION DU MODÈLE

Les relations de prédétermination des paramètres de production et de transfert du modèle ont été mises au point pour des bassins dont les caractéristiques répondent aux relations (7) :

$$\begin{aligned}
 5 < \text{STO}_{\text{ex}} < 8 \text{ mm} & \quad 0,57 < \text{COEF}_{\text{ex}} < 0,90 \\
 8 < p < 15 \text{ m/km} & \quad 0,10 < \text{IMP} < 0,55 & \quad 22 < A < 1\,110 \text{ ha}
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

Ces relations définissent, à défaut de vérifications expérimentales supplémentaires, les limites d'utilisation du modèle.

L'application du modèle suppose que les zones étudiées soient convenablement drainées. On vérifiera que la rétention de l'écoulement soit faible au niveau des toitures comme des cours de concessions. On s'assurera également qu'il n'existe pas d'endoréisme localisé dans les bassins étudiés.

En l'absence de mesures expérimentales de ruissellement sur parcelles, on pourra choisir forfaitairement des valeurs de STO_{ex} et COEF_{ex} respectivement égales à 5 mm et 0,87 : ces valeurs sont très proches de celles que nous avons mesurées en 3 des 4 sites étudiés. Pour le quatrième site, celui de Lomé, ces valeurs forfaitaires conduiraient à surestimer les volumes ruisselés, ce qui va dans le sens de la sécurité.

CONCLUSIONS

Les travaux réalisés dans cette étude ont abouti à la proposition d'un modèle de ruissellement adapté au contexte urbain ouest-africain : la prise en compte de 3 états de surfaces (revêtu/IMP, non revêtu/PER (nu), végétation/PER (veg)), de 2 types de pertes à l'écoulement (initiales constantes/STO et continues proportionnelles à l'intensité de l'averse/1-COEF), et d'un lag-time moyen (K) sur le bassin conduit à reconstituer lames ruisselées et débits de pointe de crue avec une précision moyenne de l'ordre de 30 %.

Ces paramètres peuvent être prédéterminés : on calculera par exemple les coefficients d'occupation du sol par sondage statistique sur photographie aérienne, on déduira les valeurs des pertes à l'écoulement d'expériences de simulation de pluie (ou, à défaut, de valeurs forfaitaires), et on utilisera la pente, la superficie et l'imperméabilisation du bassin pour calculer le lag-time moyen. On peut donc espérer une application correcte du modèle sur des bassins non jaugés, et c'est là un progrès important par rapport à l'utilisation des modèles classiques.

La réalité physique des phénomènes reste cependant ignorée dans la modélisation proposée. L'introduction d'un coefficient 1,7 dans les relations (4) et (5) montre par exemple que l'on ne peut identifier, en volume, les pertes à l'écoulement observées sur parcelles à celles calculées sur le bassin. L'interprétation de ce coefficient reste difficile : il intervient dans un environnement méthodologique, métrologique et conceptuel dans lequel chaque événement est dépendant des autres, et susceptible d'interférer avec une interprétation physique qu'on voudrait donner à ce coefficient. Dans ces conditions, le coefficient 1,7 n'est probablement que le résidu de phénomènes occultés, mais homogènes dans la modélisation choisie et dans le milieu étudié.

En ce qui concerne l'extrapolation des résultats, on se gardera donc d'appliquer le modèle sans expérimentation supplémentaire à des bassins dont les caractéristiques sont hors du domaine de variation de l'échantillon étudié.

Par rapport à une approche de type analyse de systèmes, une vision plus déterministe et plus spatialisée paraît séduisante pour mieux identifier les mécanismes de ruissellement. Deux exemples, réalisés dans le cadre de cette étude, peuvent être cités pour montrer les limites de cette démarche :

- pour le premier, nous avons cherché à utiliser un autre schéma de production, dans lequel les pertes continues dans le temps sont constantes, reproduisant ainsi le schéma identifié sur parcelles ;
- dans le second, nous avons défini une partition du bassin plus fine, basée sur la dualité des états de surface revêtus/non revêtus et sur leurs positions respectives, et susceptible a priori de mieux décrire les discontinuités des mécanismes de l'écoulement à l'échelle du bassin urbain.

Dans les deux cas, inspirés d'une perception déterministe des mécanismes hydrologiques, les résultats se sont avérés moins bons que ceux obtenus avec le modèle présenté. Dans le premier cas, la reconstitution des débits de pointe de crue s'est avérée être moins bonne en utilisant la combinaison du schéma de production observé à l'échelle de la parcelle et de la fonction de transfert dite de stockage linéaire à un réservoir ; dans le second, le partitionnement des surfaces entraîne un surcroît d'hypothèses et de paramètres que nous n'avons pas pu maîtriser. Dans ce dernier cas, il apparaît finalement préférable d'utiliser des modèles globaux : moins puissants a priori que les modèles distribués, ils bénéficient pour leur part de l'effet de lissage exercé par le bassin sur ses propres discontinuités. Le milieu urbain, pour lequel les écoulements sont essentiellement superficiels et se produisent dans un environnement fortement homogénéisé par l'activité anthropique, semble bien se prêter à ce type de modélisation.

Quelles que soient les recherches à venir en matière de modélisation, celles-ci ne semblent cependant pouvoir se développer qu'à la condition (nécessaire, mais non suffisante) d'entreprendre de nouvelles mesures de bassins expérimentaux. Le développement de métrologies telles que radar météorologique, télédétection, capteurs hydro-pluviométriques devrait permettre également d'obtenir, à plus ou moins court terme, des données plus fiables et plus complètes, notamment sur le plan de la variabilité spatiale des phénomènes.

Tirant profit des expériences passées (il n'est pas inutile de rappeler que, dans le cadre de cette étude, 11 bassins seulement ont pu être exploités, sur un échantillon initial de 25), il est urgent de consacrer les moyens nécessaires à l'installation de ces nouveaux bassins. Les villes des PED, dont le développement s'annonce aussi important qu'anarchique, constituent l'un des enjeux prioritaires qui doit dès maintenant mobiliser scientifiques et aménageurs.

BIBLIOGRAPHIE

- BOUVIER (C.), 1989. — Contribution à l'étude du ruissellement urbain en Afrique de l'Ouest. Application à la simulation de l'écoulement sur petits bassins urbains. Thèse de Doctorat, Université des Sciences, Montpellier, 313 pp., *multigr.*
- DESBORDES (M.), 1987. — Contribution à l'analyse et à la modélisation des mécanismes hydrologiques en milieu urbain. Thèse de Doctorat d'Etat, Université des Sciences, Montpellier, 242 p., *multigr.*

- DESBORDES (M), BOUVIER (C.), 1990. — Assainissement pluvial urbain en Afrique de l'Ouest. Modélisation du ruissellement. Rapport final CIEH, 56 pp., *multigr.*
- LE BARBÉ (L.), 1982. — Etude du ruissellement urbain à Ouagadougou, *Cah. ORSTOM, sér. Hydrol.*, vol. 19, n° 3, pp. 135-204.
- LEMOINE (L.), MICHEL (C.), 1972. — Essai d'adaptation à l'Afrique Tropicale des méthodes classiques de calcul du débit des ouvrages d'assainissement urbain. CIEH, 35 pp., *multigr.*
- SIGHOMNOU (D.), 1986. — Assainissement pluvial en zone urbaine en Afrique Tropicale. Cas de Yopougon (Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat, Université des Sciences, Montpellier, 254 pp., *multigr.*