

RÉGIONALISATION DE CERTAINES CARACTÉRISTIQUES DES ÉCOULEMENTS BÉNINOIS

G. ALÉ¹, L. LE BARBÉ²

RÉSUMÉ

Les stations hydrométriques du Bénin sont bien réparties sur l'ensemble du pays et permettent un suivi satisfaisant des principales rivières du pays. Le réseau, en revanche, est peu dense et sa résolution spatiale est d'environ 7 500 km². Il n'y a par ailleurs que peu de données concernant les petits bassins versants puisque seuls trois d'entre eux ont été étudiés à la fin des années cinquante.

Dans ces conditions il n'était pas possible de fonder une étude régionale des écoulements sur une analyse fine des différents processus. Nous désirions cependant fournir une estimation des distributions des lames écoulées annuelles et des débits maximaux sur l'ensemble du pays.

S'il n'y a pas de pertes sur un réseau hydrographique, on peut admettre que le volume écoulé à l'exutoire résulte d'une intégration spatiale de lames écoulées ponctuelles. Le problème est donc de répartir ce volume dans l'espace en tenant compte des facteurs qui conditionnent la production des écoulements.

Le premier facteur est la pluie. Les lames écoulées ponctuelles annuelles résultent de la somme de celles correspondant à chacune des averses. Il faut donc connaître d'une part la fonction de production ponctuelle au niveau de l'averse et d'autre part la répartition spatio-temporelle des pluies.

Le second facteur est l'hétérogénéité spatiale des conditions géomorphologiques qui influencent la fonction de production.

¹Chef du service de l'hydrologie du Bénin,

²Chargé de recherche Orstom

Compte tenu de ces considérations pour régionaliser les écoulements nous avons suivi la démarche suivante :

- nous avons d'abord défini une fonction de production élémentaire à un seul paramètre, dont l'expression mathématique respecte les contraintes du phénomène à décrire ;
- nous en avons déduit l'expression de la fonction de production annuelle en fonction du nombre d'averses et en supposant exponentielle la répartition des hauteurs ;
- nous avons identifié six zones où on pouvait considérer comme homogène la fonction de production ;
- à partir de l'ensemble des observations, et non pas bassin par bassin, nous avons calé les différentes fonctions ;
- ce qui nous a permis d'établir une chronique des champs des lames écoulées ponctuelles à partir desquelles il est facile de calculer celles des modules à l'exutoire des bassins jaugés ou non, dès que leur taille est suffisante pour gommer l'effet des hétérogénéités à petite échelle (100 km²).

Cette méthode permet donc d'estimer de façon régionale les distributions des apports annuels. L'estimation de celles des débits maximaux se fait en utilisant une relation statistique empirique entre les caractéristiques de ces distributions.

INTRODUCTION

Nous avons été chargés de réaliser une synthèse sur les ressources en eaux superficielles du Bénin. Les données dont nous disposions étaient constituées d'une part des chroniques des débits observés depuis le début des années cinquante sur les stations du réseau hydrométrique national et d'autre part de sept années d'observations hydro-pluviométriques faites sur 3 bassins versants représentatifs dont les superficies étaient de 3 km², 32 km² et 45 km². On trouvera sur la figure 1 la situation de ces différents sites de mesure.

Les stations du réseau sont assez bien réparties sur l'ensemble du pays et les surfaces contrôlées sont de l'ordre de 7 500 km². Une analyse classique des chroniques observées sur ce réseau nous a donc permis de préciser les régimes hydrologiques des principales rivières du pays. Nous n'en parlerons pas ici. En revanche les données collectées sur les petits bassins étaient beaucoup trop fragmentaires pour que l'on puisse espérer extrapoler sur la totalité du territoire les résultats de leur analyse. Or l'aménagement des petits bassins présente pour le Bénin un intérêt économique évident. Il était donc nécessaire d'essayer de trouver une méthode qui permette d'estimer, à partir des données du réseau, les

caractéristiques des écoulements à l'exutoire de ces petits bassins. Nous avons limité nos ambitions à la reconstitution des chroniques des apports annuels et à une estimation de la distribution des débits maximaux.

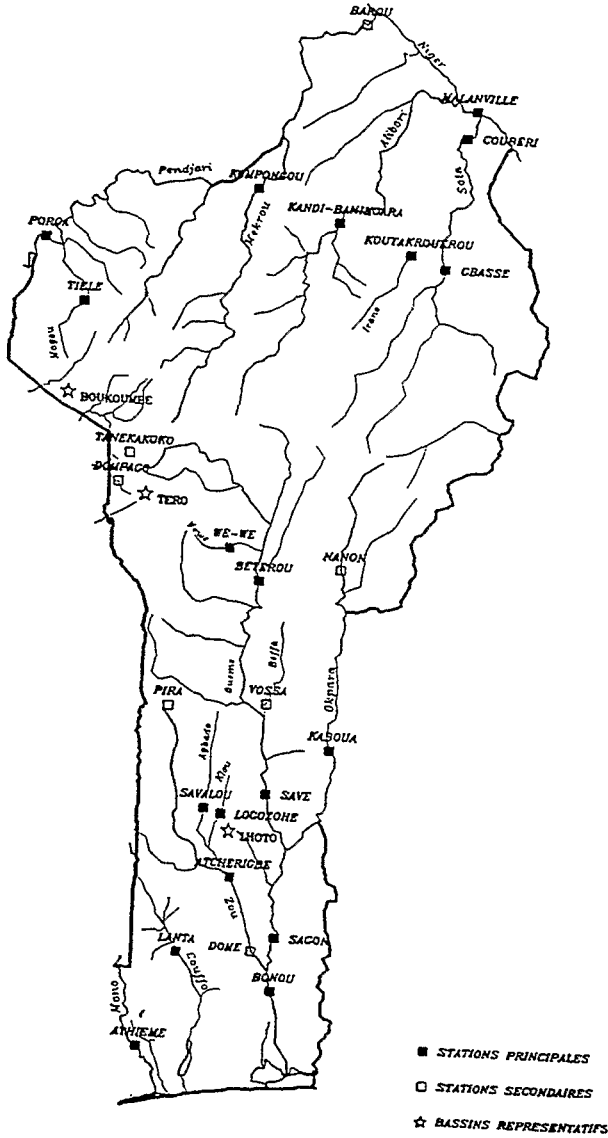


Figure 1
 Études des régimes hydrologiques béninois,
 sites retenus pour l'analyse

LES APPORTS ANNUELS

Si on fait l'hypothèse qu'il n'y a pas de pertes sur le réseau hydrographique, on peut admettre que le volume annuel observé à l'exutoire d'un bassin, résulte de la sommation des apports en provenance des bassins élémentaires. Le problème de la régionalisation est donc celui de répartir dans l'espace ce volume en tenant compte des principaux facteurs qui conditionnent la production des écoulements : la pluie et le *paysage*. Nous englobons dans le terme *paysage* l'ensemble des caractéristiques physique des bassins : géologie, relief, pédologie, végétation, etc. Si on admet qu'il est possible de définir des régions homogènes du point de vue du paysage, on peut utiliser la notion de *bassin ponctuel*. Ce concept a un sens non pas physique mais statistique. Il permet de travailler sur un milieu continu. La démarche est un peu comparable à celle classiquement suivie en hydrogéologie où les caractéristiques hydrodynamique du sol sont supposées être des variables continues alors que cela n'est vrai qu'à partir d'un certain volume d'intégration.

PARAMÉTRISATION DES FONCTIONS DE PRODUCTION SUR UN BASSIN PONCTUEL

La régionalisation impose de paramétriser les fonctions de production ponctuelles, au niveau de l'averse d'abord au niveau de l'année ensuite.

L'écoulement ponctuel, E , causé par une averse de hauteur P , peut s'écrire :

$$E = P - D$$

Où D est le déficit d'écoulement qui résulte de multiples causes : infiltration, évaporation, stockage superficiel, etc. Le manque de données et la complexité des mécanismes rendent inopérante une analyse physique des facteurs explicatifs de ce déficit. Nous avons donc, pour paramétriser D , préféré utiliser une expression mathématique qui respecte les contraintes imposées par la nature du phénomène à décrire, à savoir :

- D est toujours inférieur à P (il ne peut disparaître plus d'eau qu'il n'en tombe) ;
- D tend vers une valeur finie quand P tend vers l'infini (tout ruisselle sur un sol saturé) ;
- D tend vers 1 quand P tend vers 0 (en début d'averse tout s'infiltré) ;
- D est toujours décroissante (plus il pleut, plus ça ruisselle).

Parmi les diverses fonctions qui respectent ces contraintes, nous avons choisi l'expression suivante à un seul paramètre :

$$D = \frac{a.P}{\sqrt{a^2 + P^2}} \quad (1)$$

Où a représente la capacité maximale d'absorption juste avant l'averse.

Si on suppose que a reste constant et si P_m est la somme de N averses tirées dans une distribution exponentielle, l'expression suivante donne une bonne approximation de la somme, E_m , des écoulements causés par chacune des averses :

$$E_m = P_m * \exp(-0,75 * (a * N / P_m)^{0,75}) \quad (2)$$

Pour paramétriser l'écoulement ponctuel annuel, nous avons admis :

- que seules les averses de la saison des pluies (mai à octobre) donnaient lieu à des écoulements notables ;
- que ces averses étaient issues d'une loi exponentielle ;
- que leur nombre pouvait être estimé par la somme des nombres les plus probables d'averses au cours de chacun des mois connaissant la pluviométrie mensuelle ;
- qu'il existait une liaison statistique étroite entre la valeur de la somme des pluviométries des mois d'hivernage et le coefficient moyen d'absorption calculé avec la formule (2).

Pour un bassin ponctuel, la relation entre pluie et écoulements est donc donnée par la formule (2) où P_m représente la pluviométrie des mois de saison des pluies, où a représente la capacité moyenne d'absorption au cours de l'hivernage et est donc une fonction (décroissante) de P_m , et où N est égal à :

$$N = \sum n_i$$

où

n_i = nombre le plus probable d'averses au cours du mois i sachant la hauteur p_i tombée au cours du mois ;

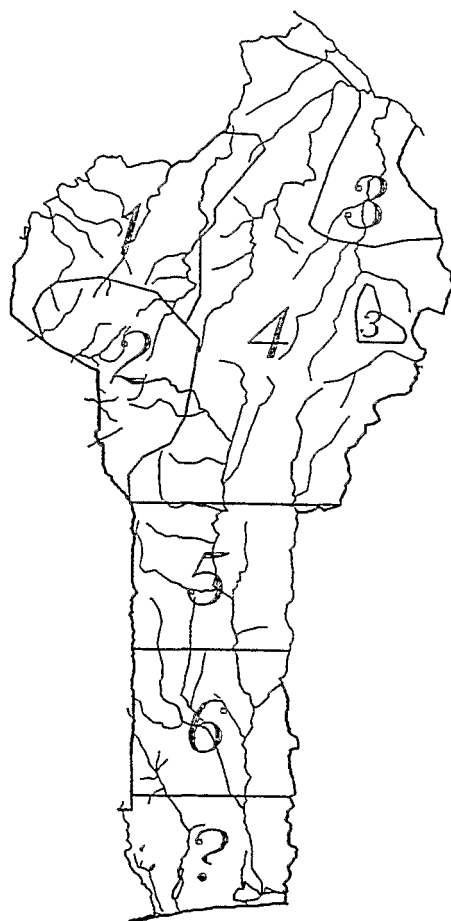
$$n_i = \left\lfloor -0,5 + \sqrt{\frac{S_i \cdot p_i}{H_i}} + 0,25 \right\rfloor$$

où S_i et H_i sont les paramètres de forme et d'échelle de la loi des fuites décrivant la pluviométrie du mois i et où p_i est la pluie tombée au cours du mois i .

DÉFINITION DES RÉGIONS HOMOGÈNES

Une première analyse faite bassin par bassin, nous a permis d'identifier 7 régions homogènes (figure 2) :

- la région numéro 1 correspond à la zone la plus basse de la chaîne de l'Atakora et s'étend sur des formations géologiques composées essentiellement de gneiss, quartzites et schistes quartziteux ;
- la région numéro 2, correspond aux reliefs les plus importants du Bénin ;
- la région numéro 3 s'étend sur les plateaux gréseux du continental terminal ;
- les régions numéros 4, 5 et 6, correspondent à la pénéplaine dahoméenne; leurs comportements hydrologiques sont très voisins ;
- la région marquée par un point d'interrogation correspond au bassin du sédimentaire côtier pour lequel le manque d'observation nous interdit tout essai de régionalisation des écoulements.



LES CHIFFRES INDICUES DANS CHAQUE ZONE
SONT LES NUMÉROS DE LA FONCTION DE PRODUCTION

Figure 2
Fonctions de production de l'écoulement

LE CALAGE DU MODÈLE

Il fallait donc déterminer les fonctions, $\alpha = f(Pm)$, correspondant à chacune des zones. Nous avons en premier lieu constitué des fichiers en point de grille (au 1/4 de degré) des pluies mensuelles et des paramètres des lois des fuites décrivant leurs distributions. Nous avons ensuite utilisé ces fichiers pour optimiser les fonctions de production de façon à obtenir la meilleure reconstitution possible des modules observés sur l'ensemble des bassins.

La figure 3a montre que la reconstitution des lames écoulées est satisfaisante. La figure 3b représente les fonctions de production obtenues.

On notera l'allure très différente de celle correspondant aux plateaux gréseux du Nord. L'importance de l'infiltration fait que, à l'inverse de ce qui se passe sur les autres régions, la capacité moyenne d'absorption est constante.

On notera également que les courbes correspondant aux régions de la pénéplaine dahoméenne, sont très voisines les unes des autres. Les nuances qui existent entre elles pourraient surtout être dues aux différences dans la répartition temporelle des pluies.

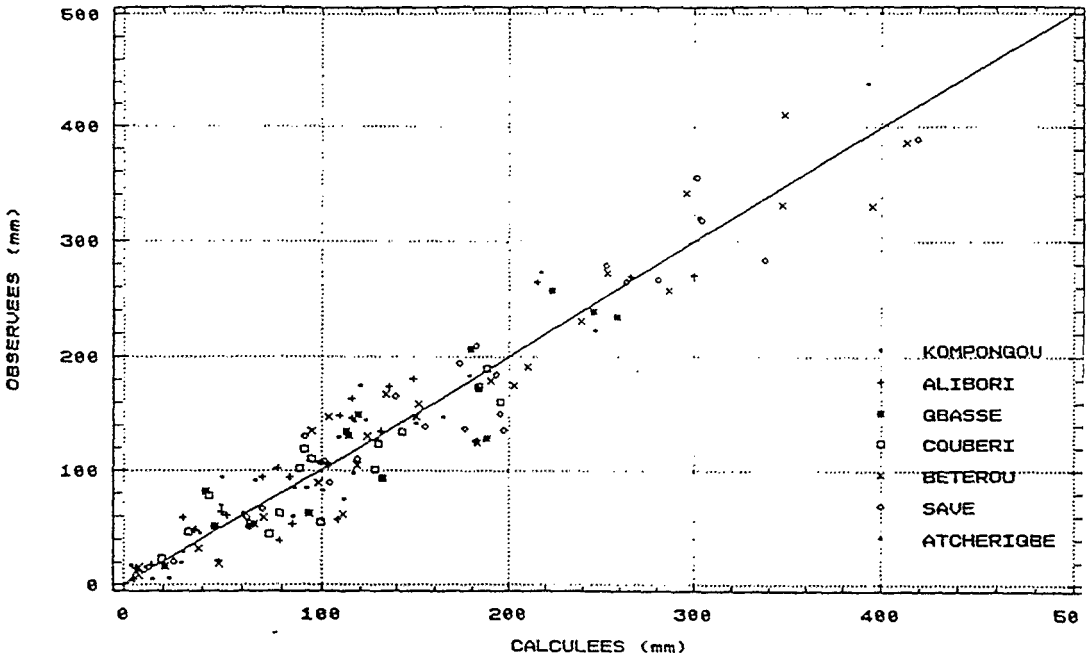


Figure 3a

Lames écoulées annuelles aux principales stations hydrométriques du Bénin

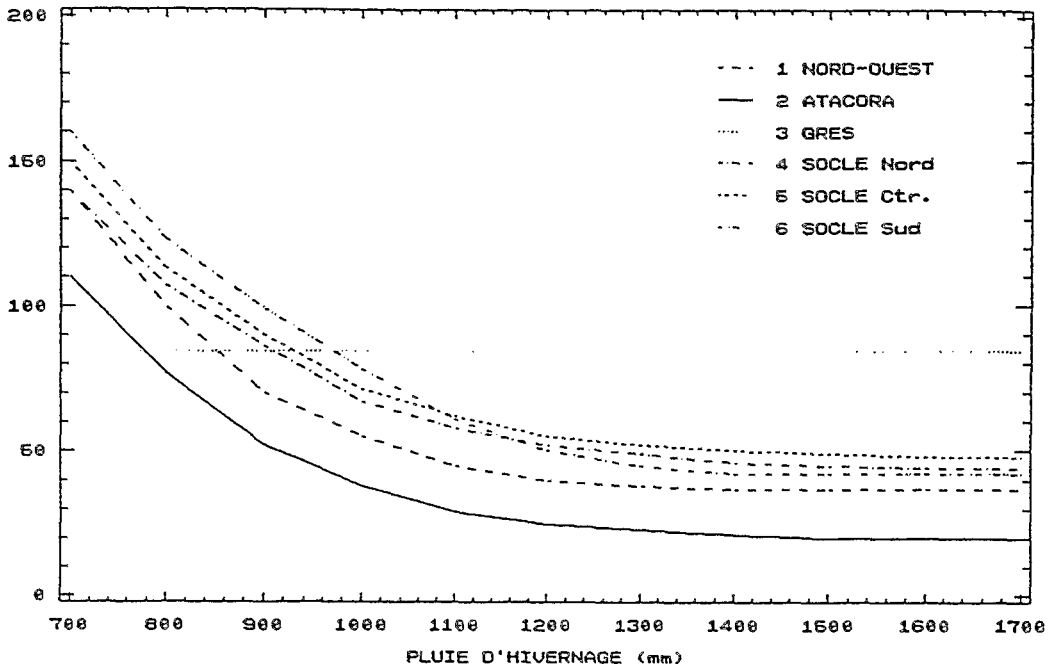


Figure 3b
Fonctions de production de l'écoulement

LES RÉSULTATS

Une fois calées les fonctions de production, nous avons donc pu constituer, une chronique annuelle des champs spatiaux des écoulements ponctuels (sous forme de fichiers en point de grille). Il est facile alors d'en déduire par simple intégration spatiale la chronique des modules sur tout bassin dont on connaît le contour et donc de préciser les caractéristiques de leurs distributions.

On trouvera sur la figure 4 les cartes des écoulements de certaines années exceptionnelles.

Sur la figure 5, sont cartographiées les différences des caractéristiques des écoulements avant et après 1968. Sauf sur les plateaux gréseux, les lames écoulées ont chuté en moyenne de 40 % alors que leurs coefficients de variation ont augmenté de 20 %. Sur les grès, la baisse des écoulements a été moins importante et a été accompagnée d'une baisse du coefficient de variation.

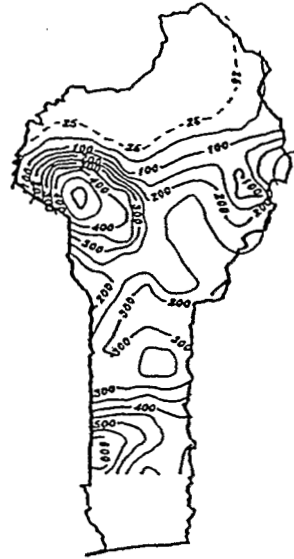
ANNEES HUMIDES



1962



1963

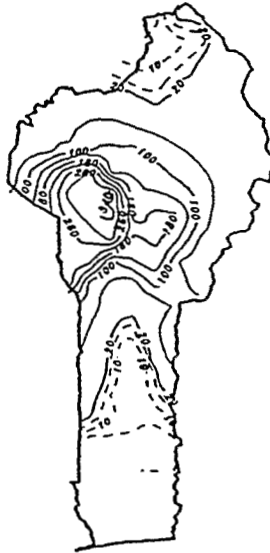


1968

ANNEES SECHES



1958



1976



1983

Figure 4
Lames écoulées. Années exceptionnelles

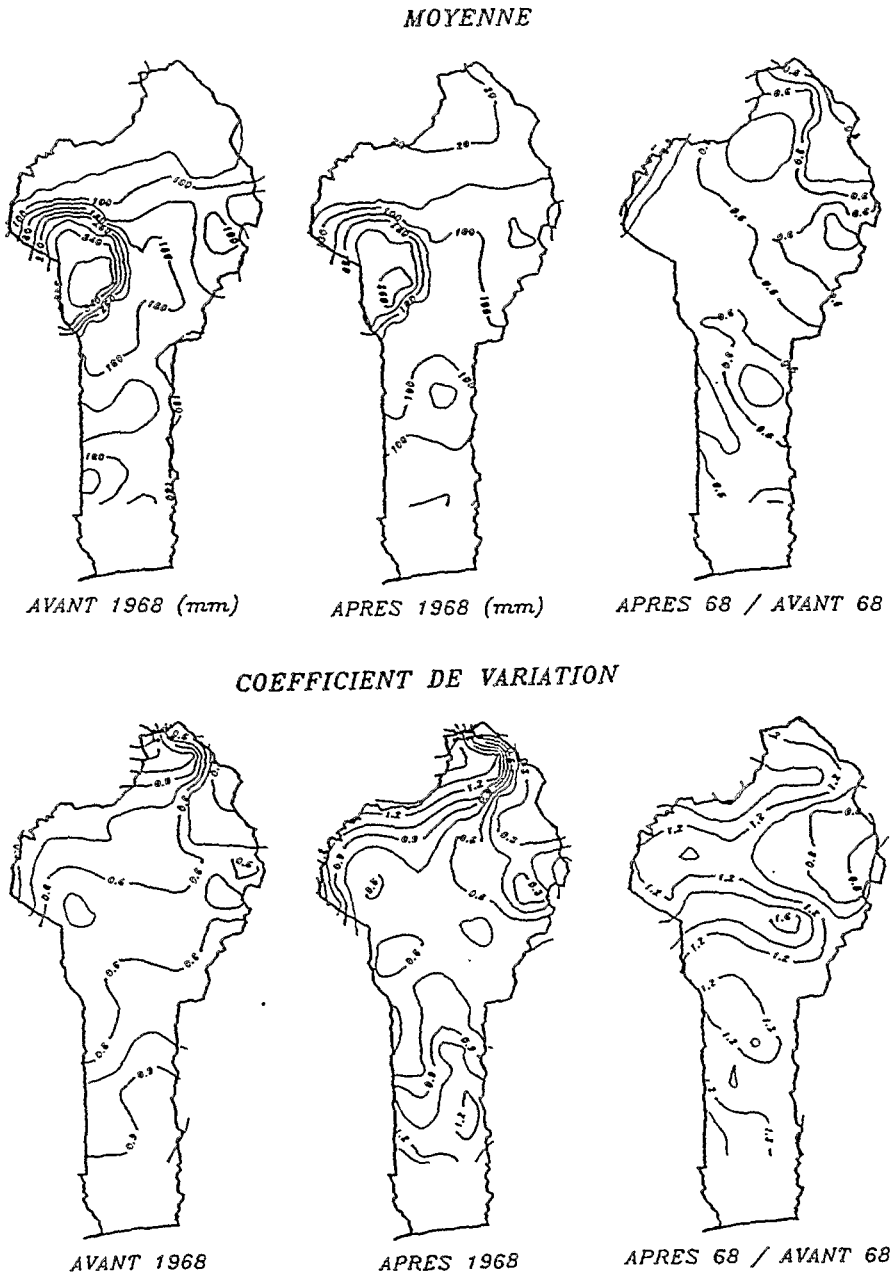


Figure 5
Distributions des lames écoulées annuelles avant et après 1968

UNE VALIDATION PARTIELLE

Pour valider, au mois partiellement la méthodologie proposée, nous avons comparé les lames écoulées observées aux trois bassins représentatifs, à celles calculées à partir des champs reconstitués des champs d'écoulements ponctuels. Les résultats sont étonnamment bons comme le montre le tableau ci après :

	Lame observée (millimètres)	Lame calculée (millimètres)
Bassin de la Lhoto (45km ²)		
1956	0	19
1957	198	220
1958	0	6
1959	101	111
Bassin de la Tero (32 km ²)		
1956	286	250
1957	511	540
Bassin de Boukombe (3,2 km ²)		
1960	323	295

LES DÉBITS MAXIMAUX

Pour l'estimation de la distribution des débits maximaux, notre démarche a été très empirique. Aux différentes stations hydrométriques du Bénin, nous avons constaté que c'est la loi des fuites qui s'ajuste le mieux aux distributions observées des modules comme des débits maximaux et que leurs paramètres sont très fortement corrélés entre eux.

Si Mx et Mm , sont les moyennes des lois ajustées des débits maximaux et des modules, et si Fx et Fm sont leurs paramètres de forme, nous avons en effet :

$$Mx = 24,3 * Mm^{0,711} \quad R^2 = 0,97$$

et

$$Fx = 1,29 * Fm \quad R^2 = 0,97$$

Ces formules permettent d'estimer dans plus de 90 % des cas le débit décennal avec moins de 25 % d'erreur.

L'estimation des distributions des crues aux bassins non jaugés se fait donc en trois temps :

- en suivant la méthodologie décrite au chapitre précédent, on reconstitue les chroniques des modules ;
- on ajuste à cette chronique une loi des Fuites ;
- on en déduit à l'aide des formules ci-dessus l'expression de la loi des fuites estimant la distribution des débits maximaux.

CONCLUSION

Les résultats que nous venons de présenter ne sont que partiels. Des travaux sont en cours pour tenter d'améliorer la méthode (meilleure définition des régions homogènes et des fonctions de production, reconstitution des écoulements mensuels, etc).

La méthodologie que nous avons adoptée pour l'estimation des apports annuels sur les petits bassins obéit une démarche *désagrégative* qui s'oppose à celles plus classiquement suivies qui sont surtout *intégratives*. Le manque de données nous a imposé ce choix, mais on peut se demander si cette approche n'est pas plus satisfaisante dans la mesure il paraît un peu illusoire d'espérer identifier, à partir d'observations à très petites échelles, à la fois tous les processus élémentaires et toutes les conditions aux limites, qui influent sur la production de l'écoulement.

BIBLIOGRAPHIE

LE BARBÉ L., ALÉ G., MILLET B., TEXIER H., et GUALDE R., 1993. Les ressources en eaux superficielles de la république du Bénin. Monographie hydrologique de l'Orstom.