Bridy

ECA/EAC/TRRL

Paris, 8 Août 1975

SYMPOSIUM SUR L'HYDROLOGIE DES CRUES

NAIROBI - Octobre 1975

-==ooOoo==-

PREDETERMINATION des DEBITS de CRUES en AFRIQUE OCCIDENTALE sur les PETITS BASSINS VERSANTS

par J.A. RODIER
Chef du Service Hydrologique de l'ORSTOM
Conseiller Scientifique à ELECTRICITE DE FRANCE

INTRODUCTION.-

Il est généralement difficile en AFRIQUE Tropicale de recueillir, par enquête sur place, des informations sur les crues anciennes des petits cours d'eau, ceci pour diverses raisons dont une des plus importantes est la faible densité de la population. En AFRIQUE Occidentale, malgré des précipitations orageuses à forte intensité, les débits de crues ne sont pas très élevés dans de très nombreux cas, par suite des faibles pentes et de la faible proportion de surface cultivée. C'est pourquoi, au début de ce siècle, les constructeurs de chemin de fer utilisant probablement des normes valables pour la FRANCE, n'ont pas eu trop de difficultés, mais la construction de nombreux petits barrages après la seconde guerre mondiale et le développement du réseau routier à la même époque se sont effectués à la fois dans des régions où les crues n'étaient pas très à craindre et, également, dans certaines zones où le ruissellement était particulièrement violent, en particulier au SAHEL ou dans des régions limitrophes. Un grand nombre de barrages et de ponts ont été détruits et une étude générale des débits de crues s'est imposée aux Administrations responsables : Génie rural et Services de l'Hydraulique dépendant des Travaux Publics. Le Service Fédéral de l'Hydraulique de l'AFRIQUE Occidentale Française a commandé à l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer l'aménagement et l'étude de dix ensembles de bassins représentatifs typiques, en vue de recherches sur les crues décennales à la fois pour le calcul des débouchés de ponts

15 OCT. 1975
O.R.S.T.O.M.
Collection de Référence
n° B 7761 Hydr.

et de déversoir de petits barrages. L'Administration du Génie rural de divers territoires, surtout en zone sahélienne, a commandé un certain nombre d'études régionales comportant des bassins représentatifs. De son côté, l'ORSTOM a donné la priorité à l'étude des crues sur petits bassins et en a aménagé un certain nombre à ses frais. Au total, près de cent ensembles de bassins représentatifs ont été étudiés en AFRIQUE francophone à l'ouest du CONGO.

Chaque bassin avait fait l'objet d'une interprétation conduisant aux caractéristiques de la crue décennale. Elles ont été suivies de quelques synthèses régionales. Une première synthèse pour l'AFRIQUE Occidentale a été effectuée par C. AUVRAY, Inspecteur général de Recherches à l'ORSTOM, en 1961.

A la demande du Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques, cette note a été reprise et complétée par J. RODIER en 1965. Ces études partent des caractéristiques des crues décennales sur chaque bassin représentatif, telles qu'elles ressortent des analyses effectuées pour chaque bassin, analyses souvent entreprises sous la direction d'un des deux auteurs.

A cette époque, tous les calculs étaient effectués manuellement et les modèles de transformation pluie/débit étaient très simples. On déterminait la forme de l'hydrogramme par la méthode de l'hydrogramme unitaire pour les averses à fort ruissellement, le volume de la crue était déterminé par la méthode des résidus (analyse coaxiale) : généralement, la hauteur d'eau ruisselée (ruissellement superficiel) était calculée à partir d'un facteur principal : la hauteur de précipitation de l'averse, et d'un facteur secondaire : qui était généralement un indice d'humidité. On a souvent utilisé l'indice d'humidité de KOHLER par exemple. On a utilisé parfois un troisième facteur lié à l'intensité de l'averse. Mais sur les premiers bassins représentatifs l'analyse a été beaucoup plus sommaire.

Dans tous les cas, pour le calcul de la crue décennale, on partait de l'averse décennale pour laquelle on admettait une distribution des intensités semblables à celle que l'on trouvait en général pour les très fortes averses, et l'état de saturation du sol (indice d'humidité) correspondant aux conditions que l'on rencontrait généralement au milieu de la saison des pluies. On se basait sur la hauteur de cette averse, l'indice d'humidité et l'intensité moyenne de l'averse ou un autre indice lié au diagramme d'intensité de l'averse, pour calculer avec les graphiques établis par la méthode des résidus la lame

d'eau ruisselée, d'où le volume de la crue. Le débit maximal était déterminé par l'hydrogramme unitaire. Ce procédé est incorrect : en fait, il faudrait utiliser dans un bon modèle de transformation pluie/débit une série chronologique d'averses individuelles s'étendant sur quarante ans, d'où on déduirait les crues correspondantes, et déterminer par l'analyse statistique les caractéristiques de la crue décennale, méthode qu'il est impossible de mettre en oeuvre sans ordinateur.

Mais si incorrecte qu'elle soit, notre méthode, utilisée avec prudence, conduit à des résultats assez sûrs dans 98 % des cas.

Pour permettre l'extension géographique des résultats, il a été nécessaire d'analyser l'influence des divers facteurs du ruissellement en conduisant cette analyse de telle façon que le nombre de facteurs à considérer soit le plus faible possible.

La hauteur de précipitation décennale est un facteur essentiel. Elle a fait l'objet d'une étude de synthèse demandée par le CIEH, étude de synthèse qui a conduit en 1965 à une première série de cartes des hauteurs de précipitations journalières décennales pour les pays francophones d'AFRIQUE Occidentale.

Pour cette région de l'AFRIQUE, il y a une corrélation pas trop lâche entre hauteur de précipitation moyenne annuelle P et hauteur journalière de précipitation décennale. Fort heureusement, cette dernière varie assez lentement avec la hauteur de précipitation annuelle P, elle passe en effet de 85 mm à 130 mm lorsque P varie de 300 mm à 1 400 mm. On a considéré trois zones climatiques : l'ensemble des zones sahéliennes et subdésertiques (P varie de 150 mm à 750 mm), les régimes tropicaux et tropicaux de transition (P varie de 800 à 1 600 mm) et les régions forestières.

En outre, pour l'étude des volumes de crues, on a considéré le coefficient de ruissellement : rapport entre volume de ruissellement et volume de pluie qui lui a donné naissance, qui ne varie pas très vite avec la hauteur de précipitation correspondante. On a ainsi presque éliminé l'influence de la hauteur de précipitation décennale à l'intérieur de chacune des trois zones, ainsi que celle des autres facteurs climatiques.

Il restait à examiner l'influence des facteurs suivants : la superficie du bassin, la pente, la perméabilité du sol, la couverture végétale, l'utilisation des sols, la forme du bassin et les caractéristiques du réseau hydrographique. On a négligé l'influence des deux derniers facteurs. On doit retenir

cependant que, pour les bassins versants très allongés, ou ceux dont le réseau hydrographique est constitué de lacs et de marécages, le temps de ruissellement doit être sérieusement augmenté, et dans le second cas le coefficient est nettement plus faible que dans le cas normal.

La couverture végétale naturelle est liée au climat et il en est tenu compte implicitement dans la division en trois zones dont il est question plus haut.

Quant à l'utilisation des sols, dès que le bassin dépasse 10 km^2, elle n'intervient pas dans la plupart des cas rencontrés en AFRIQUE Occidentale, par suite de la proportion très importante de terre en jachères et des pentes faibles, en général, mais il est certain que pour les régions à culture intensive les chiffres obtenus par notre méthode sont à majorer, car il est bien rare hélàs que des mesures efficaces soient prises pour limiter le ruissellement et l'érosion.

Pour l'étude du volume de ruissellement, c'est-à-dire celle du coefficient de ruissellement, on a donc considéré en définitive la superficie, la pente et la perméabilité du sol, la pente étant définie à la fois par l'indice de pente global : pente longitudinale moyenne, en éliminant 10 % du cours de la rivière à l'amont, 10 % à l'aval, et par la pente transversale des vallées définie de la même façon. On a donc classé les bassins en six catégories de R 1 à R 6.

Pour la perméabilité on a défini cinq catégories de P 1 à P 5 depuis les bassins imperméables jusqu'aux bassins à sol très perméables (sabloneux ou volcaniques). Pour les bassins représentatifs étudiés, on a été guidé pour le classement par la hauteur limite de précipitation au-delà de laquelle il y a ruissellement : par exemple, si cette hauteur de précipitation limite est de 20 mm après deux jours sans pluie, le bassin est considéré comme très perméable. Mais, pour l'extension géographique à d'autres bassins on ne peut pas utiliser ce procédé et le choix de la catégorie est assez subjectif.

Pour l'étude des durées de ruissellement et du temps de montée (rise time), pour l'averse décennale, le sol étant complètement saturé ou près de l'être, le facteur perméabilité ne joue pas un très grand rôle, en conséquence, seules la superficie et la pente ont été prises en compte pour chacune des trois zone considérées.

On a donc tracé, à partir des données des bassins représentatifs les diagrammes de variations du coefficient de ruissellement K_R en fonction de la superficie pour chaque couple de catégorie R et P.

En fait, comme le nombre de bassins étudiés était insuffisant, on a mis au point à la fois dans chaque zone l'ensemble des courbes correspondant à une catégorie P_n donnée et toutes les catégories R.

Pour les réseaux de courbes définissant la durée de ruissellement et le temps de montée en fonction de la superficie du bassin, on a considéré les diverses catégories R.

On a complété la détermination de la forme de l'hydrogramme par l'étude du rapport K entre débit moyen ruisselé pendant la durée de ruissellement de la crue et le débit de pointe. On a étudié les variations de K en fonction de la superficie pour les trois zones étudiées.

Calcul des caractéristiques de la crue décennale :

La suite des opérations à effectuer, telle qu'elle est précisée dans la note de 1965, est la suivante :

1°/ - Déterminer les caractéristiques physiques du bassin versant : superficie, pente longitudinale et transversale, classement dans l'une des catégories de pente R_i et de perméabilité P_i sur cartes photographies aériennes et autant que possible après un bref examen du terrain au cours duquel on recherchera les traces des fortes crues qui permettront certaines comparaisons avec les résultats du calcul.

2°/ - Déterminer la hauteur de précipitation décennale d'après les cartes établies pour les divers pays francophones d'AFRIQUE de l'Ouest.

3°/ - Déterminer le coefficient d'abattement : rapport entre hauteur de précipitation moyenne décennale sur la superficie du bassin et en un point. La note donne une série de valeurs de ce coefficient pour des superficies variant de 0 à 200 km². On en déduit la hauteur de précipitation décennale P 10.

4°/ - Calculer, pour la crue décennale, le coefficient de ruissellement K_R d'après le graphique correspondant à la zone géographique considérée et aux indices P et R choisis pour le bassin. On trouvera ci-contre un exemple de ces graphiques.

On en déduit la lame d'eau ruisselée en mm E_R :

$$E_R = \overline{P_{10}} \times K_R$$

et le volume de ruissellement :

$$V_R = E_R \times S_{km2} \times 1\,000$$

5°/ - Déterminer la durée du ruissellement ou temps de base T_B à partir du graphique correspondant à la zone géographique considérée et à la pente R. T_B est donné en heures.

6°/ - On en déduit le débit moyen pendant la durée du ruissellement en m3/s :

$$M = \frac{VR}{T_B \times 3\,600}$$

7°/ - On choisit la valeur de K : rapport entre le débit maximal de crue décennale Q et M, qui varie suivant la couverture végétale (c'est-à-dire ici la zone géographique) et la superficie S suivant les valeurs données dans la note de 1965.

On en déduit Q = KM K varie entre 1,7 (forêt tropicale) et 4 (bassin à ruissellement très violent, superficie de l'ordre de 100 km^2); V_R et Q sont les données essentielles pour l'Ingénieur.

8°/ - Pour les très petits bassins, pour lesquels l'hydrogramme de la crue décennale n'est plus unitaire puisque la durée de l'averse décennale est trop longue, on donne des règles spéciales pour le calcul du temps de base.

9°/ - Pour les bassins de superficie comprise entre 120 km^2 et 200 km^2, on donne également des règles particulières.

Limites de la méthode :

L'estimation de la hauteur de pluie décennale en un point n'est pas obligatoirement précise. L'altitude joue un certain rôle. Au-delà de 1 000 m il y a certainement une réduction notable de la hauteur de précipitations décennales pour une hauteur de précipitations annuelles, réduction qui atteint 20 % peut-être, mais il y a peu de massifs montagneux importants en AFRIQUE Occidendale, de sorte que cette cause d'erreur joue rarement; il y a en plus l'influence d'exposition particulière : position du point étudié par rapport à une ligne de collines par exemple.

Le choix du coefficient d'abattement pour passer de la pluie ponctuelle à la pluie sur une surface donnée reposait sur des données insuffisantes.

Le calcul de la crue décennale, pour chaque bassin représentatif, base de nos abaques, n'est pas à l'abri de toute critique. Certains chiffres sont probablement assez précis, d'autres, c'est le cas le plus fréquent, sont

affectés par le réflexe de l'Ingénieur qui tend à présenter un chiffre un peu trop élevé pour disposer d'une marge de sécurité, pour d'autres enfin, la période d'observation ne comprend pas assez de fortes crues ou en contient trop, ce qui peut conduire à des surestimations ou des sous-estimations. Il en résulte que les points expérimentaux sur lesquels s'appuyent nos graphiques donnant K_R sont trop hauts ou trop bas, et comme en plus ces points ne sont pas très nombreux, le tracé de ces courbes ne peut pas être déterminé avec précision.

Le choix des indices de R et surtout de P pour chaque bassin représentatif ne peut pas être toujours très rigoureux.

Mais ce qui est de beaucoup le plus difficile c'est le choix des mêmes indices pour le bassin dont on doit prédéterminer les caractéristiques de la crue, et c'est là de loin la cause des plus fortes erreurs !.. La notion de perméabilité est une notion globale qui a un certain rapport avec la perméabilité déterminée sur des échantillons de sol, mais ce rapport est très indirect. Il suffit sur un très petit bassin à sol perméable qu'il existe une place de village au sol battu bien imperméable pour changer complètement les caractéristiques de la crue.

En fait, la note de 1965 est un simple guide qui ne peut guère être appliqué avec sécurité que par des Hydrologues et encore en considérant chaque cas avec beaucoup de bon sens, comme le montre le simple exemple plus haut.

On a cherché à faire mieux depuis, mais les résultats de nos recherches sont loin, actuellement, de nous satisfaire.

Recherches effectuées depuis 1965 pour améliorer le calcul des caractéristiques de crues décennales.-

1°/ - Hauteur de pluie décennale :

L'ORSTOM, à la demande du CIEH et du Ministère Français de la Coopération, a entrepris la révision et le contrôle systématique de toutes les données brutes concernant les hauteurs de précipitations journalières en AFRIQUE Occidentale. Dans un premier temps, on élabore et on publie le "fichier en l'état" à partir des relevés originaux des observations, après corrections des erreurs les plus grossières. Ce travail est actuellement terminé et les données sont en cours de publication. Dans un second temps, on établit le "fichier opérationnel" après corrections des erreurs systématiques (déplacement du pluviomètre ou changement inopportun de l'éprouvette), ceci est exposé dans une autre communication.

2°/ - Etude du coefficient d'abattement :

Ce coefficient a été défini plus haut. C'est dans ce domaine que les progrès ont été les plus importants. Les principes de l'analyse des données brutes en vue de l'étude de ce coefficient avaient été définis de façon rigoureuse par Y. BRUNET-MORET, mais il manquait une série d'études sur bassins représentatifs comprenant les recherches nécessaires sur les facteurs susceptibles d'exercer une influence sensible sur sa valeur. Ce travail a été effectué par G. VUILLAUME. Il a été achevé en 1974.

On doit rappeler que cette notion de coefficient d'abattement n'a vraiment de signification simple que dans les régions où le relief est peut important, ce qui est le cas pour une grande partie de l'AFRIQUE Occidentale. Dans de telles conditions, les paramètres de la loi de distribution statistique des précipitations journalières ne varient qu'avec la hauteur de précipitation annuelle, mis à part la bande côtière de MAURITANIE et du SENEGAL, et le cas de conditions particulières locales dont il sera question plus loin. On rappelle que la loi utilisée est une loi de PEARSON tronquée dont l'expression est :

$$F_1 (x) = F_1 (0) \frac{1}{\Gamma \gamma} \int_x^{\infty} (dx)^{\gamma - 1} e^{-ax} a \, dx$$

le paramètre γ est constant sous les réserves faites plus haut et égal à 0,7, a varie avec la hauteur de précipitation moyenne. Mais certaines conditions géographiques locales : relief isolé, forêt, plans d'eau proches de la station, conduisant à des modifications de γ. L'altitude doit également jouer un rôle important dès qu'elle dépasse 1 000 m, ce qui est assez rare en AFRIQUE Occidentale.

Or, l'étude du coefficient d'abattement doit s'appuyer sur les données d'une station pluviométrique observée sur une longue durée et qui ne soit pas soumise à l'influence de perturbation locale, d'où la nécessité de partir d'une loi de distribution fictive correspondant à des stations ne présentant aucune des singularités signalées plus haut, et dont les résultats sont représentés par les courbes des cartes de précipitations décennales avec $\gamma = 0,7$.

Une étude complète a été faite sur un bassin représentatif de 126 km^2, le bassin du RISSO (Cameroun), que l'on a découpé en sous-bassins de divers surfaces, afin d'examiner l'influence des différents facteurs physiographiques sur le coefficient d'abattement, la même étude a été faite de façon plus extensive sur trois autres bassins (et leurs sous-bassins) : ceux du GHORFA (Mauritanie) 1 125 km^2, du BAM BAM (Tchad) 1 200 km^2, et de l'AMITORO (Côte d'Ivoire) 170 km^2. Chacun étant jumelé avec une station pluviométrique observée sur une longue durée dont on a ramené, chaque fois que cela s'est avéré nécessaire, le coefficient γ

de la loi de PEARSON à la valeur 0,70.

Les résultats sur les quatre bassins sont concordants : si on élimine l'influence du relief, le coefficient d'abattement varie en sens inverse :

- du logarithme de la superficie du bassin,
- du logarithme de la récurrence de la pluie journalière pour une surface donnée,
- du paramètre d'échelle de la loi de distribution des précipitations journalières.

Il varie dans le même sens que :

- la hauteur annuelle de précipitation.

En simplifiant, compte tenu des conditions particulières de l'AFRIQUE Occidentale, on peut déterminer K par la relation suivante :

$$K = 1 - (9 \log r - 42 \; 10^{-3} \; P + 152) \; 10^{-3} \log S$$

r = récurrence de l'averse exceptionnelle considérée en années,

P = hauteur annuelle de précipitation en mm,

S = superficie du bassin en km^2,

On en a déduit l'abaque ci-joint.

Pour l'isohyète annuelle 1 000 mm, le coefficient d'abattement présenterait les valeurs suivantes pour l'averse décennale :

S	=	3 km^2	K	=	0,95
S	=	10 km^2	K	=	0,9
S	=	25 km^2	K	=	0,83
S	=	50 km^2	K	=	0,80
S	=	100 km^2	K	=	0,76
S	=	150 km^2	K	=	0,74
S	=	200 km^2	K	=	0,72

Rappelons que dans la note de 1965, on admettait K = 0,95 pour $25 < S < 50$ km2, valeur nettement pessimiste. Bien entendu, en altitude et en région à très fort relief, l'étude serait entièrement à reprendre.

Retenons que le calcul de la crue décennale doit partir, tout au moins en AFRIQUE Occidentale, non pas de la loi de distribution réelle des précipitations journalières, mais d'une loi fictive avec = 0,70 ou des valeurs des précipitations décennales tirées des cartes. Ceci n'est valable ni pour les régions côtières ni pour les régions en altitude où il est prudent de partir de la loi de distribution réelle.

On rencontre les meilleures conditions pour de telles recherches sur des bassins pourvus d'au moins quinze postes pluviométriques, avec observations de bonne qualité pendant au moins quatre ans.

3°/ - Méthodes d'analyse des relations pluies/débits sur un bassin donné

Depuis 1965, il y a eu des progrès très importants dans ce domaine. Sur la plupart des bassins représentatifs observés actuellement, les données brutes relatives aux précipitations et aux débits font l'objet de traitement à l'ordinateur, ce qui élimine pratiquement les erreurs de dépouillement et des modèles satisfaisants ont été mis au point pour la transformation des averses en crues. Il est donc possible d'utiliser, comme entrées,les données d'un poste pluviométrique observé pendant une longue période, de se donner une hypothèse de base sur un diagramme moyen et d'intensités pluviométriques, d'en déduire les crues correspondantes, la crue décennale étant déterminée par une étude statistique correcte. Ceci est relativement facile sur les bassins représentatifs observés actuellement, mais le traitement des données des bassins représentatifs anciens pose de sérieux problèmes. Le travail de préparation des données brutes pour la perforation et la perforation elle-même correspondent à une masse de travail considérable. En outre, le traitement automatique nécessite des observations pluviométriques ne comportant que peu de lacunes et de bonne qualité; un nombre non négligeable de bassins représentatifs anciens ne remplissent pas cette condition et ne peuvent être analysés que manuellement. Pour ces raisons, il n'a pas été possible jusqu'à cette date de procéder à une révision des données des crues décennales qui ont servi de base à la note de 1965.

4°/ - Etudes des relations pluies/débits en fonction des facteurs conditionnels

Ces facteurs conditionnels sont la superficie du bassin, la pente, la perméabilité, les caractéristiques du réseau hydrographique, le pourcentage et le type de culture.

a) - Effet de la pente :

Une étude systématique géomorphologique, dont il sera question un peu plus loin, a permis de préciser les classes de relief pour les bassins représentatifs utilisés dans la note de 1965. Mais on a constaté que l'indice de

pente ne représente pas toutes les caractéristiques du relief. Il y a de sérieuses exceptions. Par exemple, sur un bassin sahélien, si la moitié amont est à forte pente et si pratiquement les affluents venant de cette zone accidentée sont concentrés sur un seul cours d'eau au pied des collines, ce cours d'eau peut avoir assez de puissance pour arriver à l'extrémité aval du bassin sans fortes pertes; si les affluents ne vont confluer qu'à l'extrémité aval de la zone à faible pente, une partie importante des eaux de crue se perdra. Dans les deux cas, l'indice de pente est modéré, la faible pente de la moitié aval du bassin comprensant la forte pente de la moitié amont, dans le premier cas, le coefficient de ruissellement est assez fort, dans le second cas, il est beaucou plus faible.

Une étude générale sur l'écoulement annuel sur bassins représentatifs par P. DUBREUIL et G. VUILLAUME, a mis en évidence l'influence de la dénivelée spécifique produite de l'indice de pente global par la surface du bassin, un tel indice donnerait peut-être de meilleurs résultats que l'indice de pente global.

Il est peu probable que l'on arrive à trouver un indice de pente facile à déterminer et donnant satisfaction dans tous les cas.

b) - Effet de la perméabilité des sols

On avait espéré pouvoir déterminer directement un indice de perméabilité à partir des cartes pédologiques établies en grand nombre en AFRIQUE Occidentale, et on avait entrepris systématiquement sur un premier ensemble de bassins représentatifs une série de mesures relatives aux caractéristiques liées aux mouvements de l'eau dans le sol et qui sont déterminées le plus communément par les Pédologues. Le travail de terrain et de laboratoire, très important, n'a pas suffisamment progressé pour conduire à des conclusions utilisables. D'autre part, les cartes pédologiques de l'AFRIQUE de l'Est,mises au point d'après une classification basée sur la pédogenèse, laissent entrevoir de très sérieuses difficultés pour déduire de ces cartes les caractéristiques physiques des sols. Ces essais ont cependant permis de perfectionner l'appareillage et la méthodologie pour les essais de perméabilité MÜNTZ, qui peuvent fournir une première indication sur la perméabilité du sol en place.

De toutes façons, les discusssions entre Pédologues et Hydrologues ont bien mis en évidence le fait suivant : au sens strict un bassin versant est très rarement homogène : il comprend au moins trois types de sols correspondant : aux plateaux, aux pentes des versants et aux fonds de vallées, et généralement ces trois types de sols présentent une perméabilité différente. On rencontre déjà cette hétérogénéité foncière sur un bassin d'un ou deux km^2.

Ce qui est caractéristique d'une région homogène, c'est une association bien définie de divers types de sols : un bassin représentatif peut correspondre à des conditions moyennes ou à un cas limite dans les proportions relatives des divers types de sols que comporte l'association. Considérons un exemple caractéristique : les bassins de l'ADER DOUTCHI au Niger : les plateaux sont constitués de grès plus ou moins disloqués à ciment argileux : formation très perméable, les pentes comportent des colluvions argileuses et des terrains marno-calcaires imperméables, sur les bassins de superficie inférieure à 100 km^2 les sols des bas-fonds couvrent une faible superficie et jouent un rôle négligeable. On voit que dans un cas analogue, la notion de perméabilité globale n'est pas simple.

Pour l'étude de ces bassins de l'ADER DOUTCHI, on considère un cas limite : les bassins de Galmi pour lesquels la proportion de sols de plateaux est très faible, de l'ordre de 10 %, et un cas assez courant : les bassins de la MAGGIA (HAMZA et ALOKOTO) dont les plateaux de grès couvrent 90 à 95 % de la superficie totale. Pour le calcul des crues, on peut ne considérer que la superficie des pentes est à classer dans la catégorie P1 ou P2.

Pour les bassins sahéliens à substratum cristallin, on est également amené à considérer des associations de types de sols, mais beaucoup plus complexes. Pour le calcul de l'écoulement annuel on a défini des bassins-types correspondant à une association de types de sols donnée, avec des proportions approximatives de chacun d'entre eux. C'est peut-être par l'intermédiaire de ces bassins-types qu'on arrivera à mieux classifier les bassins représentatifs, en ce qui concerne la perméabilité, et à donner des règles simples pour déterminer dans quelle catégorie on doit ranger tel bassin non étudié. On voit que la pédologie et la géomorphologie jouent un grand rôle mais difficile à éclaircir.

Au cours de l'étude géomorphologique signalée plus haut, il a été constaté une assez bonne corrélation entre la densité de drainage $\frac{\Sigma L i}{A}$ et l'aptitude au ruissellement, malheureusement, là encore, il y a un bon nombre d'exceptions.

Il semble que l'emploi systématique du simulateur de pluie permettra d'arriver à une bonne idée de la perméabilité de divers types de sols qui constituent un bassin, mais il reste à obtenir que l'emploi sur le terrain d'un simulateur couvrant une superficie suffisante soit rapide et peu coûteux. Il sera nécessaire de comparer les résultats obtenus avec le simulateur sur les bassins représentatifs connus, et sur ceux à étudier.

c) - Forme de l'Hydrogramme

Une méthodologie simple a été mise au point par M. ROCHE, pour déterminer les trois caractéristiques principales de l'hydrogramme standard en éliminant totalement l'influence de l'opérateur. La montée de l'hydrogramme est assimilée à une droite dont l'intersection, avec la courbe de tarissement précédente assimilée à une droite, donne le début du ruissellement. La partie descendante de l'hydrogramme est assimilée à une hyperbole dont l'intersection, avec la courbe de tarissement qui suit, déterminée en coordonnées logarithmiques, marque la fin du ruissellement. On arrive ainsi à une détermination précise de la durée de ruissellement ou temps de base.

Mais aucune étude systématique nouvelle n'a été entreprise en AFRIQUE Occidentale pour permettre le calcul de chacune des caractéristiques de l'hydrogramme : temps de montée, temps de base, etc... à partir des données physiques du bassin versant, ce qui permettrait l'établissement de formules telles que celle de SNYDER.

C O N C L U S I O N :

Les résultats obtenus concernent l'AFRIQUE Occidentale, ils sont certainement applicables à d'autres régions tropicales, mais une grande prudence s'impose dans l'extrapolation de ces résultats. En particulier en AFRIQUE Orientale, avec le relief très marqué et les grandes différences de climat sur de faibles distances, les méthodes de l'AFRIQUE Occidentale sont probablement inutilisables sur de vastes régions.

Beaucoup reste encore à faire pour améliorer la détermination des crues des petits bassins versants. Ce qui reste le plus délicat, c'est le classement des bassins à étudier dans une catégorie donnée de perméabilité globale à partir d'une simple inspection sur le terrain avec quelques mesures rapides.

L'influence de la dégradation hydrographique en milieu sahélien est également difficile à évaluer dès qu'elle est assez marquée. Il est peu probable que l'on parvienne un jour à procéder à des calculs sûrs avec un simple ensemble de cartes ou de plans topographiques. Même après des progrès sensibles dans la recherche, un minimum d'expérience en hydrologie et d'esprit critique restera toujours nécessaire.

Un problème de caractère beaucoup moins scientifique, mais qui n'est pas à négliger, est celui du transfert des connaissances des Hydrologues aux Ingénieurs, les premiers devront faire un effort d'abord pour ne pas employer une terminologie incompréhensible pour les seconds, et ensuite pour diffuser les résultats de leurs travaux. C'est d'ailleurs un des buts de la présente réunion.

BIBLIOGRAPHIE.-

1. - BRUNET-MORET Y. "Précipitations journalières de l'origine des stations à 1965".

- République du TCHAD (1973, 643 p. impr.)
- République du MALI (1974, 1 081 p. impr.)
- République de HAUTE-VOLTA (en cours d'impression)
- République de MAURITANIE (en cours d'impression)
- République du SENEGAL (en cours d'impression)

Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques - Ministère Français de la Coopération - ORSTOM, Service Hydrologique, Paris

2. - BRUNET-MORET Y. "Etude générale des averses exceptionnelles en AFRIQUE Occidentale".

- République de HAUTE-VOLTA (1963, 19 p. multigr., 16 fig.)
- République du NIGER (1963, 18 p. multigr., 15 fig.)
- République du MALI (1963, 23 p. multigr., 17 fig.)
- République du SENEGAL (1963, 18 p. multigr., 17 fig.)
- République du TCHAD (1966, 27 p. multigr., 9 fig.)
- Rapport de synthèse (1968, 17 p. multigr., 14 fig.)

Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques - ORSTOM, Service Hydrologique, Paris.

3. - DUBREUIL P. et al. "Recueil des données de base des bassins représentatifs et expérimentaux - Années 1951 - 1969".

ORSTOM, Service Hydrologique, Paris, (1972, 916 p. impr.)

4. - RODIER J., AUVRAY C. "Estimation des débits de crues décennales pour les bassins versants de superficie inférieure à 200 km2. en AFRIQUE Occidentale".

Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques - ORSTOM, Service Hydrologique, Paris (1965, 30 p. impr., 13 fig.)

5. - BRUNET-MORET Y. et ROCHE M. "Etude théorique et méthodologique de l'abattement des pluies"

Cah. ORSTOM, Série Hydrologie n° 4 - MAI 1966.

6. - TOUCHEBEUF de LUSSIGNY P. "Calcul automatique de l'abattement des pluies ".

Cahier ORSTOM, Série Hydrologie, vol. VII n°1 - 1970

7. - VUILLAUME G. "L'abattement des précipitations journalières en AFRIQUE Intertropicale. - Variabilité et précision de calcul.

Cahier ORSTOM, Série Hydrologie, vol. XI, n° 3- 1974

8. - DUBREUIL P., MORELL M. et SECHET P. "Comportement et interaction des paramètres physiques de petits bassins versants semi-arides et intertropicaux".

Cahier ORSTOM, Série Hydrologie vol. XII, n°2 - 1975.

9. - RODIER J. "Evaluation de l'écoulement annuel dans le SAHEL Tropical africain ".

ORSTOM - Mémoires et Travaux, 121 p. - 1975

DIV-261156

COEFFICIENT DE RUISSELLEMENT

Régimes sahéliens et subdésertiques

(P varie de 150 à 800 mm.)

PERMÉABILITÉ P3

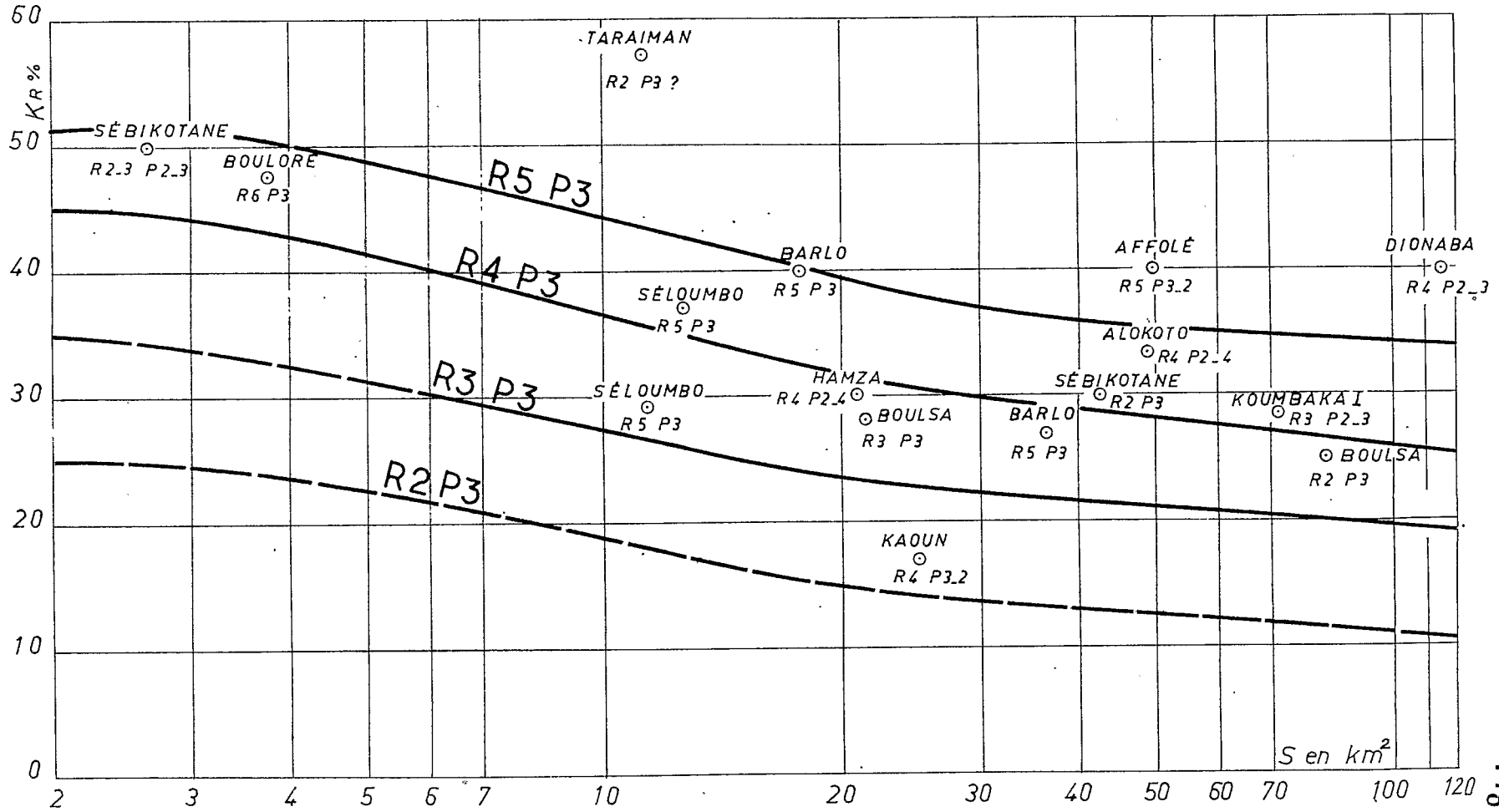

Fig: 1

Variation du coefficient d'abattement avec la surface pour différentes pluviosités interannuelles (pour un paramètre d'echelle s = 20)

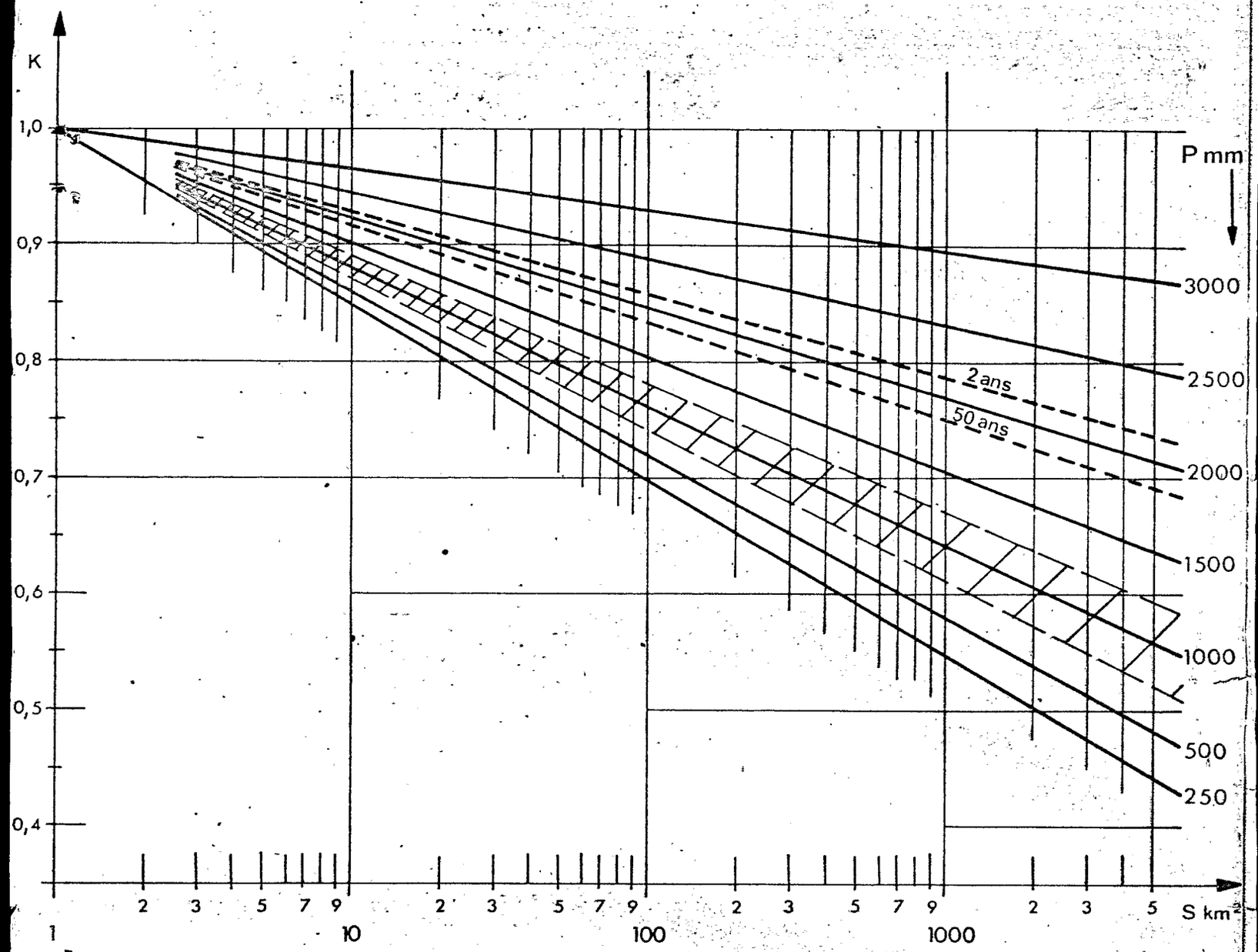

Fig: 2