

## EMPLOI SYSTÉMATIQUE DES BASSINS VERSANTS ÉLÉMENTAIRES POUR LES ÉTUDES HYDROLOGIQUES DANS LES TERRITOIRES SOUS-DÉVELOPPÉS

M. J. RODIER  
(France)

### RÉSUMÉ

L'effort entrepris par la France dans ses territoires d'Outre-Mer a posé des problèmes difficiles aux hydrologues. Les données disponibles étaient inégales et, pour pallier à la faible durée des observations, il a été nécessaire d'installer systématiquement des petits bassins types.

Le principe de ces études consiste dans l'observation simultanée des débits et des facteurs de l'écoulement; il est possible, après cette étude, de reconstituer les débits à partir des précipitations relevées depuis au moins trente ans.

Une vingtaine de bassins élémentaires a été installée en Afrique Noire. Leur implantation correspond aux divers types de climat, de sol et de couverture végétale. Chaque bassin élémentaire est doublé de stations secondaires permettant de contrôler le caractère général du bassin principal et de préciser les modifications des caractéristiques de débits avec l'augmentation de superficie.

Après trois ans d'études, nous avons pu obtenir des renseignements précis sur les crues d'ordre decennal, des recoupements précieux pour les crues de fréquence plus rare et des données très nombreuses sur des questions mal connues dans ces régions, telles que : influence de la couverture végétale ou de l'extension des terres cultivées, variation du ruissellement suivant la nature du sol, décroissance du ruissellement au cours de la saison des pluies, ordre de grandeur des transports solides et de l'évapotranspiration, alimentation des nappes souterraines, etc...

Cette méthode coûteuse constitue dans les pays neufs un investissement rentable : elle fournit rapidement les données nécessaires alors que les méthodes classiques ne donneraient des réponses valables qu'après de nombreuses années d'observations.

Dans la plupart des pays d'Europe, l'hydrologue dispose, pour ses études, de relevés limnimétriques portant sur plusieurs décades et d'indications relatives aux plus fortes crues depuis trois ou quatre siècles. Ces données ne sont généralement pas suffisantes pour exclure les extrapolations, mais la masse d'observations disponibles suffit, très souvent, pour dégager les principales caractéristiques des divers régimes.

Pour la majorité des territoires sous-développés, les variations de débits des cours d'eau ne sont suivies que depuis peu de temps et, de ce fait, les méthodes à employer pour la recherche hydrologique doivent différer, dans une certaine mesure, des méthodes classiques utilisées en Europe.

C'est, en particulier, le cas des territoires français d'Outre-Mer où, depuis 1946, un gros effort d'équipement a été entrepris par la Métropole, notamment dans le domaine de l'hydraulique. La mise au point des projets a nécessité, de la part des hydrologues, des études poussées en des pays où nos connaissances en ce domaine étaient très fragmentaires.

Nous disposons, à cette époque, de relevés de hauteurs d'eau portant sur 20 à 40 ans pour 5 stations installées toutes sur de grands cours d'eau, pour un ensemble de territoires couvrant 6.000.000 de km<sup>2</sup> entre les latitudes 20° Nord et 25° Sud. A part quelques notions sur le régime tropical de transition, celui de la région de BRAZZAVILLE et celui des Hauts-Plateaux de Madagascar, nous ignorions tout des caractéristiques de l'écoulement.

Très rapidement, une centaine de stations de jaugeage du type classique ont été installées ou remises en état <sup>(1)</sup> et une partie d'entre elles a été étalonnée.

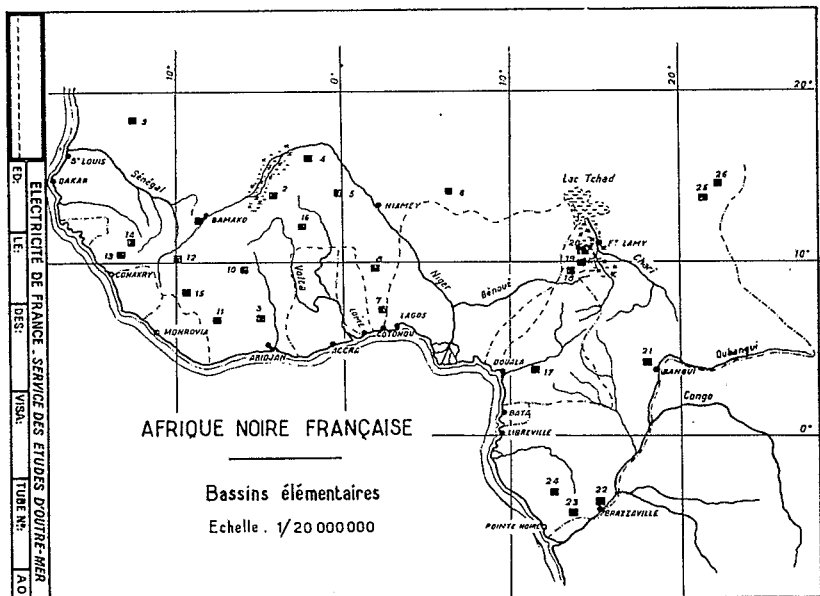
Mais, les observations à ces stations n'auraient pas pu nous permettre, même après quelques années, une bonne analyse des variations du débit. Nous n'aurions obtenu ainsi que très peu de données valables sur le régime des bassins de moins de 1.000 km<sup>2</sup>. Pour les bassins de superficie moyenne, les caractéristiques des divers régimes types, surtout pour le régime sahélien, ne pouvaient pas être déterminées avec suffisamment de sûreté et, surtout, les crues de fréquence rare seraient restées à peu près inconnues sauf pour certains grands fleuves.

Il fallait donc utiliser d'autres méthodes que l'étude statistique des relevés de débits des stations de jaugeage, sans pour cela abandonner notre réseau de base.

C'est pourquoi, dès 1950, nous avons commencé l'étude de bassins élémentaires et nous pensons que l'exposé de ce qui a été fait dans nos territoires pourra être de quelque utilité pour les hydrologues aux prises avec des problèmes analogues, dans d'autres pays neufs.

#### PRINCIPE DE LA METHODE :

Les variations du débit et de tous les facteurs conditionnels du régime sont étudiées, simultanément, sur un bassin versant d'une superficie assez faible pour que ces divers facteurs restent sensiblement homogènes et pour qu'aucun phénomène particulier ne puisse échapper à l'observation. Il n'était pas souhaitable de choisir des bassins trop petits, ce qui aurait nécessité l'observation des variations d'intensité pluviométrique pendant des temps très courts et n'aurait pas permis de tenir compte de l'influence du réseau hydrographique naturel. En général, la superficie de nos bassins principaux varie de 25 à 50 km<sup>2</sup>.



<sup>(1)</sup> Ce réseau comprend maintenant près de 500 stations dont 350 sont contrôlées directement par O. R. S. T. O. M.

D'autre part, nous étudions sur le terrain les variations des principales caractéristiques du régime, notamment des débits de crues, suivant l'importance de la superficie du bassin versant.

Après deux ou trois campagnes de hautes eaux, il est possible, sauf pour des régimes très difficiles, de déterminer l'hydrogramme pour une averse ou un ensemble d'averses donnés. On peut dire alors que l'étude du régime des débits est ramenée à l'étude du régime des précipitations.

Nous disposons à peu près partout de relevés pluviométriques portant sur 15 à 30 ans. Cette période comportait heureusement une série d'années de faible hydraulicité (1940-1949) et une autre série de forte hydraulicité (période actuelle). L'utilisation de la méthode des stations-années pouvait permettre l'extrapolation dans une certaine mesure.

Un certain nombre de bassins élémentaires a été installé par l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer dans la plupart des territoires : Cameroun, Afrique Equatoriale Française, Madagascar, etc ... ; mais, les études ont été effectuées de façon beaucoup plus systématique en Afrique Occidentale Française, par le même Organisme, sous la direction du Service Hydraulique de l'A.O.F. Dix bassins élémentaires correspondant aux conditions naturelles les plus fréquentes avaient été prévus. En fait, ce nombre semble insuffisant, il a été possible en groupant les besoins des divers Services utilisateurs, d'exploiter 16 bassins, suivant les mêmes méthodes et sous la même direction technique <sup>(2)</sup>. En outre, il est possible d'utiliser pour l'A.O.F., les données de bassins élémentaires installés en A.E.F. et au Cameroun, dans des régions de même climat. On voit là un des avantages de la méthode des bassins élémentaires : lorsque l'on connaît parfaitement sols, couverture végétale et climats, la transposition des résultats est facile et sûre.

Cet ensemble sera suffisant pour déterminer notamment les caractéristiques générales des crues dans les cas les plus courants et surtout les plus dangereux, pour tous les régimes allant du subdésertique saharien à l'équatorial de transition.

#### PRATIQUE DES ETUDES SUR LE TERRAIN :

Dans presque tous les cas, le bassin élémentaire, bassin principal, est étudié conjointement avec des bassins voisins, l'ensemble pouvant être surveillé par une seule équipe. La superficie du bassin versant principal varie de 10 à 80 et même plus fréquemment de 25 à 50 km<sup>2</sup>. C'est évidemment ce bassin qui sera équipé avec le plus de soin. Souvent, un second bassin de dimension analogue et correspondant à des caractéristiques très légèrement différentes lui est adjoint. Malgré des reconnaissances préliminaires de toutes natures, il est possible qu'après la première campagne d'études, le bassin principal s'avère peu représentatif du type de terrain que l'on désire étudier. Dans ce cas, il est facile de le remplacer par le second bassin pour lequel on disposera déjà des résultats d'une première campagne d'observations. Cette précaution est inutile dans les régions à régime très homogène.

Un ou deux bassins de plus petites dimensions situés à l'intérieur du bassin principal et un ou deux bassins plus grands le comprenant, permettent de suivre les variations des divers phénomènes hydrologiques en fonction de la superficie.

Enfin, une ou deux stations de jaugeage sur des bassins de 1.000 à 4.000 km<sup>2</sup> sont surveillées de près et étalonnées entre les averses. On complète, s'il le faut, le réseau pluviométrique de ce moyen bassin, mais une très forte densité d'appareils n'est pas nécessaire.

<sup>(2)</sup> 16 autres bassins ont été exploités ou le sont actuellement par O.R.S.T.O.M. dans les autres territoires d'Outre-Mer.

Les observations exigent un certain nombre d'enregistreurs des niveaux et des précipitations. Mais, il est impossible en pays sous-développés de n'utiliser que des enregistreurs. Outre le prix élevé d'un appareil et de son installation, on se heurte à des difficultés de personnel. Il est beaucoup plus facile de former un agent pour lire une échelle ou verser dans un récipient le contenu d'un pluviomètre que de faire changer correctement la feuille d'un appareil en pointant exactement les heures. C'est ainsi que certaines stations sont simplement équipées d'échelles limnimétriques ou même, pour les stations secondaires, d'échelles ne donnant que le maximum. De même, si l'on impose de placer au moins 2 pluviographes enregistreurs sur le bassin principal, il est rare d'en voir un 3ème. Il est assez fréquent de placer des totalisateurs très sommaires dans les lieux les moins accessibles. En certaines régions, le risque de vol conduit à faire garder les appareils les plus précieux et à construire les pluviomètres en matériaux sans intérêt pour les voleurs éventuels.

La densité des pluviomètres est suffisante pour permettre une bonne détermination de la hauteur de précipitations sur le bassin pour chaque averse et un aperçu de la répartition. Elle ne permettrait pas un tracé précis des isohyètes. Avec les reliefs assez peu accentués que nous rencontrons, il suffit de placer 10 pluviomètres au total par bassin principal.

Au centre, est installée la station météo où sont suivies : température, humidité, évaporation avec un évaporomètre PICHE. Un bac COLORADO enterré complète généralement cette petite station. Son implantation répond aux mêmes conditions naturelles que pour tous les bacs de l'O.R.S.T.O.M., c'est-à-dire dans le lit moyen d'un cours d'eau ou au voisinage immédiat. Ce point est très important pour les climats tropicaux ou sahéliens. Souvent, d'ailleurs, un second bac est observé simultanément si le site de la station météo n'est pas satisfaisant à cet égard.

Les stations de jaugeage principales sont équipées assez sommairement; déversoirs et venturi sont rares, car les difficultés d'accès et le caractère temporaire des études ne permettent pas l'exécution de travaux de génie civil considérables. Cependant, les fortes vitesses de crues qui dépassent généralement 2m/sec. imposent quelques aménagements. Généralement, les berges sont régularisées et une passerelle en tubes, facile à monter, est installée sur le lit apparent. La zone d'inondation est débroussée sur une bande étroite de façon à permettre les mesures de vitesses en troublant le moins possible l'écoulement naturel. Quelquefois, le lit est stabilisé par deux bandes de béton transversales à quelques mètres l'une de l'autre. Leur surface extérieure épouse exactement le fond du lit. Pour jauger rapidement, (les variations du plan d'eau étant brutales), nous employons la méthode de jaugeages continus, les mesures sur chaque verticale étant rapportées à une hauteur d'eau donnée; elles sont effectuées sans arrêt, dans un mouvement de va-et-vient d'une rive à l'autre.

Pour les mesures des transports solides, nous avons trouvé une solution satisfaisante en creusant une fosse pourvue d'un déversoir à l'aval; on détermine les transports en suspension dans l'eau qui passe par-dessus le déversoir et on prélève, entre chaque averse, le sable déposé dans la fosse. Certains de nos résultats figurent dans le rapport de M. FOURNIER concernant les transports solides.

L'étude de l'infiltration présente de grandes difficultés. Une indication repère est fournie par l'infiltromètre MUNTZ. La dispersion est grande. Elle peut être réduite en employant la méthode suivante : après étude du bassin par un pédologue, un certain nombre d'aires d'expérimentation est défini, chacune d'elles correspondant à un type de sol. Les mesures, qui ne sont faites que dans ces zones, doivent être effectuées par série de trois-au moins, dont on prend la moyenne. Les données ainsi recueillies sont comparées aux capacités d'infiltration obtenues par le bilan précipitation-débit, avec toutes les réserves qui s'imposent.

Même si le problème posé ne concerne qu'un des aspects de l'hydrologie, par exemple les crues, il y a tout intérêt à effectuer des mesures aussi complètes que celles

que nous exposons. On assure ainsi le plein emploi d'un personnel dont le prix de revient est élevé, en lui faisant observer d'autres phénomènes, tels qu'évaporation et transports solides. Les résultats ainsi obtenus s'avéreront rapidement de la plus grande utilité.

Un certain nombre d'aménagements qui n'intéressent pas directement les études hydrologiques sont à réaliser : des pistes sommaires assurent l'accès au bassin et facilitent la circulation à l'intérieur. Il faut veiller à ce que leur aménagement trouble le moins possible les conditions naturelles d'écoulement. Un campement du type de construction locale abrite le personnel pendant la saison des pluies, au voisinage de la station principale. Ce personnel, en saison sèche, retourne dans des logements plus confortables situés, en général, dans des localités importantes.

#### PERSONNEL :

Un ingénieur hydrologue suit, en général, deux bassins élémentaires. Un agent technique européen est responsable de chaque bassin (deux dans le cas de bassins très isolés, en zone subdésertique par exemple). L'agent technique européen aménage toutes les installations depuis le logement provisoire jusqu'aux passerelles de jaugeage, contrôle les observations des appareils, effectue des mesures de débits et d'infiltrations. Il doit être capable d'initiative, de changer de méthode de mesures, par exemple en cas de mise hors service d'un appareil, ce qui arrive quelquefois. L'ingénieur doit assister à 1/3 ou 1/4 des averses, participer aux mesures de façon à pouvoir modifier les procédés employés, s'il y a lieu, et à effectuer l'interprétation des mesures avec une connaissance visuelle des phénomènes, ce qui nous semble indispensable.

Des agents africains de qualification diverse changent les feuilles des enregistreurs, collectent les résultats des pluviomètres, assistent l'agent européen dans ses jaugeages, observent les appareils de la station météo, assurent l'entretien des divers aménagements, etc ...

La conscience professionnelle et l'esprit d'initiative du personnel sont absolument essentiels pour la réussite de ces études.

Il est plus important d'engager un bon agent technique européen que de perfectionner les appareils de mesure ou de multiplier les enregistreurs, ce qui ne veut pas dire que ces derniers points doivent être négligés.

#### INTERPRETATION :

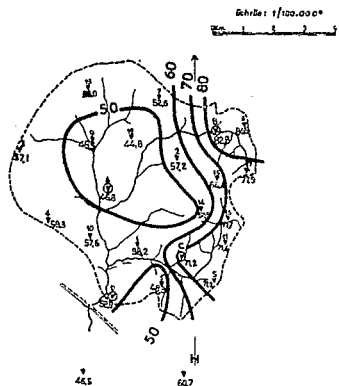
Une partie des mesures est dépouillée au jour le jour. Dès la fin de la saison des pluies, le personnel met au point les documents bruts : première phase du dépouillement.

On ne peut pas prétendre exploiter à fond toutes les données expérimentales dans l'année qui suit les campagnes de mesures. Les résultats obtenus devront pouvoir être consultés plusieurs années après pour des études de caractère différent et par des ingénieurs qui n'auront pas participé aux travaux sur le terrain, absolument comme des lectures de hauteurs d'eau de station classique. Il importe donc que les résultats bruts soient établis de façon indiscutable, présentés avec netteté et tous de la même façon, d'où la nécessité de tableaux standard : on trouvera, ci-après, des modèles de fiches d'averses (les fiches de jaugeages et hydrogrammes sont d'un type classique). Nous mettons également au point des diagrammes de hauteurs, documents plus valables que les hydrogrammes lorsque l'étalonnage d'une station s'étale sur plusieurs années. A ce stade de l'interprétation, il y aurait beaucoup à

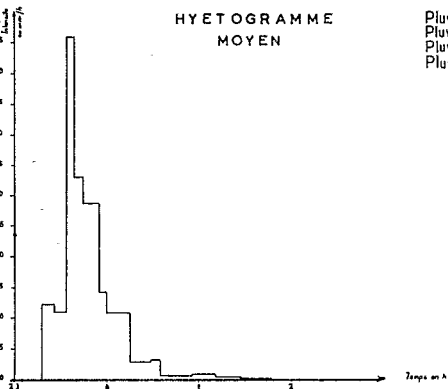
**DAHOMÉY**  
 Bassin Versant  
 de la LHOTO

ISOHYETES  
 pour l'averse n°14  
 du 4 - 10 - 56

H. min. : 44,8  
 H. max. : 86,5  
 H. moy. : 61,1



HYETOGRAMME  
 MOYEN

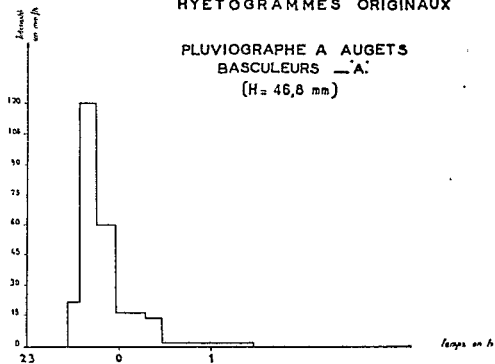


Pluviographe A  
 Pluviographe B  
 Pluviographe C  
 Pluviographe D

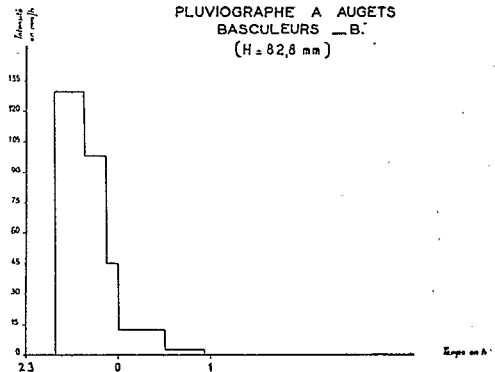
HYETOGRAMMES ORIGINAUX

Averse n°14

PLUVIOGRAPHE A AUGETS  
 BASCULEURS — A.  
 (H = 46,8 mm)



PLUVIOGRAPHE A AUGETS  
 BASCULEURS — B.  
 (H = 82,8 mm)



dire sur la mise au point des hyétogrammes moyens, mais nous nous écarterions du cadre de cette communication.

La suite de l'interprétation est effectuée par la méthode des hydrogrammes unitaires. Malgré ses imperfections résultant surtout de l'hétérogénéité du sol et des averses cette méthode est la seule qui puisse nous guider au milieu des innombrables corrélations des divers facteurs naturels. Mais, à chaque étape de l'étude, nous devons toujours avoir présent à l'esprit les limites de son champ d'application.

L'étude des hydrogrammes et la mise au point des diagrammes de distribution sont effectuées sous le contrôle du Service Central. Elles aboutissent à un tableau tel que celui que nous présentons ci-dessous. Ce tableau présente différentes variantes suivant les types de climats et l'importance du ruissellement hypodermique.

Les dernières phases de l'interprétation en vue des données à obtenir (crues décennales par exemple, ou de fréquence plus rare) se développent à PARIS. Les coefficients de ruissellement dont nous avons dû donner plusieurs définitions sont plus fréquemment utilisés que les capacités d'absorption, plus difficiles à préciser.

#### RESULTATS OBTENUS :

Les demandes les plus fréquentes des Services Techniques concernent les valeurs de crues de fréquence 1/10 à 1/50 des petits et moyens bassins versants. La campagne d'études qui s'achève actuellement est la troisième pour les trois premiers bassins équipés en A.O.F. Pour la plupart d'entre eux, nous ne disposons que des résultats de la première campagne. Aussi, nous ne sommes pas encore en mesure de présenter les tableaux donnant les débits spécifiques des crues, suivant les climats, le sol, la pente et la superficie des bassins versants, tableaux bien théoriques, d'ailleurs, et dont l'utilisation nécessitera toujours un certain effort d'interprétation. Nous pouvons, toutefois, donner des ordres de grandeurs des crues décennales valables dans de nombreux cas courants : une dizaine de types. Elles varient de 400 l/sec/km<sup>2</sup> en région forestière, climat équatorial de transition, pente assez faible, sol perméable, à 10.000 l/sec/km<sup>2</sup> en région sahélienne, assez déboisée, pente assez forte, sol imperméable.

Dans le petit tableau ci-après, nous avons rassemblé les résultats les plus sûrs de ces études, résultats que nous avons laissés volontairement sous une forme très sommaire.

Ces études ont mis en évidence un certain nombre de propriétés des crues d'A.O.F. que nous ne soupçonnions pas avant nos études sur bassins élémentaires.

a) La courbe bien théorique des débits spécifiques en fonction des superficies du bassin versant, se redresse brutalement dès que cette surface descend en dessous de 1.500-1.000 km<sup>2</sup>, pour les régimes tropicaux et tropicaux de transition.

b) Pour les régimes sahéliens, ce changement de direction se produit pour des superficies plus faibles, dans le cas le plus général, surtout si la dégradation hydrographique est rapide.

c) Les débits spécifiques de crues pour des bassins de moins de 2.000 km<sup>2</sup> ne présentent aucun rapport avec la hauteur de précipitation annuelle. Les régions septentrionales à sol dénudé, arrosé par des tornades violentes peuvent donner lieu, pour une pluviométrie annuelle de 4 à 500 mm. à des crues décennales de 8.000 ou même 10.000 l/sec/km<sup>2</sup> (bassin de 25 km<sup>2</sup>) tandis que les régions méridionales à régime tropical de transition avec forte végétation admettent des crues décennales de 500 à 2.000 l/sec/km<sup>2</sup>, en général, pour une pluviométrie annuelle de 1.200 à 2.200 mm.

Plus au Sud, il semble, d'après les quelques exemples étudiés, que le débit spécifique de crue n'augmente pas vers les zones à régime équatorial couvertes par la forêt, bien au contraire.

Bassins versants du MAYONKOURÉ - Tableau des Caractéristiques de Crues - Bassin n° 2. S = 85,4 Km <sup>2</sup>																											
Référence		l'Averse					Etat de Saturation du Sol				Pluie utile		Ruissellement			Absorption		Pluie efficace			Ecoulement hypodermique		Hydrogramme				
N°	Date	H <sub>max</sub> mm	H <sub>10%</sub> mm	H <sub>5%</sub> mm	I <sub>max</sub> mm/h	P <sub>1</sub> %	P <sub>2</sub> %	Ecart de Saturation	Indice de Saturation	H <sub>u</sub> mm	T <sub>u</sub> minutes	V <sub>r</sub> m <sup>3</sup>	K <sub>ru</sub> %	K <sub>r</sub> %	K <sub>re</sub> %	C <sub>a</sub> mm/h	H <sub>a</sub> mm	T <sub>a</sub> minutes	L <sub>a</sub> mm/h	V <sub>h</sub> m <sup>3</sup>	K <sub>h</sub> %	Lag heures	Rise heures	Q <sub>max</sub> m <sup>3</sup> /s	Type de la Crue		
20	9.8	25,4	13,1	17,6	30,0	2,5	18,5	12 h	3,0			158.000		10,5	32,0	8,8	5,8	26'	13,4	107.000	7,1	3h35	2h.45	23,2	Unitaire		
21	9.8	31,8	15,1	22,6	60,0	1,5	17,5 18,5	10 h 22 h	3,2	12,2	28'	252.000	24,2	19,5	33,2	20,0	8,9	17'	31,5	100.000	5,2	4h.00	2h.30	32,2	Unitaire		
30	19.8	59,6	42,9	49,9	90,0	0,5	0		0,1	35,5	35'	580.000	19,2	13,6	24,2	54,5	28,1	23'5	72,0	160.000	4,4	4h.00	3h.00	48,7	Unitaire		
37	26.8	21,4	16,9	18,8	45,0	4,5	18 10	5 h 22 h	6,9	10,0	24'	238.000	28,0	14,8	47,5	18,5	5,9	10'	35,5	144.000	9,0	3h.15	2h.45	31,6	Unitaire		
32/33	22.8	72,2	17,3	42,1	97,5					34,0	40'5	495.000	17,0	13,8	28,4	48,7	20,5	18'	68,0	141.000	3,9	3h.45	2h.40	44,7	Complexe		
32	22.8	50,0	0	23,3	97,5	1	4,5 7,0	3 h 21 h	1,7	20,7	23'	250.000	14,0	12,4	24,0	60,0	12,0	9'	79,0						Partielle Amont		
33	22.8	44,5	2,0	17,8	90,0	0	23,5 4,5 7,0	1h20 5 h 23 h	6,6	13,3	17'5	245.000	22,0	16,0	33,8	38,5	8,5	9'	57,5						Partielle Amont		
40/41	29.8	41,0	20,1	25,0	45,0					9,6	25'5	205.000	25,0	18,7	33,8	18,0	7,1	15'5	27,3	195.000	9,1	3h.15	2h.20	27,4	Complexe		
40	—	36,6	10,0	15,8	45,0	0,5	7	12 h	1,0	8,6	23'1	180.000	24,6	20,4	33,0	18,0	6,4	14'3	27,0	95.000	7,0				Partielle Amont		
41	—	14,2	2,7	9,2	30,0	1,5	15,8 7,0	3 h 15 h	4,6			(25.000)		15,9		(15,0)		(1'2)	(22,5)	100.000	12,7					Hypercon- limite	
52/53	11.9	48,5	9,6	34,0	180,0					31,2	22'3	280.000	10,5	9,7	18,2	84,0	18,0	10'	104,0	65.000	2,9			27,5	Complexe		
52	—	34,0	5,6	25,8	180,0	0	3,5	23 h	0,1	24,2	17'	180.000	9,0	8,2	13,0	94,0	15,0	8'	109,0						Unitaire		
53	—	17,7	0,5	8,2	150,0	0	25,8 5,5	2 h 25 h	6,0	7,0	5'3	100.000	16,0	14,3	39,0	58,0	3,0	1'8	97,0						Partielle Aval		



*Crues Décennales sur Quelques Bassins Types d'A.O.F. (Superficie 25-50 km<sup>2</sup>)*

Régime Hydrologique	Pente	Sous-Sol	Sol	Végétation	Préci. an. mm	Crue déc. l/sec/km <sup>2</sup>
Sahélien	assez forte	grès imperméable	pratiquement inexistant	clairsemée	600	8 à 10.000
Sahélien	forte	grès ferrugineux	argileux imperméable	clairsemée culture	500	7 à 8.000
Sahélien (1)	assez forte	grès ferrugineux	m. terrain + latérite	clairsemée	500	4.000
Sahélien	faible	granitique	argileux très imperméable	graminées	450	1.600 à 1.700
Sahélien	assez forte	granitique	légèrement perméable	clairsemée	450	1.500
Tropical (2)	très forte	andésite	imperméable	clairsemée	800	8 à 10.000
Tropical	forte	grès imperméable	latéritique très perméable	savane claire	1.000	1.500 à 1.800
Tropical transition	modérée	gneiss	latérite assez perméable	savane claire	1.350	300 à 400
Tropical transition	forte	quartzite	perméable sablonneux	savane boisée assez dense	1.600	400 à 500
Tropical transition	forte	grès	perméabilité moyenne	savane boisée	2.100	2.000
Equatorial	modérée	granito-gneiss	assez perméable	forêt	1.300	400 à 600
Equatorial	assez forte	sable	imperméable (3)	cité africaine	1.500	4 à 6.000

(1) Bassin mixte constitué en partie par des terrains du type précédent.

(2) Tendances sahéliennes.

(3) Sable argileux damé par piétinement.

d) L'action de freinage de la végétation est très efficace. Nous en avons eu une preuve évidente par l'étude des régions sahéliennes Sud, pour lesquelles la croissance des graminées dans le courant du mois d'août réduit peut-être le débit de crue dans le rapport de 1 à 1/2 ou de 1 à 1/3. Au contraire, l'extension des cultures conduit, par destruction de la végétation arbustive permanente, à une augmentation du coefficient de ruissellement. La transformation de terrain naturel couvert de végétation en cité indigène augmente considérablement le ruissellement malgré les très nombreux arbres fruitiers et l'absence presque totale de revêtement bitumineux. A BRAZZAVILLE, par exemple, la crue décennale passe de 600-1.000 l/sec/km<sup>2</sup> (?) en terrain naturel, à 4.000-6.000 l/sec/km<sup>2</sup> en cité indigène.

Ces faits étaient connus mais n'avaient pas encore donné lieu à des estimations chiffrées.

e) En régions équatoriales, le ruissellement est très faible pour les raisons suivantes : la dispersion des pluies en deux saisons, si elle favorise la végétation conduit à des averses isolées, rencontrant rarement des conditions de saturation favorable. Si la hauteur d'eau est faible, comme au Dahomey, nous arrivons à des

résultats assez surprenants. C'est ainsi qu'une averse homogène de 50 mm., tombant en terrain assez perméable en fin de saison des pluies, n'a donné lieu à aucun ruissellement et à peu près pas d'écoulement, alors qu'elle aurait provoqué une crue de peut-être 4 à 5.000 l/sec/km<sup>2</sup> dans de nombreuses régions sahéliennes. Les maxima annuels sont alors très irréguliers d'une année à l'autre. Les valeurs sont plus régulières en zone forestière.

f) En zone sahélienne, jusque vers l'isohyète 300 mm., nous avons pu expliquer, avec les bassins versants élémentaires, de nombreuses singularités dont la présentation nous entraînerait trop loin. Précisons simplement que si le sol est relativement imperméable, et si les pentes sont modérées, à plus forte raison si elles sont élevées, le volume d'eau produit par les bassins de tête est largement suffisant pour la plupart des besoins; la concentration des pluies en une saison dont le retour est régulier constitue un élément favorable. La difficulté, par contre, consiste à mettre en réserve ces apports en les préservant autant que possible de l'évaporation.

g) L'influence de la pente est forte surtout dans les régions septentrionales.

h) Mais, c'est surtout la perméabilité des couches superficielles du sol qui joue le rôle essentiel. Nous donnerons deux exemples de bassins ayant le même substratum de grès ordoviciens donc identiques, d'après la carte géologique, les superficies et les pentes étant du même ordre.

Sur l'un de ces bassins (précipitation annuelle 600 mm.), le grès est à peu près nu. Sur l'autre, il disparaît sous une couverture latéritique assez épaisse (précipitation annuelle 1.000 mm.). Les crues décennales correspondent à 1.000-9.000 l/sec/km<sup>2</sup> dans le premier cas, 2.000 à 2.500 l/sec/km<sup>2</sup> dans le second cas.

Nous avons estimé indispensable, à la suite de ces constatations, de faire étudier tous nos bassins par des pédologues.

Pour les crues des grands cours d'eau, l'étude de bassins élémentaires présente également un grand intérêt. Elle permet souvent de préciser le degré de probabilité des rares crues connues. Elle donne des précisions sur les valeurs limites des coefficients d'écoulement et de ruissellement ainsi que sur le coefficient d'abattement à affecter aux précipitations maxima ponctuelles. Enfin, elle peut permettre la reconstitution artificielle d'une crue en décomposant le grand bassin en bassins plus petits.

Les bassins élémentaires ne sont pas utilisés exclusivement pour l'étude des débits de crues : dans de nombreux cas, nous avons pu obtenir rapidement les volumes moyens annuels disponibles. Les résultats obtenus par les mesures de transports solides complètent les mesures de matériaux en suspension faites sur les grands fleuves.

L'observation des bacs Colorado a permis d'étendre nos connaissances sur l'évaporation des nappes d'eau libre en zones soudanienne et sahélienne. Un des rapports présentés à ce Congrès par M. BOUCHARDEAU fait la synthèse de ces résultats et de ceux recueillis à nos stations météorologiques du TCHAD.

Dans l'Est de ce dernier territoire, les études de ruissellement vont être menées conjointement avec celle de l'inféro-flux dans le lit des cours d'eau à sec, 10 mois par an, ce qui permettra de préciser les ressources en eaux souterraines de cette région.

Pour les études de climatologie comme pour celles concernant le ruissellement, il y a tout intérêt à observer simultanément au moins deux bassins élémentaires de régime différent. La dispersion des résultats pour un seul bassin est assez grande, leur examen est, parfois, un peu décevant si on les considère isolément alors que les comparaisons ne peuvent que mieux dégager les tendances des diverses régions types.

Le coût des études sur petits bassins est assez élevé. Il varie beaucoup avec les conditions économiques locales et, surtout, avec les difficultés d'accès. Pour en donner une idée, indiquons que les frais de fonctionnement relatifs à un groupe de deux

bassins distincts (un ingénieur, deux agents techniques européens) atteignent 130 % environ des mêmes frais relatifs à une de nos équipes hydrologiques classiques exploitant, en moyenne, une quarantaine de stations de jaugeage normales, réparties sur 500 à 800.000 km<sup>2</sup>.

Le prix de revient élevé de cette méthode limite son champ d'application, mais on peut voir, par ce qui précède, qu'elle permet d'obtenir rapidement des résultats substantiels. Elle peut donc rendre de très grands services soit lorsque l'on veut approfondir l'étude hydrologique d'un bassin déjà étudié par les méthodes classiques, en raison de l'importance des réalisations envisagées, cas des projets élaborés par Electricité de France sur le KOULOU et le KONKOURE, soit lorsqu'il s'agit de dégager rapidement les caractéristiques hydrologiques de régimes très mal connus.