

QUELQUES DONNEES SUR L'ÉCOULEMENT DANS LES FORETS ÉQUATORIALES

par J. RODIER

Ingénieur en Chef à Electricité de France
Chef du Service Hydrologique
de l'Office de la Recherche Scientifique
et Technique Outre-Mer

RÉSUMÉ

Des études hydrométéorologiques récentes relatives à des bassins versants dont la superficie varie de quelques km² à quelques dizaines de km², ont apporté des données quantitatives nombreuses sur la très forte réduction du ruissellement en forêt équatoriale.

Pour une même averse de l'ordre de 120 mm, à pentes et sols équivalents, la pointe de crue peut être, sous forêt, 8 à 12 fois plus faible que dans les zones de savane des mêmes régions. Le coefficient de ruissellement n'est réduit que dans le rapport de 4 à 6.

L'influence de la perméabilité du sol est beaucoup moins importante qu'en savane. La pente a une action très nette dès qu'elle dépasse 15 à 20 %. Pour des pentes extrêmement fortes, 30 à 50 %, les débits de crues deviennent élevés, plusieurs milliers de l/s. km² pour la crue décennale par exemple.

L'étude des régimes des cours d'eau de la forêt équatoriale n'a été entreprise que très tardivement en Afrique Noire Française. Un seul cours d'eau de cette zone, l'Ogooué (1), a fait l'objet de relevés limnimétriques depuis plus de vingt ans. Quelques stations de jaugeages ont été installées au Cameroun, en 1940, grâce à l'initiative de M. Darnault. L'Electricité de France en a aménagé trois ou quatre en 1948. *Ce n'est guère qu'à partir de 1952* que l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer a pu mettre en place un réseau de stations encore bien incomplet, surtout au Gabon.

De même, pour les bassins expérimentaux, les réalisations ont été tardives. La principale raison réside dans la faible importance des débits de crues : ce genre d'étude est moins urgent dans les régions équatoriales que dans les zones sahéliennes à régime torrentiel. Mais, depuis quelques années, le manque d'éléments sur ces crues exceptionnelles en forêt, pour la mise au point des projets d'aménagements hydroélectriques et pour le calcul des débouchés d'ouvrages d'art, a fini par imposer l'étude de bassins expérimentaux de forêt : cinq en Côte d'Ivoire, un au Moyen-Congo, auxquels il convient d'ajouter deux autres bassins hors de l'Afrique Noire : un en Guyane et un autre en Nouvelle-Calédonie.

Les études sur le terrain sont terminées sur un seul de ces bassins expérimentaux, celui de l'Ifou en Côte d'Ivoire. L'interprétation générale est donc à peine commencée.

On doit ajouter, à cet ensemble de données, les relevés climatologiques et, en particulier, pluviométriques des Services météorologiques, relevés qui, généralement, ne sont exploitables qu'à partir de 1950 ou 1951.

Telles sont les bases expérimentales disponibles pour l'analyse de l'écoulement dans ces régions.

(1) Il n'est pas possible de ranger le Congo dans cette catégorie, son bassin versant déborde largement les régions équatoriales et la forêt n'en couvre qu'une partie.

25 NOV 1958

25 NOV

Débits caractéristiques en forêt équatoriale

Bassin	Précipitation annuelle mm	Super- ficie km ²	Module 1/s.km ²	Crue « décen- nale » 1/s.km ²	Etiage 1/s.km ²
Bia (Côte d'Iv.)	1 475	9 320	8,3	64	0,3
Nyong (Cameroun)	1 460	14 300	8,5	30 (1)	3,9
Lokoundjé (Cameroun)	1 860	1 177	24	185 (2)	3
Lobé (Cameroun)	2 700	1 940	59	280 (2)	10
N'tem (Cameroun)	1 770	18 060	16	42	2,5
M'bali (Oubangui)	1 500	4 905	12	43	4
Likouala Mossaka (M. Congo)	1 600	9 000	17,5	53	6,5
Ogooue (Gabon)	1 800	205 000	25	58	9
Nyanga (M. Congo)	1 800	5 600	37	110	11

(1) Pertes très importantes dans les plaines d'inondation.

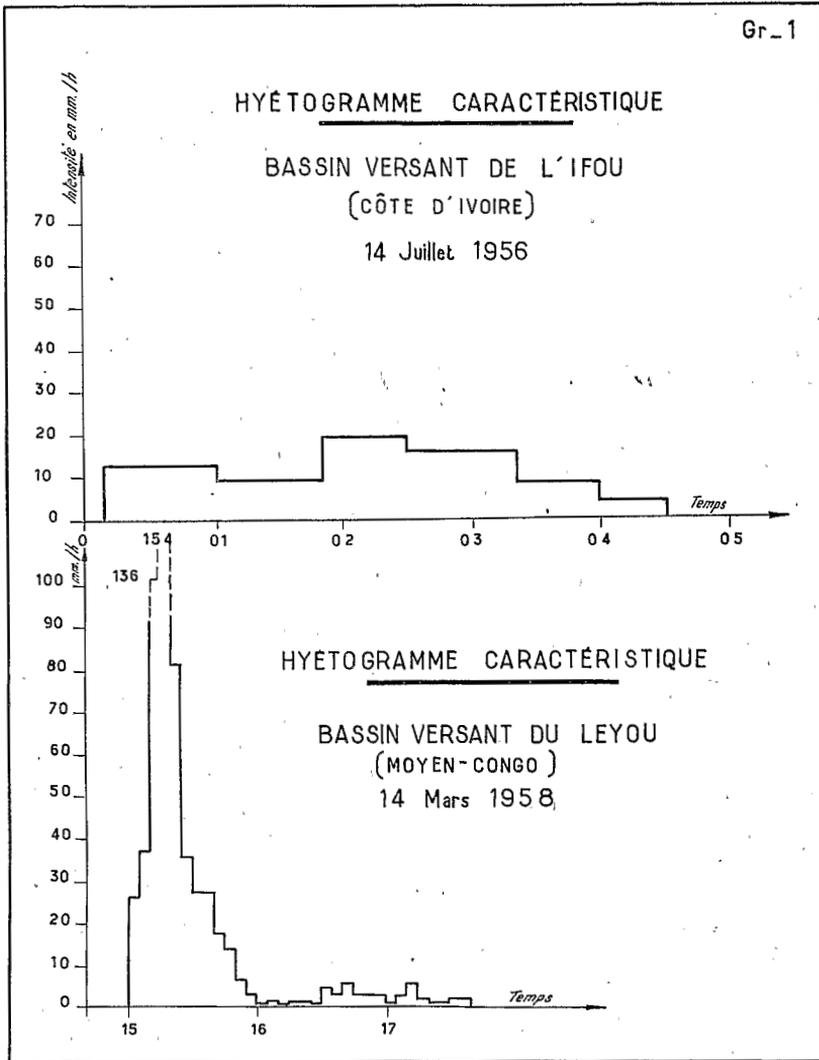
(2) Petits bassins.

I — ÉTUDE DES RÉSULTATS SUR MOYENS ET GRANDS BASSINS VERSANTS —

Les stations de jaugeage les plus anciennes ont fait l'objet, pour la préparation de l'Annuaire Hydrologique de la France d'Outre-Mer ou pour l'étude du projet de barrage du Kouilou, d'analyses assez poussées portant à la fois sur les courbes d'étalonnage, l'étude critique des relevés bruts et la distribution des débits.

Les régimes ont pu être caractérisés par un certain nombre de chiffres qui, sans présenter une grande précision en raison de la brièveté de la période d'observations, peuvent donner néanmoins une représentation valable.

Rappelons que le régime pluviométrique en régions équatoriales comporte deux saisons des pluies, l'une centrée sur le mois d'Avril ou de Mai, l'autre sur le mois de Novembre ou de Décembre. Deux saisons sèches séparent ces saisons des pluies. Elles sont presque de même importance sous l'équateur thermique, mais dès que l'on s'en écarte, l'une de ces deux saisons s'allonge et devient plus sévère; la grande saison sèche s'étend de Décembre à Mars dans l'hémisphère boréal, de Juillet à Octobre dans l'hémisphère austral. Les



hauteurs de précipitations moyennes sur les bassins versants observés varient de 1400 à 2500 mm.

On a reporté sur le tableau ci-contre les hauteurs de précipitations moyennes annuelles, la superficie des bassins versants, le débit moyen annuel spécifique, un débit spécifique de crue décennal que nous avons estimé tant bien que mal et enfin le débit spécifique d'étiage.

Les modules varient régulièrement avec la hauteur de précipitation annuelle. Ils diminuent assez rapidement au-dessous de 1600 mm et encore plus rapidement en dessous de 1400 mm comme nous l'avons observé en Côte

d'Ivoire. Cette tendance est due, en grande partie, à la couverture végétale comme l'ont montré les bassins expérimentaux. Un bassin de forêt équatoriale recevant 1200 mm par an présenterait un module spécifique presque nul, alors qu'un bassin de savane soumis aux mêmes précipitations présenterait encore un module de 6 l/s.km² comme c'est le cas, par exemple, de l'Ouémé au Dahomey dont le régime des pluies est presque équatorial et qui reçoit 1225 mm.

L'examen des débits de crue décennale est un peu plus probant. Les bassins de 8000 à 20.000 km² mettent en évidence des débits spécifiques variant de 30 à 65 l/s.km², alors que pour des bassins de savane tropicale tels que les hauts bassins du Sénégal, du Niger, de la Sanaga et du Chari, les débits de crues décennales varient de 65 à 120 l/s.km² pour les mêmes superficies. La différence de débit spécifique est due, en partie, à la concentration de la même hauteur de pluie annuelle en une seule saison, mais cette raison est insuffisante puisque les cours d'eau dahoméens, rares cours d'eau de savane soumis au régime équatorial, présentent des débits spécifiques de crues décennales du même ordre de grandeur : 70 — 80 l/s.km² (1).

Toutes choses étant égales par ailleurs, le volume de crue d'un bassin de savane équatoriale doit donc atteindre au maximum le double de celui d'un bassin de forêt équivalent, pour des superficies supérieures à 4 ou 5.000 km². La différence n'est donc pas très importante et ceci s'explique puisque nous avons pu constater, d'après les études effectuées dans le bassin du Konkouré, que, au Sud de l'isohyète 1200 mm, les crues d'un bassin de quelques milliers de km² étaient dues pour 50 % au débit hypodermique et non pas au ruissellement.

II — ÉTUDE DES RÉSULTATS DES BASSINS EXPÉRIMENTAUX —

Sur des superficies inférieures à 1000 km² et en particulier sur de petits bassins de 5 à 50 km², l'effet régularisateur de la forêt est beaucoup plus net. Le facteur pluviométrique intervenant pour des petits cours d'eau de ce genre est l'averse élémentaire dont nous donnons ci-contre deux diagrammes caractéristiques.

Ces averses donnent naissance à des crues qu'il est facile de comparer aux crues produites sur bassins de savane par les mêmes averses.

Des études systématiques de crues décennales sont en cours en Afrique Noire Française, elles donnent un premier aperçu du ruissellement en forêt : c'est ainsi qu'on a pu noter pour la même superficie de 25 km² et des pentes comparables, de 2 à 8 %, les chiffres figurant sur le tableau ci-après.

Nous laissons volontairement des indications qualitatives pour les pentes et les perméabilités : les études pédologiques et les relevés topographiques n'étant pas terminés pour tous ces bassins. Ajoutons simplement que les pentes du sol sur le bassin de l'Ifou correspondent à des pentes courantes sur les bassins équatoriaux d'Afrique situés sur le vieux socle, alors que les pentes du Loué sont assez exceptionnelles pour ces régions de l'Afrique, certains versants dépassant 45°.

Il semble que pour des terrains de pente et de perméabilité courantes, le débit spécifique pour le maximum de la crue décennale atteigne 600 l/s.km².

Pour la savane boisée située plus au Nord, le débit de crue décennale serait dans les mêmes conditions de perméabilité ou de pente de 1000 l/s.km²

(1) Les bassins équatoriaux de savane sont nombreux au Moyen-Congo, mais généralement la perméabilité du sol est nettement anormale.

Nom du bassin	Maximum ponctuel de l'averse mm	Pente	Perméabilité	Débit maximum spécifique
Ifou .. (Côte d'Iv.)	200	modérée	assez grande	580 l/s.km ²
Leyou (Moyen-Congo)	140	assez forte	modérée	700 l/s.km ²
Nion 1 (Côte d'Iv.)	200	assez forte	modérée	850 l/s.km ²
Nion 2 (Côte d'Iv.)	200	forte	modérée	1500 l/s.km ²
Loué (Côte d'Iv.)	200	très forte	modérée	à 4000 l/s.km ²

pour la savane boisée dense, peut-être 1500 à 2000 l/s.km² si la savane boisée est plus claire mais pour des averses de 120 à 140 mm au lieu de 140 mm à 200. Ces chiffres seraient peut-être à majorer de 50 à 100 % pour des averses de type équatorial (140 à 200 mm). Les bassins de savane donneraient encore des débits plus forts, des débits de crues décennales de 3000 à 6000 l/s.km² sont courants par exemple.

Un exemple plus probant est fourni par le bassin expérimental de la Comba situé au Moyen-Congo, comme le Leyou et couvert par une pseudo-steppe.

Soumis à la même averse que le Leyou, il produirait une crue de 6000 à 8000 l/s.km². Un second exemple est fourni par la cité africaine de Brazzaville où les pentes sont assez faibles, mais dont le sol est damé par le piétinement, le débit pour la même averse serait du même ordre que ceux de la Comba. On voit donc que le remplacement de la forêt par la savane boisée conduit à multiplier les débits spécifiques de crue décennale par 3 ou 4, et le remplacement de la forêt par la savane ou mieux par la pseudo-steppe conduirait à multiplier par 10 à 12 les débits de crue.

Quelle est l'influence de la pente sur les débits? L'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer a cherché, en Côte d'Ivoire, à étudier les pentes boisées les plus fortes que l'on puisse trouver en Afrique Occidentale. Les bassins étudiés sont ceux du Nion et surtout du Gboa et du Loué, à proximité de la ville de Man. Les observations n'ont pas été poussées suffisamment longtemps pour qu'il soit possible de donner des chiffres définitifs. Ceux qui figurent au tableau que nous avons vu plus haut doivent être considérés comme de simples ordres de grandeur.

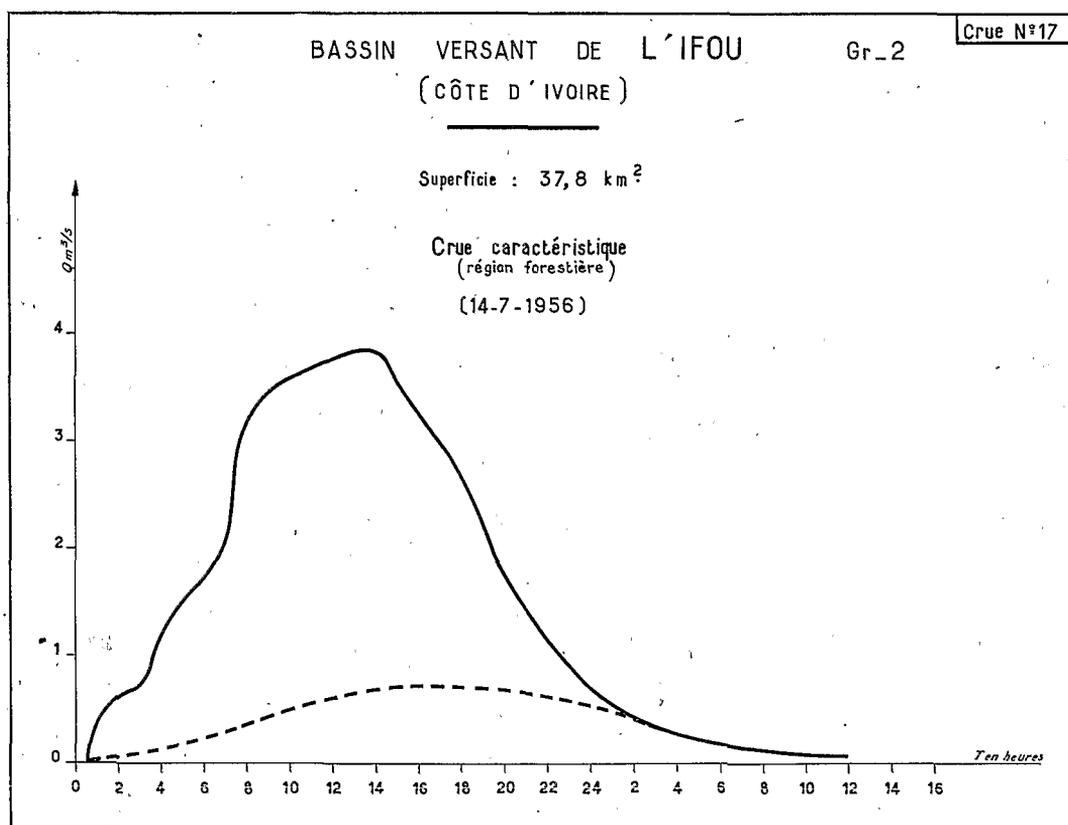
On voit que les débits de crue décennale ne commencent à augmenter que pour des pentes fortes: le bassin du Nion N° 2 présente par endroit des pentes de 20 %. Pour le bassin du Loué dont certaines parties sont inclinées à 100 %, on retrouve des valeurs élevées: de l'ordre de 4.000 l/s.km². Cependant, l'influence de la pente est beaucoup moins forte qu'en savane, où le même effet se fait sentir à partir de 5 % environ au lieu de 10 %. Les débits se rapprochent un peu de ceux observés à l'île de la Réunion ou la Nouvelle-Calédonie où, pour des pentes analogues, on trouve, en forêt, 10 à 15.000

l/s.km², mais pour des terrains presque saturés avant le début de l'averse et pour des pentes encore plus fortes.

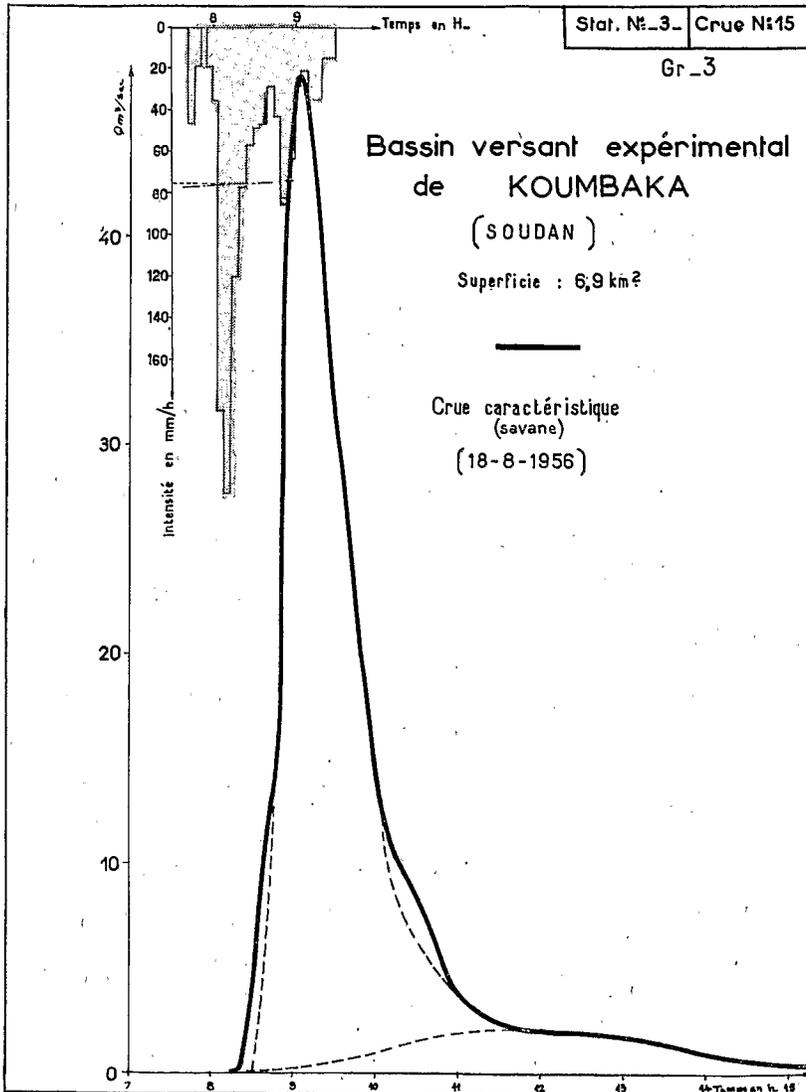
Jusqu'ici, l'influence du sol ne semble pas très marquée, beaucoup moins qu'en savane, par exemple au Moyen Congo où la moindre différence de perméabilité conduit, sur les petits cours d'eau, à des valeurs de crues très différentes comme d'ailleurs on l'observe dans les savanes tropicales au Nord de l'isohyète 700 mm.

Si nous mettons à part le cas des pentes très fortes ou exceptionnelles, on voit que le freinage de la couverture forestière est efficace ; il s'agit bien d'une régularisation, la quantité d'eau mise en réserve étant restituée en partie, de sorte que le coefficient de ruissellement qui mesure le rendement de l'averse est moins affecté que le débit maximum par la couverture forestière. Pour les pentes courantes, il varie sur nos bassins expérimentaux de 10 à 15 % pour la crue décennale, alors qu'en savane, genre pseudo steppe, les chiffres courants sont de 40 à 60 %, ce qui correspond à un rapport de 4, alors que le rapport des débits maxima est de 10.

Les graphiques ci-contre montrent l'allure des hydrogrammes de forêt comparés à un hydrogramme de savane.

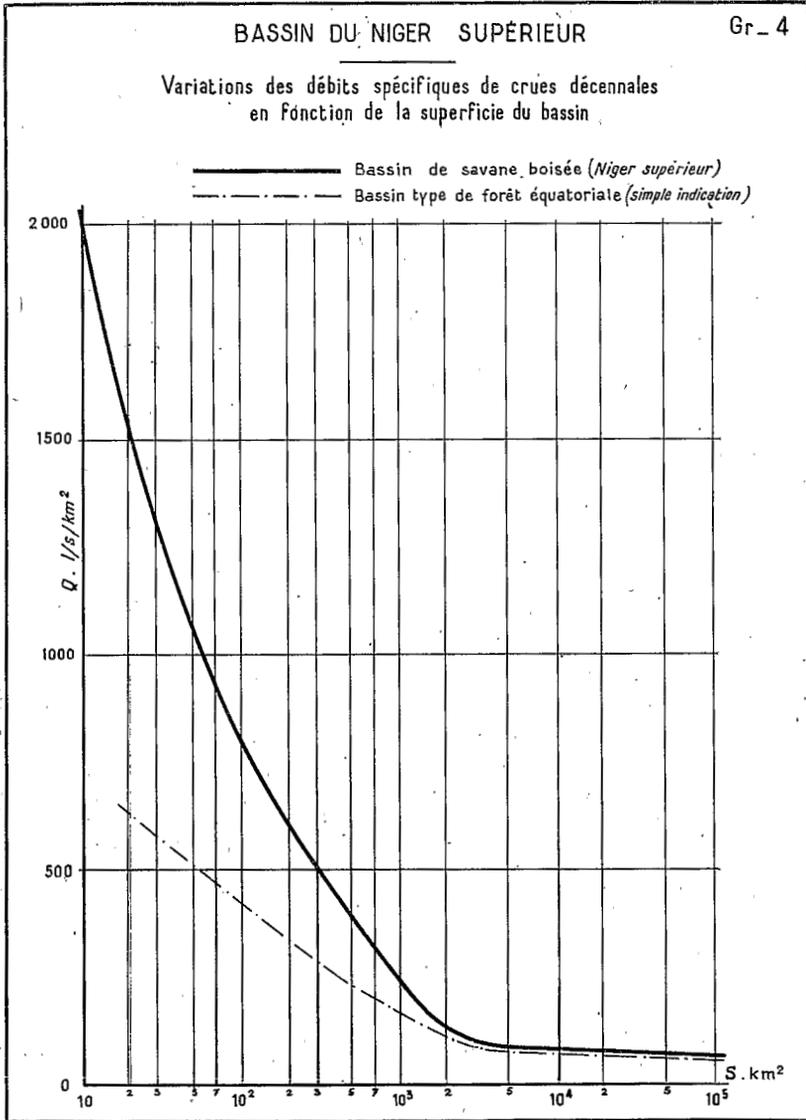


En général, les bassins de forêt de pente moyenne ou forte donnent, pour une superficie de 25 km², des crues de 15 h. à 25 h. (durée de ruissellement), alors qu'en savane, pour la même superficie, la durée de la crue varie entre 2 h. et 6 h. suivant la pente et la perméabilité du sol. Dans les deux cas, la durée est beaucoup plus longue dès que la pente devient très faible ou que le réseau hydrographique se dégrade.



III — ÉVOLUTION DES DÉBITS DE CRUE AVEC LA SUPERFICIE DU BASSIN VERSANT —

Pour une fréquence de crue donnée, il est commode de se référer à une courbe idéale représentant les valeurs du débit spécifique de crue de cette fréquence pour des superficies de bassin croissantes, les conditions de sol, de végétation, de pente et de climat restent inchangées. Ceci n'est jamais réalisé au sens strict du mot. Mais, dans certains cas particuliers, par



exemple le Niger supérieur à Koulikoro, les conditions naturelles sont à peu près voisines des conditions théoriques, (sous réserve encore que l'on choisisse les points correspondant aux moyens et aux petits bassins versants de façon à ce qu'ils représentent des caractéristiques moyennes par rapport à la superficie à Koulikoro).

Pour les régions forestières, on peut tracer une telle courbe en choisissant quelques points correspondant à des conditions moyennes, par exemple pour $H = 1800$ mm et une pente modérée.

Il est intéressant de comparer cette courbe à celle du Niger supérieur qui correspond à un bassin de savane boisée. On constate que l'écart entre débits spécifiques très importants, pour les petits bassins, décroît progressivement pour les grands.

Cette courbe n'est donnée qu'à titre indicatif.

Pour tout ce qui précède, on voit combien nos connaissances sont encore incomplètes et imprécises. Les chiffres que nous avons donnés ne doivent être considérés que comme des ordres de grandeurs car les observations portent à la fois sur des périodes trop courtes et un trop faible nombre de stations de jaugeage et de bassins expérimentaux, mais nous pensons qu'ils peuvent déjà offrir un aperçu sur l'action régulatrice de la forêt équatoriale sur le ruissellement.

UNION GÉODÉSIQUE ET GÉOPHYSIQUE INTERNATIONALE
INTERNATIONAL UNION OF GEODESY AND GEOPHYSICS

ASSOCIATION INTERNATIONALE
D'HYDROLOGIE SCIENTIFIQUE

INTERNATIONAL ASSOCIATION
OF SCIENTIFIC HYDROLOGY

SYMPOSIUM HANNOVERSCH-MÜNDEN

8.—13. SEPT. 1959

RÉGIONS BOISÉES ET EAU — LYSIMÈTRES

WOODLANDS AND WATER — LYSIMETERS

EXTRAIT

PUBLICATION N° 48 de A.I.H.S.

QUELQUES DONNEES SUR L'ÉCOULEMENT
DANS LES FORETS ÉQUATORIALES

par J. RODIER

GENTBRUGGE, 61, RUE DES RONCES (BELGIQUE)

B 12590