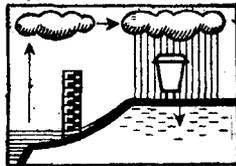


ESTIMATION DES DEBITS
DE CRUES DECENNALES POUR
LES BASSINS VERSANTS
DE SUPERFICIE
INFERIEURE A 200 KM²
EN AFRIQUE OCCIDENTALE



J. RODIER

Ingénieur en chef à l'E.D.F.

Chef du Service hydrologique de l'O.R.S.T.O.M.

C. AUVRAY

Directeur de recherches à l'O.R.S.T.O.M.

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

COMITÉ INTERAFRICAIN D'ÉTUDES HYDRAULIQUES



ESTIMATION des DÉBITS de CRUES DÉCENNALES

pour des BASSINS VERSANTS de SUPERFICIE INFÉRIEURE à 200 km²

en AFRIQUE OCCIDENTALE

J. RODIER
Ingénieur en Chef à E.D.F.
Chef du Service Hydrologique
de l'ORSTOM

et

C. AUVRAY
Directeur de Recherches
à l'ORSTOM

juillet 1965

réimpression juillet 1989

A la fin de 1961, M. Claude AUVRAY, Directeur de Recherches à l'ORSTOM, mis à la disposition du Comité Inter-Africain d'Etudes Hydrauliques, présentait, à la Conférence de Monrovia et à la première réunion du CIEH à Cotonou, une note intitulée : "Estimation des débits de crues décennaux en régime tropical". Cette note, faisant le point de l'état de nos connaissances en ce domaine, mettait à la disposition des projeteurs des abaques simples permettant d'obtenir des estimations correctes pour des fréquences décennales.

Depuis, le développement des études sur bassins expérimentaux et l'étude systématique des averses en Afrique Occidentale permettent maintenant l'élaboration de règles plus précises et plus sûres pour l'estimation des crues décennales sur les petits bassins.

C'est pourquoi, le Comité Inter-Africain décida de procéder à une refonte de cette première note, à partir de ces données, sans attendre l'étude générale de synthèse des bassins expérimentaux et représentatifs de l'ORSTOM, qui exigera plusieurs années.

A cette fin, une convention a été passée, le 19 décembre 1963, entre M. le Ministre Délégué, Chargé de la Coopération, et le Directeur Général de l'ORSTOM, par laquelle cet organisme s'engageait à effectuer l'opération suivante :

- "1 - Mise à jour, refonte, vérification de la note CIEH de décembre 1961, relative à l'estimation des débits de crues décennaux en régime tropical, en ce qui concerne les bassins dont la superficie est inférieure à 200 km².
- 2 - Le principe des abaques sera maintenu et, si possible, amélioré, particulièrement en ce qui concerne les pluies. On déterminera jusqu'à quelle valeur de la pluviométrie annuelle ce principe d'estimation semble applicable.
- 3 - L'étude de la dispersion des résultats, par rapport aux chiffres réels des bassins connus, sera abordée afin de rechercher l'ordre de grandeur de la précision des abaques proposées.
- 4 - On tentera de mieux définir les indices d'aptitude au ruissellement par des exemples concrets."

La présente note rend compte de cette étude. Il est bien entendu que, dans cette note, le terme "Afrique Occidentale" doit être pris dans son sens le plus large : en fait, c'est l'Afrique à l'ouest du Congo et au sud du Sahara, débordant très largement au-delà des régimes tropicaux.

CONDITIONS GÉNÉRALES DE LA FORMATION DES CRUES EN AFRIQUE OCCIDENTALE

Le phénomène de la formation d'une crue, matérialisé par le tracé de l'hydrogramme (courbe des débits en fonction du temps), dépend de plusieurs facteurs conditionnels du régime.

D'abord, des facteurs constants dans le temps :

- topographie du bassin (superficie, forme pente)
- nature du sol.

L'altitude, facteur essentiel dans les régions tempérées, apparaît, le plus souvent, secondaire en régime tropical.

Puis, des facteurs variables dans des proportions différentes d'une année sur l'autre et, généralement, d'un moment de l'année à l'autre :

- précipitations (hauteurs, intensités, fréquences)
- état de saturation du bassin
- couverture végétale
- évapotranspiration
- influence des nappes souterraines
- débordement dans les lits majeurs ou les cuvettes intérieures.

Il est facile de voir que ces facteurs sont liés physiquement les uns aux autres suivant des lois complexes. Ce ne sont donc pas des variables indépendantes. En outre, leurs actions propres sur les volumes écoulés s'effectuent parfois en sens contraire.

Si l'on essaie d'interpréter statistiquement le facteur "pluie" seul, pendant une période de plusieurs décennies, on constate qu'il est, en général, possible, d'ajuster une loi mathématique simple jusqu'à des fréquences de l'ordre de 1/20 pour les précipitations de 24 h, 1/50 ou peut-être 1/100 pour les précipitations annuelles.

Si l'on se livre à la même expérience sur les chiffres des débits maximaux de crues, on constate tout d'abord que seuls les cours d'eau d'une certaine importance, par exemple pour des bassins supérieurs à 10 000 km², présentent des relevés de durée suffisante pour permettre des études statistiques directes.

Pour les moyens cours d'eau les plus favorisés, une dizaine ou une quinzaine de relevés annuels permettent des corrélations susceptibles de donner lieu à des évaluations des débits de crues de fréquence assez faible.

Enfin, pour les cours d'eau de superficie inférieure à 200 km², il n'existe aucune série de relevés permettant des études statistiques directes. Le seul moyen d'évaluer les caractéristiques des crues de fréquence rare con-

siste à étudier quelques années sur petits bassins expérimentaux, l'opérateur permettant de passer des pluies aux débits et de reconstituer les crues de fréquence rare à partir de leur cause principale sur ces petits bassins, les averses de caractère exceptionnel : par ce terme, nous entendons non seulement les averses de hauteur exceptionnelle mais également les averses de hauteurs plus courantes, survenant dans des conditions de saturation exceptionnelles.

BASE DE L'ÉTUDE

L'obtention de données pour l'estimation de crues exceptionnelles a été un des soucis majeurs du Service Hydrologique de l'ORSTOM depuis 1950 et les nombreuses destructions de ponts et de barrages survenues de 1950 à 1960 ainsi que le souci des Services Techniques d'assurer, par des réservoirs, l'alimentation des petits centres, les ont conduits à aider au maximum l'ORSTOM dans cette voie. C'est ainsi qu'en 1955, le Service Fédéral de l'Hydraulique confiait à l'ORSTOM la réalisation d'un programme de dix bassins expérimentaux en vue du recueil de données essentielles pour l'estimation des crues exceptionnelles.

Au total, 90 bassins représentatifs et expérimentaux ont été aménagés jusqu'à la fin de 1964 pour l'ensemble de l'Afrique Noire d'Expression Française. Certains avaient été conçus uniquement en vue de l'étude des fortes crues mais, pour d'autres, l'objet principal était la détermination d'autres caractéristiques hydrologiques ; sur tous ces bassins, on a fait en sorte que les aménagements et le programme de mesures permettent l'étude des plus forts débits : en particulier, la disposition des stations de jaugeages était telle que la courbe hauteurs-débits avait une forme simple jusqu'aux valeurs maximales et les hydrologues avaient pour consignes d'exécuter des mesures jusqu'à ces valeurs maximales.

Certains de ces bassins ont été suivis pendant trop peu de temps pour permettre une interprétation méthodique ; pour d'autres, il n'a pas encore été possible de procéder au dépouillement ; enfin, certains sont d'un caractère trop particulier pour être d'un secours quelconque pour une interprétation générale.

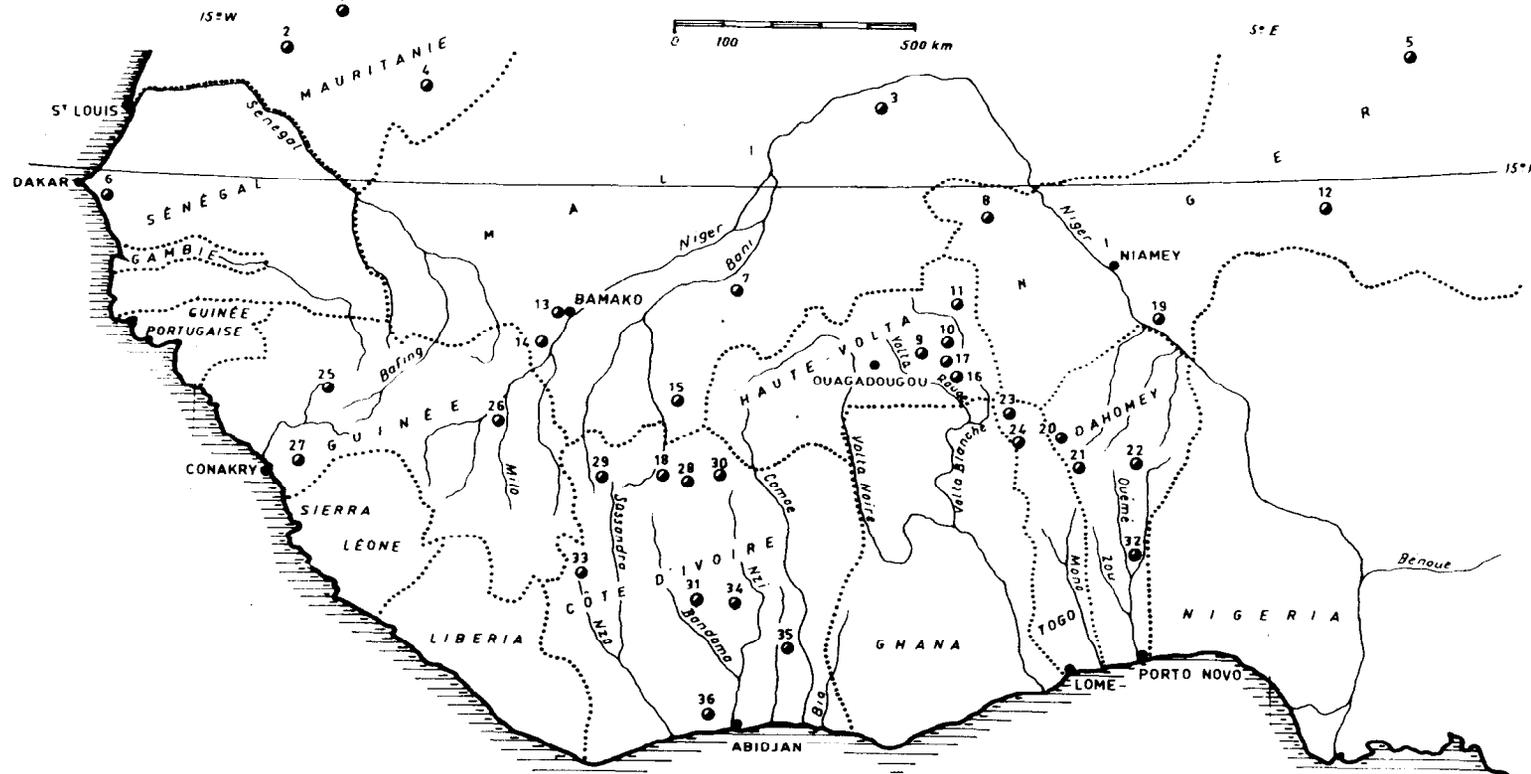
En définitive, 60 bassins environ peuvent fournir actuellement des données utilisables pour une étude d'ensemble du ruissellement.

Une synthèse générale est prévue pour l'exploitation de ces données, elle s'étendra sur plusieurs années et exigera, sur le terrain, d'importants compléments concernant plus particulièrement la géomorphologie et la pédologie. Mais il a été possible d'effectuer en quelques mois une synthèse préliminaire conduisant à des données plus précises et plus sûres que celles de 1961.

D'autre part, la hauteur de précipitation décennale a fait l'objet d'études systématiques pour le Sénégal, le Mali, le Niger, la Haute-Volta, le Tchad et d'études partielles en Côte d'Ivoire, au Dahomey et dans d'autres pays voisins. On a donc obtenu ainsi une seconde base pour l'étude des crues exceptionnelles.

_ AFRIQUE DE L'OUEST _

Situation des bassins représentatifs et expérimentaux



1_ OUED SELOUMBO

OUED MOKTAR

2_ DIONABA

OUED ALI

3_ TIN ADJAR

4_ AFFOLÉ

5_ IN TIZIOUEN

6_ SEBIKOTANE

7_ KOUMBAKA

8_ CAGARA

9_ ZAGTOULI

10_ MORO NABA

11_ BOULSA

12_ HAMZA - ALOKOTO

13_ DOUNFING

14_ DJITIKO

15_ FARAKO

16_ SELOGEN

17_ BOULBI

18_ BAGOE

19_ KOULOU

20_ BOUKOMBE

21_ TERO (DJOUGOU)

22_ TIAPALOU WENOU

GORI BOUNIEROU

23_ NADJOUDI

24_ NAPABOUR - KOUMFAB

25_ TIMBIS

26_ KANDALA

27_ MAYONKOURE

28_ SOLOMOUGOU - KORHOGO

29_ BAULÉ (ODIENNÉ)

30_ FERKESSEDOUGOU

31_ KAN (BOUAKÉ)

32_ LHOTO

33_ NION - GBOA - LOUE

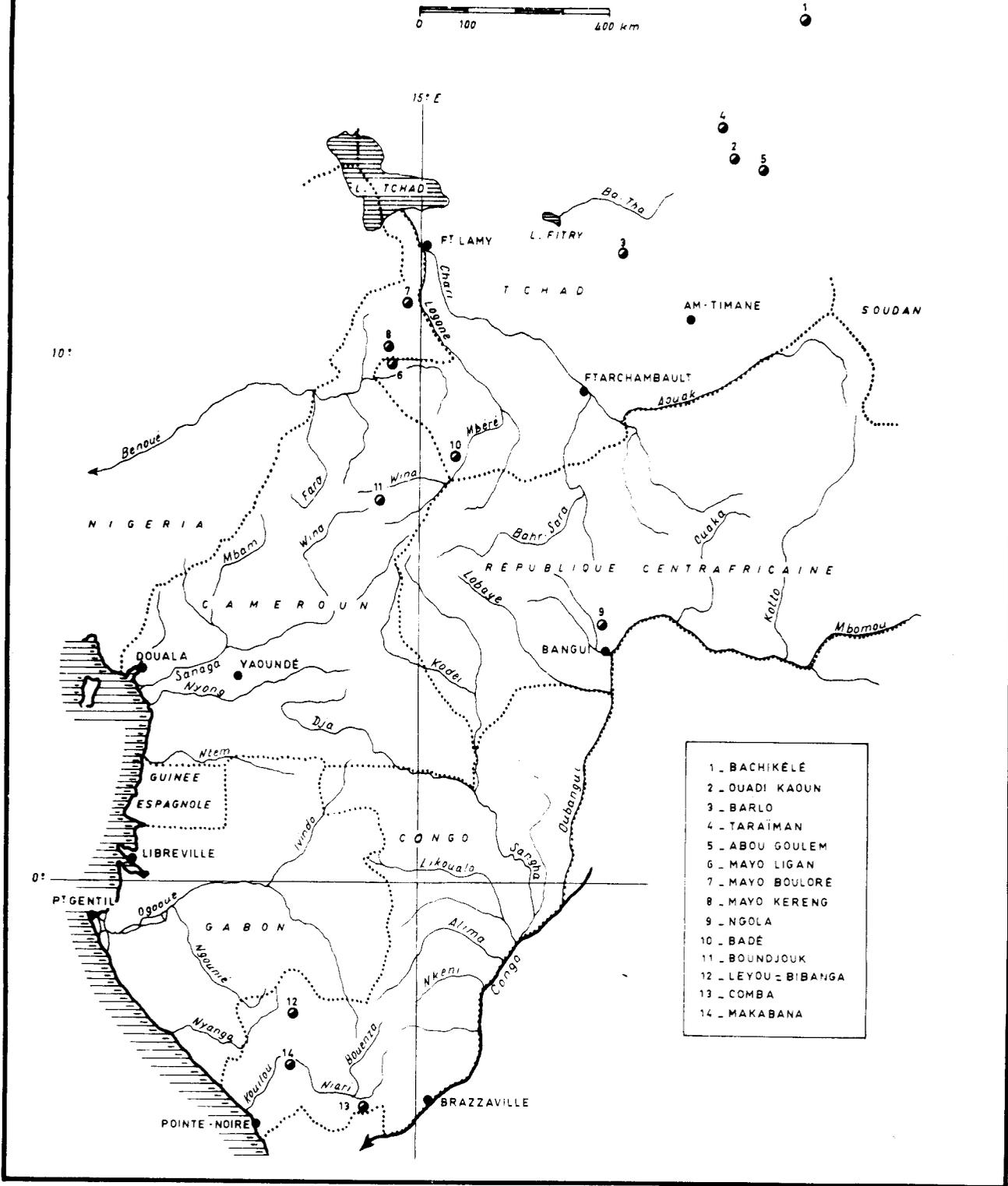
34_ IFOU

35_ BAFO - SITOU - MANSO

36_ AGBEBY

_ AFRIQUE CENTRALE _

Situation des bassins représentatifs et expérimentaux



DIV. 261154

PRINCIPES DU CALCUL DES CRUES EXCEPTIONNELLES SUR LES PETITS BASSINS

Si la crue ne dépendait que des précipitations, la crue décennale correspondrait exactement à l'averse de hauteur décennale. En fait, les phénomènes sont plus complexes.

Supposons qu'il n'y ait qu'un facteur secondaire : l'humidité du sol au début de l'averse. Une averse décennale pourra donner une crue de débit supérieur ou inférieur à la crue décennale suivant que l'humidité du sol sera anormalement forte ou anormalement faible. Inversement, une averse de hauteur inférieure à l'averse décennale pourra donner une crue décennale si le sol est particulièrement humide.

Pour simplifier, nous avons, dans nos calculs, admis que la crue décennale (ou annuelle) était provoquée par une averse de hauteur décennale (ou annuelle) présentant des caractéristiques de répartition spatiale et temporelle correspondant à des situations médianes pour les fortes averses et rencontrant des conditions d'humidité du sol et de couverture végétale correspondant également à des situations médianes. L'opération est d'autant plus hasardeuse que les facteurs autres que la hauteur de précipitations, surtout l'humidité du sol, jouent un rôle plus important.

Heureusement, dans la partie de l'Afrique qui nous intéresse, ceci ne se produit pas dans les zones présentant le plus fort ruissellement où de graves erreurs sur les crues seraient particulièrement dangereuses. Il est heureux également que, généralement, dans le cas de tornade, le hyétogramme présente des formes semblables d'une averse à l'autre et que, pour 25 km², l'averse couvre assez bien le bassin, ce qui réduit l'importance des deux facteurs : répartition spatiale et temporelle des précipitations.

L'averse étant connue, on doit en déduire la crue correspondante. Pour les bassins de superficie inférieure à 50 km², on peut, en général, utiliser la méthode de l'hydrogramme unitaire. Les principes essentiels de cette méthode sont les suivants : pour une averse homogène dans l'espace dont la durée à forte et à moyenne intensité est inférieure à une limite donnée (en pratique, moins de la moitié du temps de montée de la crue), tous les hydrogrammes de ruissellement ont la même forme : ce sont des courbes affines.

Une averse de durée supérieure à la durée limite peut être décomposée en deux ou plusieurs averses de durée inférieure à la durée limite et les hydrogrammes en résultant peuvent être ajoutés avec un décalage dans le temps égal au décalage entre les centres de gravité des averses composantes. A chaque bassin correspond donc un hydrogramme type qu'on appelle "diagramme de distribution" et qui peut être défini pratiquement par un petit nombre de caractéristiques : la surface comprise entre ce diagramme et l'axe des abscisses, la base de ce diagramme grossièrement triangulaire : temps de base (t_b) ou durée du ruissellement, et un troisième facteur dont nous parlerons plus loin, correspondant au caractère plus ou moins aigu de la pointe.

La première caractéristique, surface définie par l'hydrogramme, est égale à :

$$\int_0^{t_b} Q dt$$

Elle peut être obtenue à partir du volume total de précipitations V_P sur la surface du bassin versant, en multipliant V_P par le coefficient de ruissellement K_R .

Dans certains cas, en particulier pour des terrains perméables, on a utilisé diverses variantes de la méthode dite de la capacité d'infiltration : on retranche les pertes par infiltration en mm/h de l'intensité de l'averse en mm/h sur le diagramme de l'averse et on en déduit le volume de ruissellement. Mais il faut alors connaître ces pertes par infiltration pour les diverses époques de l'année, pour les conditions de saturation du sol et pour les diverses durées d'averses. Cette méthode, plus rationnelle mais beaucoup plus difficile, a été assez peu utilisée, mais on y reviendra peut-être. Elle rend, pour le moment, de grands services dans des cas particuliers.

Mais, dans la plupart des cas, on utilise le coefficient de ruissellement. Ceci suppose, bien entendu, que l'on puisse estimer la valeur décennale de V_P , c'est-à-dire la valeur décennale de la hauteur de précipitation moyenne sur la surface du bassin : nous y reviendrons plus loin.

La seconde caractéristique, temps de base, peut être déterminée par l'étude systématique des diagrammes de distribution.

La troisième peut être définie par un coefficient :

$$K = \frac{Q_{\max r}}{M}$$

- $Q_{\max r}$: débit maximal de ruissellement de crue décennale.
- M : débit moyen de ruissellement calculé pour la crue décennale pendant un temps égal au temps de base.
- K : est surtout fonction des facteurs géomorphologiques et de la couverture végétale : fort heureusement, il varie peu pour un type de bassin donné.

Dans ces conditions, la détermination de la crue décennale peut être effectuée comme suit :

- 1° — On estime la hauteur de l'averse décennale ponctuelle.
- 2° — On détermine la hauteur de précipitation moyenne sur le bassin de fréquence décennale en multipliant la hauteur ponctuelle par un coefficient de réduction ou coefficient d'abattement : on obtient ainsi V_P .
- 3° — La connaissance des caractéristiques du bassin permet de déterminer K_R correspondant à la crue décennale.

- 4° – Les caractéristiques du bassin permettent de déterminer le temps de base, ce qui permet d'évaluer M .
- 5° – Ayant choisi la valeur de K ($K = \frac{Q_{\max_r}}{M}$) correspondant au bassin, on détermine Q_{\max} (M étant connu).
- 6° – Q_{\max_r} correspond uniquement au ruissellement ; on ajoute le débit de base pour obtenir le débit maximal total.

Outre le débit de ruissellement superficiel, il existe souvent de l'écoulement hypodermique qui, théoriquement, correspond à un écoulement parallèle à la surface du sol et dans les couches superficielles du sol (en fait, la nature de cet écoulement est généralement beaucoup plus complexe). Dans ce qui suit, on a groupé ruissellement superficiel et écoulement hypodermique, ce qui théoriquement n'est pas très correct mais, en pratique, cela n'introduit pas d'erreur appréciable dans nos calculs. V_R , volume de ruissellement, comprendra donc l'écoulement hypodermique.

Par ce qui précède, on voit que le calcul de la crue décennale exige la connaissance des données suivantes :

- 1° – L'averse décennale ponctuelle.
- 2° – Le coefficient d'abattement.
- 3° – Le coefficient de ruissellement K_R .
- 4° – Le temps de base t_b
- 5° – Le coefficient $K = \frac{Q_{\max_r}}{M}$

Quant au débit de base ou débit des nappes souterraines, il ne serait pas prudent de donner des règles générales pour son estimation. On peut d'ailleurs très souvent le négliger lorsque le bassin n'est pas trop perméable, ou que la pluviométrie annuelle est inférieure à 800 mm.

ESTIMATION DE LA HAUTEUR DE L'AVERSE DÉCENNALE PONCTUELLE

Au nord d'une ligne oblique, qui part de la latitude 8 à 9° en Côte d'Ivoire pour arriver à la latitude 4° en République Centrafricaine, les fortes averses sont généralement constituées par des tornades, averses orageuses présentant un corps de courte durée et à forte intensité, suivi d'une traîne à faible intensité et précédé parfois d'une ondée préliminaire. Il peut arriver que l'averse soit double ou que le corps se dédouble mais, en général, à une certaine distance des côtes, l'averse est simple. On peut également considérer que, dans le cas le plus courant, il n'y a qu'une averse par 24 heures, de sorte que l'étude statistique des tornades se ramène à l'étude des averses journalières.

Chaque tornade couvre des superficies variables mais, le plus souvent, la zone intéressée par de fortes ou d'assez fortes précipitations est de l'ordre de 20 à 100 km².

Sur une bande assez étroite, immédiatement au nord de la ligne oblique définie plus haut, l'averse décennale peut être, soit une tornade du même type que plus haut, soit une averse de caractère continu durant plusieurs heures avec des intensités maximales ne dépassant guère 50 à 60 mm/h.

Mais, généralement, c'est l'averse type tornade qui fournit le plus fort débit instantané (mais pas le plus fort volume).

L'averse de caractère continu domine dans les régions équatoriales, c'est-à-dire sur la moitié sud de la Côte d'Ivoire, l'extrême sud du Togo et du Dahomey, le sud du Cameroun et la moitié nord du Congo.

La bande côtière entre Saint-Louis et Pointe-Noire présente, sur une largeur de 30 km, des averses exceptionnelles de durée prolongée, qui atteignent entre 200 et 300 mm pour la fréquence décennale.

La hauteur de précipitations décennale a fait l'objet d'études systématiques pour la plus grande partie de l'Afrique Occidentale : plus à l'est, des études régionales ont permis de trouver, pour des climats équivalents, des hauteurs très voisines.

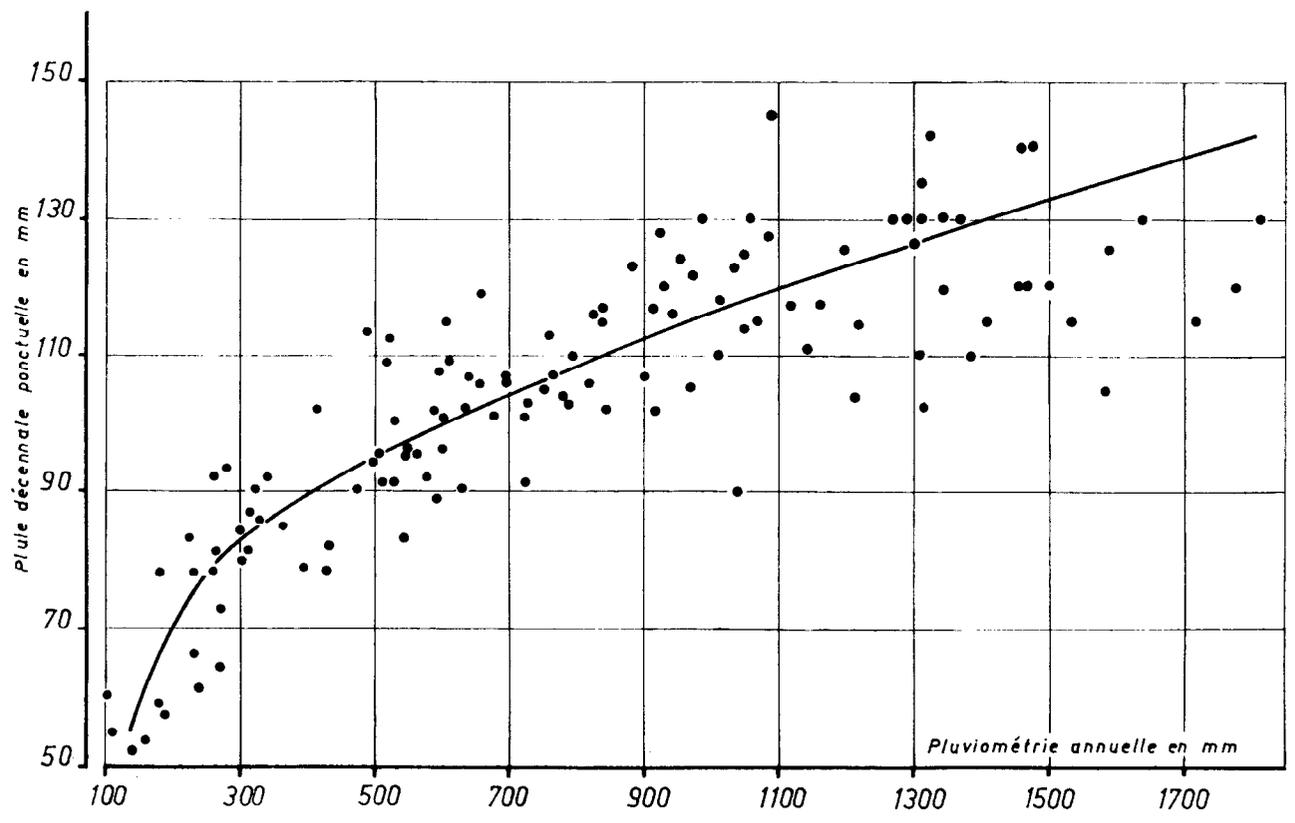
La hauteur annuelle de précipitations est en rapport assez étroit avec le type de régime. Or, si l'on met à part les régions équatoriales et la bande côtière, la hauteur de précipitations journalières décennale est vaguement fonction de la hauteur de précipitation annuelle mais varie assez peu pour des précipitations annuelles supérieures à 300 mm.

On a reporté, sur le graphique ci-joint, les hauteurs de précipitations journalières décennales en fonction des hauteurs annuelles ; on constate une certaine dispersion due à des singularités d'exposition : zones particulièrement exposées aux orages ou abritées au contraire.

On peut utiliser ce diagramme pour la détermination de la hauteur ponctuelle décennale. On peut aussi se reporter aux cartes des précipitations décennales établies déjà pour le Sénégal, la Mauritanie, le Mali, la Haute-Volta, le Niger, très prochainement le Tchad et, un peu plus tard, la Côte d'Ivoire et le Dahomey. Certaines études régionales de l'ORSTOM donnent aussi des valeurs des précipitations décennales pour des zones particulières.

Les cartes sont établies pour des conditions générales ; il est certain qu'un flanc de colline particulièrement exposé aux orages recevra des précipitations décennales plus fortes que celles indiquées sur la carte ; un flanc abrité, des précipitations plus faibles.

Précipitations décennales de 24h en fonction de la hauteur des précipitations moyennes annuelles



COEFFICIENT D'ABATTEMENT

A première vue, il semble que si P est la précipitation décennale ponctuelle, la précipitation moyenne \bar{P} sur une surface S est plus faible que P et d'autant plus que S est plus grand.

Le rapport $\frac{\bar{P}}{P}$ étant appelé "coefficient d'abattement", on a cherché à le déterminer expérimentalement. Mais le procédé employé jusqu'ici n'était pas correct : on estimait, en effet, le rapport $\frac{\bar{P}}{P_M}$ où :

- P_M : précipitation maximale observée sur le bassin quel que soit le point où P_M s'est produite et non en un point fixe du bassin, ce qui aurait été plus correct.

On trouvait ainsi des valeurs du coefficient d'abattement telles que 0,85, par exemple, pour 25 km^2 .

Or, si on considère un bassin de 500 à $1\,000 \text{ km}^2$, on sait qu'en moyenne, on observera en 10 ans peut-être 3 ou 5 averses décennales ponctuelles, en des points différents, ce qui permet d'affirmer que la hauteur de précipitation moyenne décennale sur le bassin correspond à une averse dont la hauteur maximale ponctuelle sur le bassin S est supérieure à la hauteur décennale ponctuelle.

Une étude théorique, complétée par une étude statistique sommaire, a montré que le coefficient d'abattement réel était nettement plus élevé qu'on le croyait. On peut donner actuellement les valeurs suivantes du coefficient d'abattement :

| | |
|---------------------------|------|
| $0 < S < 25 \text{ km}^2$ | 1 |
| $25 < S < 50$ | 0,95 |
| $50 < S < 100$ | 0,90 |
| $100 < S < 150$ | 0,85 |
| $150 < S < 200$ | 0,80 |

Ceci est valable pour la crue décennale.

Pour la crue annuelle, il n'est même pas exclu que le coefficient dit d'abattement soit légèrement supérieur à 1 pour $5 \text{ km}^2 < S < 25 \text{ km}^2$.

CLASSIFICATION DES BASSINS SUIVANT LEURS CARACTÉRISTIQUES

Sauf pour les vrais bassins de montagne, assez rares dans les régions qui nous intéressent, les précipitations décennales sont homogènes et, en première approximation, ne dépendent pas du bassin, en particulier de son relief.

Par contre, le coefficient de ruissellement, le temps de base et le coefficient K dépendent des caractères physiques du bassin et, en premier lieu, de la couverture végétale, de la pente et de la perméabilité du sol (1).

Avant de continuer à étudier les données du calcul de la crue décennale, il importe donc de choisir une classification des bassins versants.

Coefficient de ruissellement et diagramme de distribution varient d'un bassin à l'autre d'une même région climatique, suivant divers facteurs dont les plus importants sont : la nature du sol, les caractéristiques géomorphologiques du bassin et la couverture végétale. L'idéal serait de définir, pour un bassin donné, chacun de ces facteurs par un seul index chiffré. Au stade de notre étude, c'est impossible. Nous nous sommes donc contentés de définir un certain nombre de classes de perméabilité du sol, de pente et de couverture végétale et de classer les bassins dans ces diverses catégories.

La perméabilité du sol d'un bassin est la caractéristique la plus importante d'un sol vis-à-vis du ruissellement ; elle est difficile à chiffrer pour les raisons suivantes : les bassins naturels sont presque toujours plus ou moins hétérogènes. Si un petit bassin est homogène, il risque de ne pas être représentatif. Ce qui compte, en outre, ce n'est pas la perméabilité mesurée au laboratoire sur un échantillon plus ou moins remanié, c'est la perméabilité en place dans les conditions du début de l'averse. La méthode la plus simple pour classer les perméabilités a consisté à utiliser les courbes qui, pour un bassin, définissent l'apparition de l'écoulement en fonction de la hauteur de précipitations et de l'indice d'humidité. On a pris, pour celui-ci, une forme extrêmement simple : l'écart de temps en jours à la pluie précédente, supérieure à une limite donnée, 5 mm par exemple.

On trouvera, ci-contre, un ensemble de courbes correspondant à quelques bassins. Plus la courbe est basse, plus le bassin est imperméable. On peut même définir la perméabilité par la position de la courbe : par exemple, la précipitation limite d'écoulement après 3 jours sans pluie. Notons que cette classification englobe à la fois la perméabilité et l'absorption par la couverture végétale, ce qui est sans grave inconvénient pour l'étude du ruissellement. Il serait préférable de remplacer le terme "perméabilité" par celui de "capacité globale d'absorption du bassin".

On a défini ainsi 5 catégories :

- P₁ : Bassins rigoureusement imperméables : bassins entièrement rocheux ou argileux.
- P₂ : Bassins imperméables avec quelques zones perméables de faible étendue ou bassins homogènes presque imperméables.

(1) La nature du réseau hydrographique n'interviendra que comme un facteur secondaire.

- P₃ : Bassins assez imperméables comportant des zones perméables d'étendue notable ou bassins homogènes assez peu perméables.
- P₄ : Bassins assez perméables tels qu'on en rencontre en zone de décomposition granitique avec abondance d'arènes.
- P₅ : Bassins perméables : sables ou carapace latéritique très fissurée.

A l'intérieur d'une même catégorie, le sol peut être plus ou moins perméable. Dans le même ordre d'idée, il est assez difficile de ranger certains bassins dans une catégorie déterminée. Il en résultera une certaine dispersion dans nos résultats. On trouvera des points particulièrement aberrants avec des bassins très hétérogènes, par exemple avec les parties basses argileuses imperméables et les parties hautes de carapace latéritique fissurée.

Comme il n'a pas encore été possible de définir un indice unique géomorphologique utile pour le ruissellement, on a classé les bassins à la fois par leurs pentes transversales et leurs pentes longitudinales, en 6 catégories caractérisées par un indice R :

- R₁ correspond à des pentes extrêmement faibles, inférieures à 0,1 et 0,2%.
- R₂ à des pentes faibles, inférieures à 0,5% : ce sont les bassins de plaine.
- R₃ à des pentes modérées comprises entre 0,5 et 1% : ce sont des terrains intermédiaires entre la plaine et les zones à ondulation de terrain.
- R₄ à des pentes assez fortes : pentes longitudinales comprises entre 1 et 2%, pentes transversales supérieures à 2%. Zones des ondulations de terrain.
- R₅ à des pentes fortes : pentes longitudinales comprises entre 2 et 5%, pentes transversales entre 8 et 20%. Régions de collines.
- R₆ à des pentes très fortes : pentes longitudinales supérieures à 5%, pentes transversales supérieures à 20%. Régions de montagnes.

Pour évaluer les pentes, on s'est imposé des règles simples, utilisables même si on ne dispose que de cartes sommaires.

Pour évaluer la pente longitudinale, on considère le profil en long pris suivant le cours d'eau principal du bassin depuis la ligne de partage des eaux jusqu'au point de la rivière où l'on doit construire le pont ou le déversoir, point qui limite le bassin versant. Sur ce profil en long, on élimine les 20% de l'extrémité amont et les 20% de l'extrémité aval : on calcule donc la pente longitudinale moyenne sur 60% de la longueur du profil en long. On opère de façon analogue pour la pente transversale, en considérant des 1/2 profils en travers partant du lit du cours d'eau (bord supérieur des berges) et rejoignant la limite du bassin versant, et en éliminant les 20% amont et les 20% aval. Si un bassin présente une pente longitudinale faible et une pente transversale très forte (ce qui arrive parfois en montagne), c'est la pente transversale qui doit être prise en considération pour classer le bassin dans une catégorie P donnée.

Bien entendu, on suppose le bassin modérément ramassé et le réseau hydrographique correspondant à un cas moyen. Les bassins très allongés donneront lieu à des ruissellements anormalement faibles par exemple.

Les catégories de couvertures végétales ont été sensiblement confondues avec celles des climats.

Ceux-ci varient largement puisque la région étudiée a été implantée depuis la bordure sud du Sahara jusqu'au cœur de la forêt équatoriale ; il a été nécessaire de répartir les bassins en quelques grandes catégories correspondant aux grandes classes de régimes hydrologiques :

- les bassins sahéliens et subdésertiques,
- les bassins tropicaux et tropicaux de transition,
- les bassins équatoriaux de forêt.

Par bonheur, ces catégories correspondent à un type bien déterminé de couverture végétale, comme ceci a été vu plus haut, de sorte qu'à l'intérieur de chaque catégorie, on peut dire que le type de couverture végétale représente des propriétés assez voisines vis-à-vis du ruissellement. Notons cependant, qu'au sud de la zone sahélienne et dans la zone tropicale, la couverture végétale freine peu le ruissellement au début de la saison des pluies et le freine beaucoup à la fin. On aura donc intérêt, pour la catégorie I, à considérer le coefficient d'écoulement, par exemple pour la première moitié de la saison des pluies (D.S.P.) en ce qui concerne les bassins sahéliens méridionaux et, pour la catégorie II, à considérer les données de la fin de la saison des pluies (F.S.P.).

Pour les bassins subdésertiques, la hauteur de l'averse décennale varie entre 60 et 85 mm.

Pour les bassins sahéliens, entre 85 et 110 mm.

Pour les bassins tropicaux et tropicaux de transition ainsi que les bassins équatoriaux de savane, entre 110 et 130 mm.

Pour les bassins de forêt, entre 120 et 150 mm.

Il n'est pas nécessaire, en pratique, de tenir compte de l'altitude jusqu'à 1 500 m d'altitude, c'est-à-dire dans presque tous les cas.

ÉTUDE DU COEFFICIENT DE RUISSÈLEMENT

Pour une averse de hauteur donnée, ce facteur varie avec la perméabilité du sol, la pente, la couverture végétale et la nature du réseau hydrographique. Pour une région homogène, il devrait varier peu avec la superficie du bassin versant ; cependant, en Afrique Tropicale, il décroît plus ou moins quand la superficie augmente. Ceci tient à la répartition spatiale des averses et aux pertes dans le lit. Il croît souvent avec la hauteur et l'intensité de l'averse.

D'après des études effectuées avec les mêmes sols et des conditions de relief analogues, mais avec des averses plus fortes et plus prolongées qu'en Afrique, la limite supérieure du coefficient de ruissellement est voisine de 85-90%.

Dans certaines des études antérieures de l'ORSTOM, on a utilisé un coefficient K_{RU} égal au rapport du volume du ruissellement au volume de précipitation utile, c'est-à-dire au volume correspondant seulement à la partie assez intense des précipitations, les traînes à faible intensité étant éliminées. Mais ceci ne concerne qu'un petit nombre de cas et, pour l'homogénéité des résultats, nous n'avons considéré ici que le coefficient K_R ; le volume des précipitations intéressées correspond à la totalité du volume de l'averse responsable de la crue.

On doit distinguer les trois cas suivants :

a — Régimes sahéliens et subdésertiques (en principe, depuis l'isohyète annuelle 150 mm à l'isohyète 750-800 mm) :

On a considéré trois variables : la superficie du bassin versant, la pente et la perméabilité. Ces deux dernières variables n'ont pas pu être caractérisées par des chiffres, comme nous l'avons vu plus haut ; on s'est simplement contenté de répartir les bassins en différentes classes. Cela suffit au stade actuel de nos études.

Les coefficients de ruissellement ont été portés en ordonnées, les superficies en abscisses logarithmiques sur les divers graphiques. Le choix de ce genre de coordonnées a été simplement dicté par le souci de ne pas trop resserrer les points représentatifs pour les très petits bassins car, en fait, il conduit à des courbes de variations moins simples qu'on ne les aurait obtenues en coordonnées cartésiennes.

La perméabilité étant le facteur le plus important, on a établi des séries de graphiques, chacun correspondant non pas à une perméabilité mais à un couple de perméabilités, car il n'est pas toujours certain que tous les bassins aient bien été rangés dans la classe qui leur est propre.

Le graphique 2 a été établi pour P_1 et P_2 : sols imperméables ; étant donné la dispersion, nous n'avons pas cherché à tracer toutes les courbes correspondant aux diverses combinaisons R et P. Nous avons seulement cherché un tracé approximatif des courbes correspondant aux positions extrêmes rencontrées dans la pratique : $R_4 P_1$ qui correspond aux plus forts coefficients de cette catégorie et $R_2 P_2$ qui correspond aux plus faibles valeurs observées. On a tracé également la courbe $R_4 P_2$ correspondant à des bassins que l'on rencontre souvent.

Les courbes $R_4 P_1$ et $R_4 P_2$ partent, pour $S = 2 \text{ km}^2$, des limites supérieures du coefficient de ruissellement : 85 à 90%. Elles présentent une décroissance sérieuse de 10 à 40 km^2 : c'est là qu'apparaît la dégradation du réseau hydrographique, bien connue dans le régime sahélien, qui entraîne

d'énormes pertes par évaporation ; pour des bassins un peu plus grands, une partie de la superficie échappe à l'averse. Mais vers 100 km², le coefficient de ruissellement reste encore élevé. On doit noter la faible inclinaison de la courbe R₂ P₂. Aucun bassin ne donne de résultats pour la pente R₁, mais on sait qu'à partir de 2 ou 3 km², l'écoulement est pratiquement nul, l'eau stagne dans des marécages. Mais, dans ce cas, qu'il y ait le moindre axe de drainage de pente P₂ et le coefficient de ruissellement est assez élevé, comme ceci a été démontré avec des pentes un peu plus fortes, sur le bassin de CAGARA-Est, par exemple. Une part très importante des points représentatifs s'écarte nettement des courbes mais on en connaît parfaitement les raisons et, dans certains cas, on peut même calculer un coefficient corrigé. Citons les cas suivants :

1° — Les bassins subdésertiques les moins arrosés (IN TIZIOUEN, BACHIKELE) présentent des crues décennales correspondant seulement à des averses de 50 mm environ, alors que tous les autres bassins reçoivent au moins 85 mm, d'où des coefficients de ruissellement trop faibles.

2° — Certains bassins, vers l'isohyète 800, au contraire, sont à la limite du régime tropical et du régime sahélien : c'est le cas du BARLO, du MORO NABA, de NADJOUNDI, du Mayo LIGAN, par exemple ; ils peuvent fournir d'utiles indications mais on devra les utiliser avec précaution. En terrain P₂, par exemple, les résultats bruts seront un peu trop élevés pour les grands bassins (BOULSA, Mayo LIGAN), trop faibles pour les très petits.

3° — Les trois bassins de HAMZA, ALOKOTO et KOUMBAKA I sont très hétérogènes. Ils présentent tous des carapaces latéritiques plus ou moins démantelées correspondant à P₄ ; le reste de la superficie est du type P₂ ou P₁. En fait, seule une partie du bassin ruisselle de façon intense ; si tout le bassin était en P₂, il faudrait multiplier les coefficients de ruissellement par 2 ou 3 pour HAMZA et majorer très sérieusement pour ALOKOTO et KOUMBAKA I.

4° — Les évaluations pour TIN ADJAR réduit et CAGARA-Est sont peu précises, les limites des bassins étant difficiles à définir.

5° — Le bassin de TARAÏMAN est constitué par un reg à classer en P₃ au début de la saison des pluies et plutôt en P₂ à la fin, d'où le point d'interrogation.

Notons que ces courbes seraient moins incertaines si nos indices R et P pouvaient serrer la réalité de plus près et si également, dans un souci de sécurité, certains de nos hydrologues n'avaient pas légèrement surestimé certains coefficients de ruissellement, surtout pour ces bassins imperméables qui les ont effrayés à juste titre. Mais, parmi les points figuratifs représentés, nous rappelons que certains correspondent à des crues décennales effectivement observées (cas de KOUMBAKA II par exemple) et d'autres à de faibles extrapolations.

Le graphique 3 correspond à la perméabilité P₃ : la dispersion reste forte mais les courbes sont nettement en dessous de celles du graphique 2. On

O R S T O M

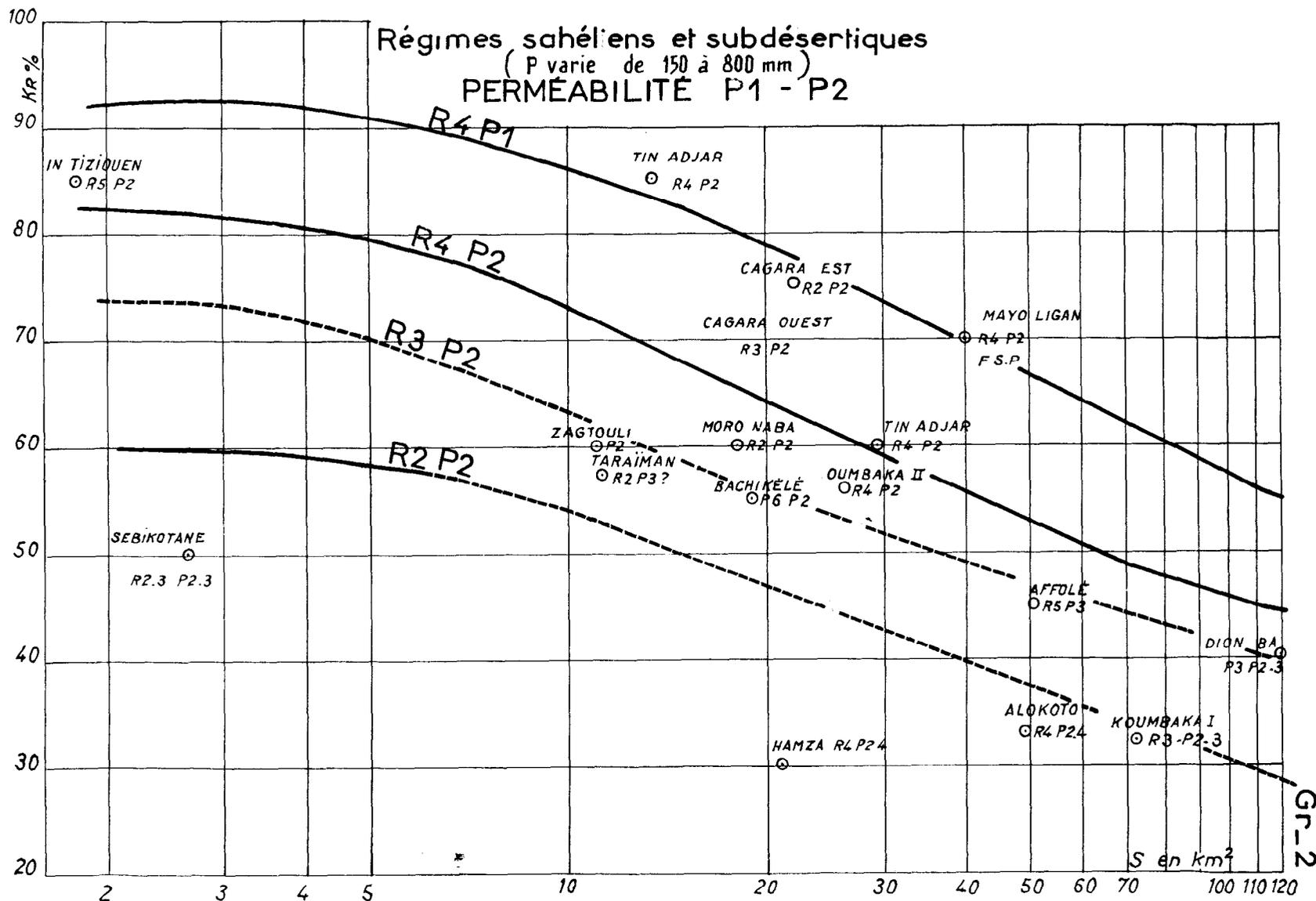
A 0
D A E

DESSINE :

DIV. 261. 170

COEFFICIENT DE RUISSELLEMENT

Régimes sahéliens et subdésertiques
(P varie de 150 à 800 mm)
PERMÉABILITÉ P1 - P2



F.S.P.: Fin saison des pluies

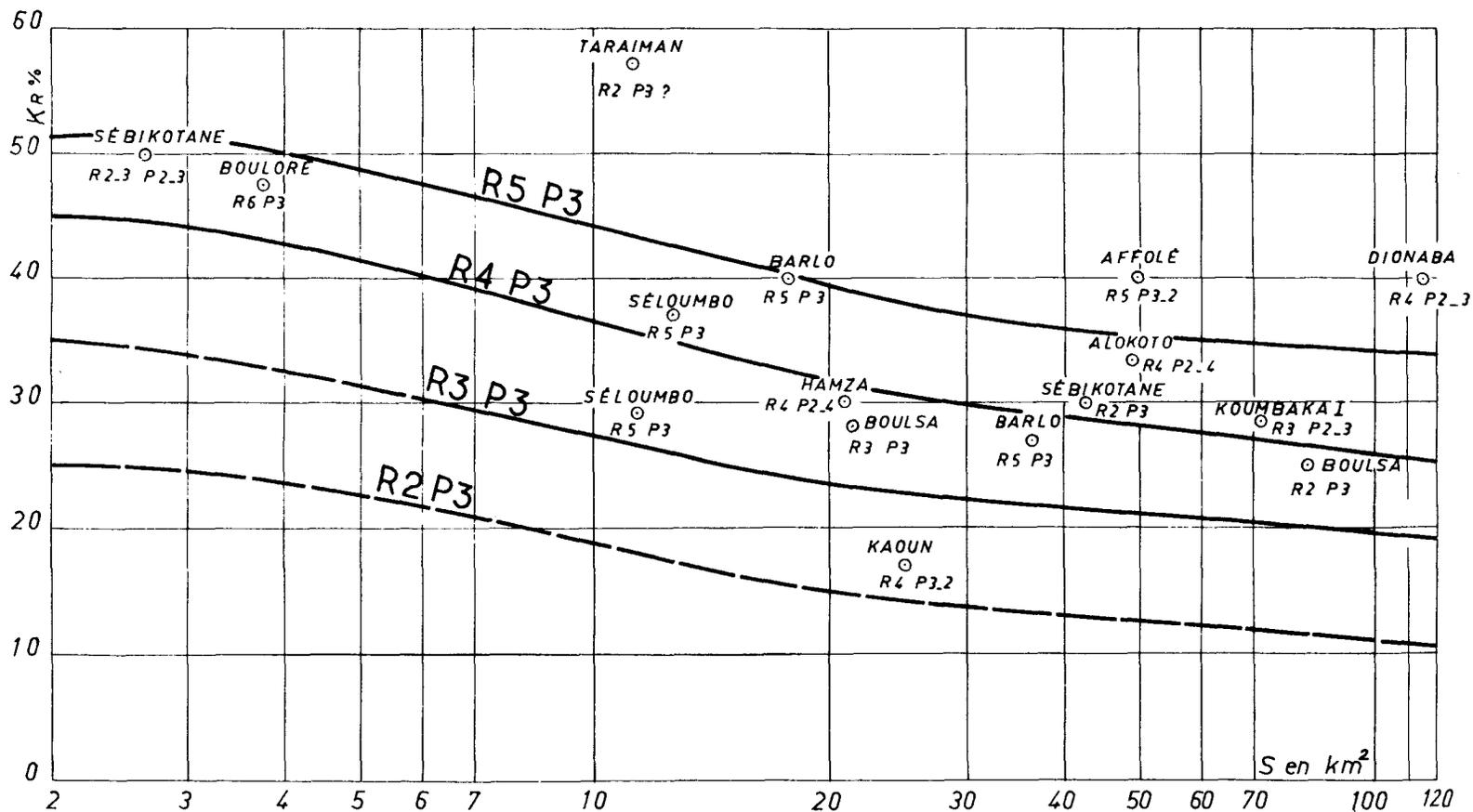
Gr-2

COEFFICIENT DE RUISSELLEMENT

Régimes sahéliens et subdésertiques

(P varie de 150 à 800 mm.)

PERMÉABILITÉ P3



ne retrouve plus, bien entendu, les très forts coefficients de ruissellement des perméabilités P_1 et P_2 en dessous de 20 km^2 . Ceci est bien mis en évidence par les deux bassins de SELOUMBO. Ces deux bassins sont également intéressants à un autre titre : l'un d'eux est manifestement plus perméable que l'autre, la proportion de grès fracturés y étant plus forte et, cependant, on ne peut faire autrement que de les classer tous deux en P_3 . On voit ici la précision que l'on gagnerait à une classification plus fine des perméabilités. Les deux points de SELOUMBO demanderaient à être décalés légèrement vers le haut. En effet, ils correspondent au régime subdésertique et reçoivent une averse décennale de 82 mm seulement, un peu inférieure à la limite inférieure de celle du régime sahélien. Le point figuratif du TARAÏMAN est, cette fois-ci, aberrant dans l'autre sens : en pleine saison des pluies, sa perméabilité se rapproche plutôt de P_2 .

Pour l'Ouadi KAOUN (bassin réduit), la superficie ne peut pas être définie avec précision, le calcul du coefficient de ruissellement a été très sommaire.

La courbe $R_2 P_3$ est donnée à titre purement indicatif. Il n'y a pratiquement pas de bassin pour la tracer.

Le graphique 4 correspond aux terrains perméables P_4 . Seuls ruissent pratiquement, pour les fortes averses, les bassins à assez forte et à forte pente. Deux bassins à très forte perméabilité P_5 sont représentés : ceux du FARAKO et du DOUNFING. En fait, ce sont des bassins tropicaux recevant respectivement des averses décennales de 110 et 130 mm . En climat sahélien, ils présenteraient des coefficients de ruissellement nettement plus faibles. La courbe $R_4 P_5$ aurait probablement la position de la courbe $R_3 P_4$ ou serait même encore en dessous. Il est notoire que les terrains de perméabilité P_5 en zone sahélienne ne donnent pas de ruissellement organisé pour des superficies supérieures à quelques km^2 .

Même pour la perméabilité P_4 , on peut dire qu'il n'y a guère de ruissellement, même en forte crue, pour des pentes inférieures à celles des bassins R_3 .

b — Régimes tropicaux et tropicaux de transition :

Nous reprendrons, dans cette catégorie, les bassins situés à la limite du régime tropical et du régime sahélien (entre les courbes isohyètes 800 mm et 1000 mm). Nous comprendrons de même, dans cette catégorie, les bassins équatoriaux de savane qui présentent les mêmes types d'averses décennales, le même sol, la même végétation que les bassins tropicaux de transition.

Pour l'ensemble de ces bassins, la végétation joue un certain rôle. En fait, l'indice de perméabilité P tient compte à la fois des pertes par infiltration dans un sol perméable et de l'eau absorbée par la couverture végétale.

Un autre point caractéristique, pour les bassins tropicaux, est la différence de comportement du bassin entre le début et la fin de la saison des

ORSTOM

Ao

DATE :

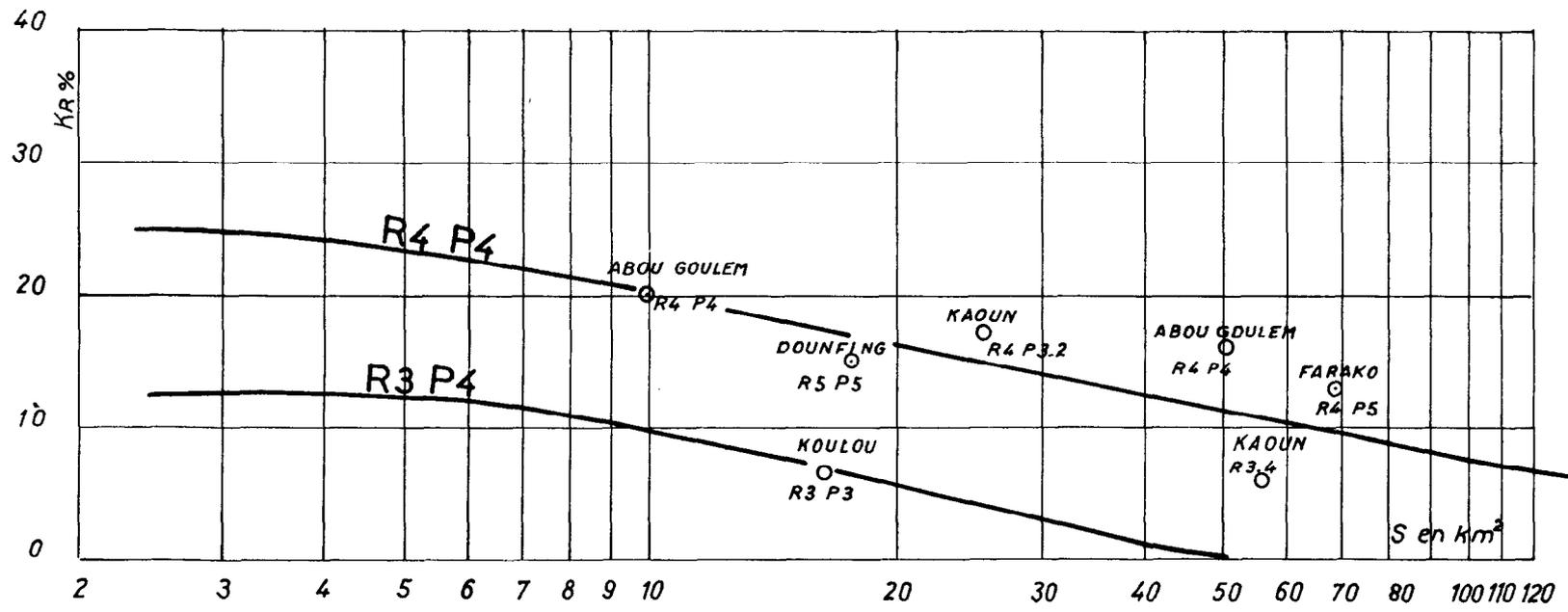
DESSINE :

DIV. 261.171

COEFFICIENT DE RUISSELLEMENT

Régimes sahéliens et subdésertiques

(P varie de 150 à 800 mm.)
 PÉRMEABILITE P4



Gr. 4

O R S T O M

A^o

DATE:

DESSINE:

DIV. 261.172

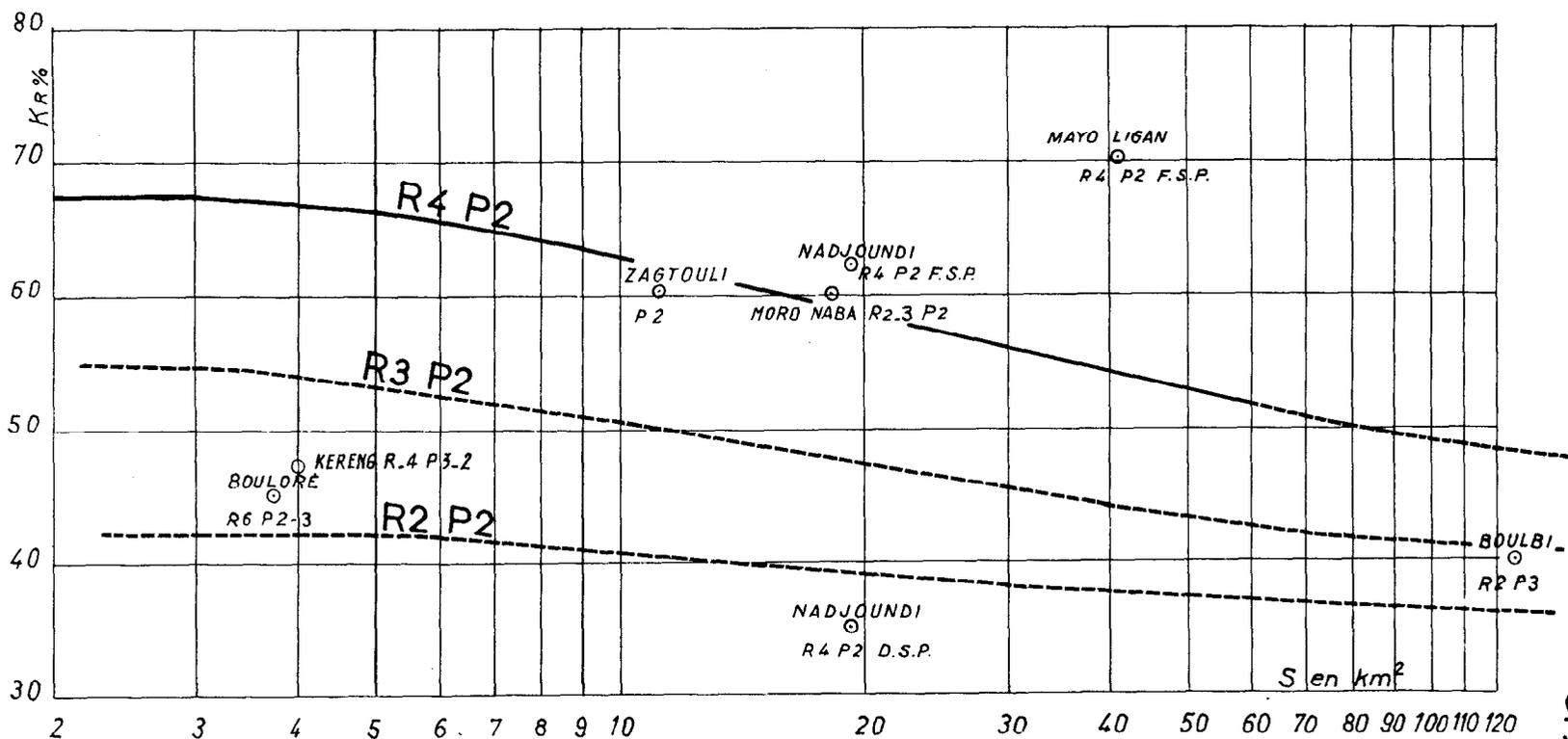
COEFFICIENT DE RUISSELLEMENT

Régimes tropicaux et tropicaux de transition

(P varie de 800 à 1600 mm)

PERMÉABILITÉ P2

D.S.P. Début saison des pluies - F.S.P. Fin saison des pluies



Gr. 5

pluies. On considérera généralement sur nos graphiques le coefficient de ruissellement de la fin de saison des pluies, c'est le plus élevé. Par contre, les temps de concentrations sont plus longs.

On trouve peu de bassins de perméabilité P_1 ou P_2 et, encore, celles-ci sont observées entre les isohyètes annuelles 800 et 1 000 mm à la limite du régime sahélien. Ceci est dû à la couverture végétale plus dense et aussi au fait que les sols très imperméables sont moins fréquents dans ces zones mieux arrosées et mieux protégées par la végétation.

Le graphique 5 correspond à la perméabilité P_2 . Il n'y a pas de bassins P_2 de superficie inférieure à 2 km², mais les indications des Mayos KERENG et BOULORE dont la perméabilité est proche de P_2 , quoique un peu plus forte, montrent que la courbe passe peu au-dessus de ces points représentatifs. Pour autant que le faible nombre de points représentatifs permette de l'affirmer, le coefficient de ruissellement serait plus faible, pour les très petits bassins, qu'en régime sahélien. Il serait à peu près le même pour les bassins de 100 km².

Il est déjà assez osé de tracer la courbe $R_4 P_2$; on a cependant tracé, à titre indicatif, les courbes R_3 et R_2 , mais elles sont très imprécises. On a reporté, sur ce graphique, les points figuratifs de NADJOUNDI au début et à la fin de la saison des pluies pour bien montrer la différence entre les deux situations.

Le graphique 6 correspond à la perméabilité P_3 . On y a utilisé les bassins de la limite Nord du régime tropical qui ont déjà été employés avec prudence pour les régimes sahéliens.

La courbe $R_4 P_3$ est assez bien connue. Le coefficient de ruissellement ne varie plus que très peu avec la superficie. Mais cette courbe correspond surtout à des bassins recevant, par an, entre 800 et 1 200 mm ; elle serait la même pour des bassins recevant de 1 200 à 1 600 mm ; peut-être, la couverture végétale plus dense conduirait-elle à des valeurs plus faibles comme tendent à l'indiquer les cas de BOUNDJOUK et de MAKABANA, en dehors de la zone limite entre sahélien et tropical.

Le graphique 7 correspond aux perméabilités P_4 et P_5 . Le tracé des courbes a présenté d'assez sérieuses difficultés car la dispersion des résultats est importante, surtout dans le régime tropical de transition, pour plusieurs raisons :

1° — Les galeries forestières conduisent à des pertes non négligeables. On peut le voir en comparant le coefficient de ruissellement du TIAPALOU où elles sont assez épaisses à celui du GORI BOUNIEROU où elle est très mince.

2° — Les terrains perméables sont assez fréquents, mais il est souvent difficile de faire la distinction entre les catégories P_4 et P_5 et même parfois P_3 et P_4 .

O R S T O M

A°

DATE :

DESSINÉ :

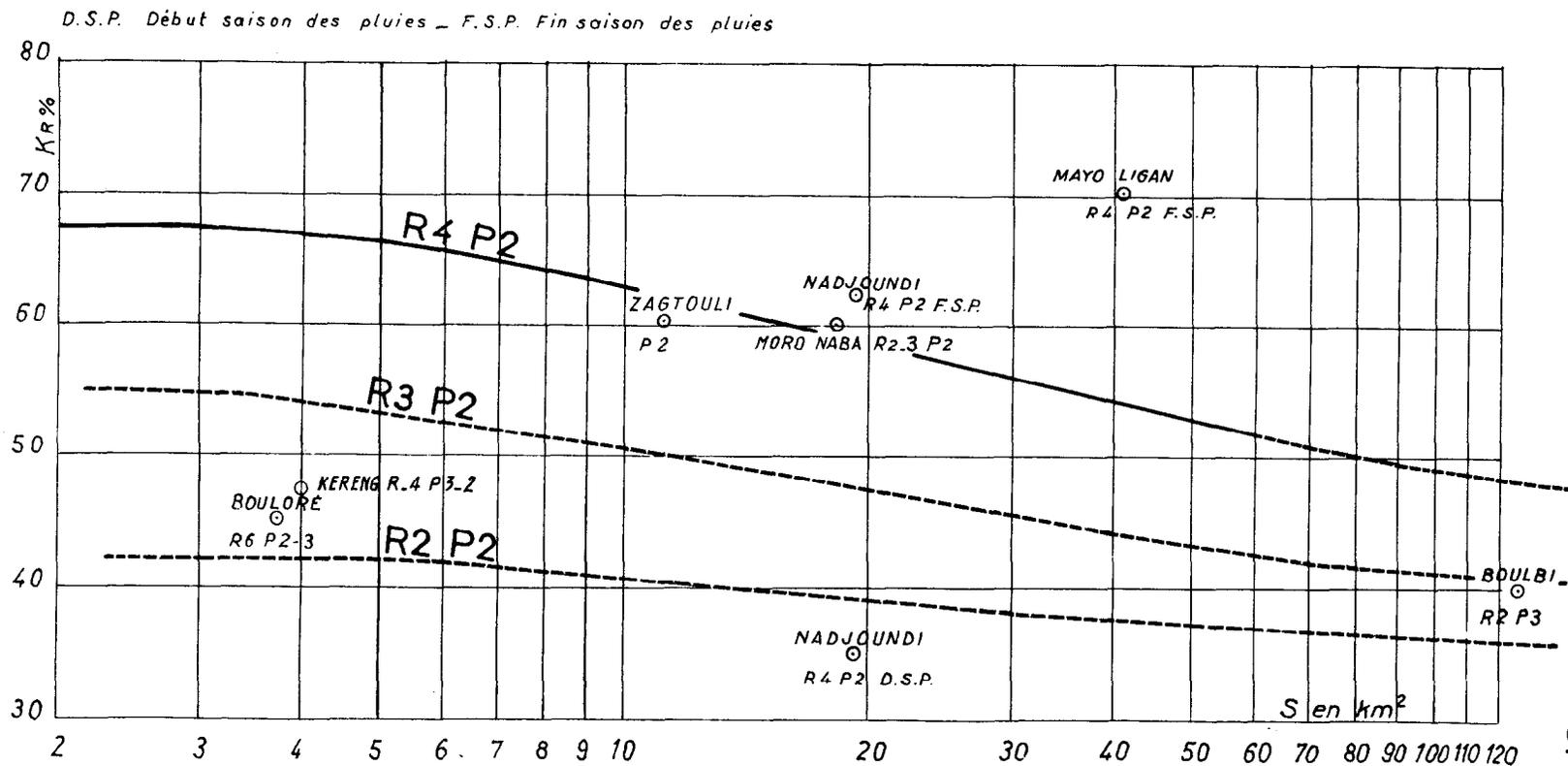
DIV. 261.172

COEFFICIENT DE RUISSELLEMENT

Régimes tropicaux et tropicaux de transition

(P varie de 800 à 1600 mm)

PERMÉABILITÉ P2



Gr_5

O R S T O M

A°

DATE :

DESSINE :

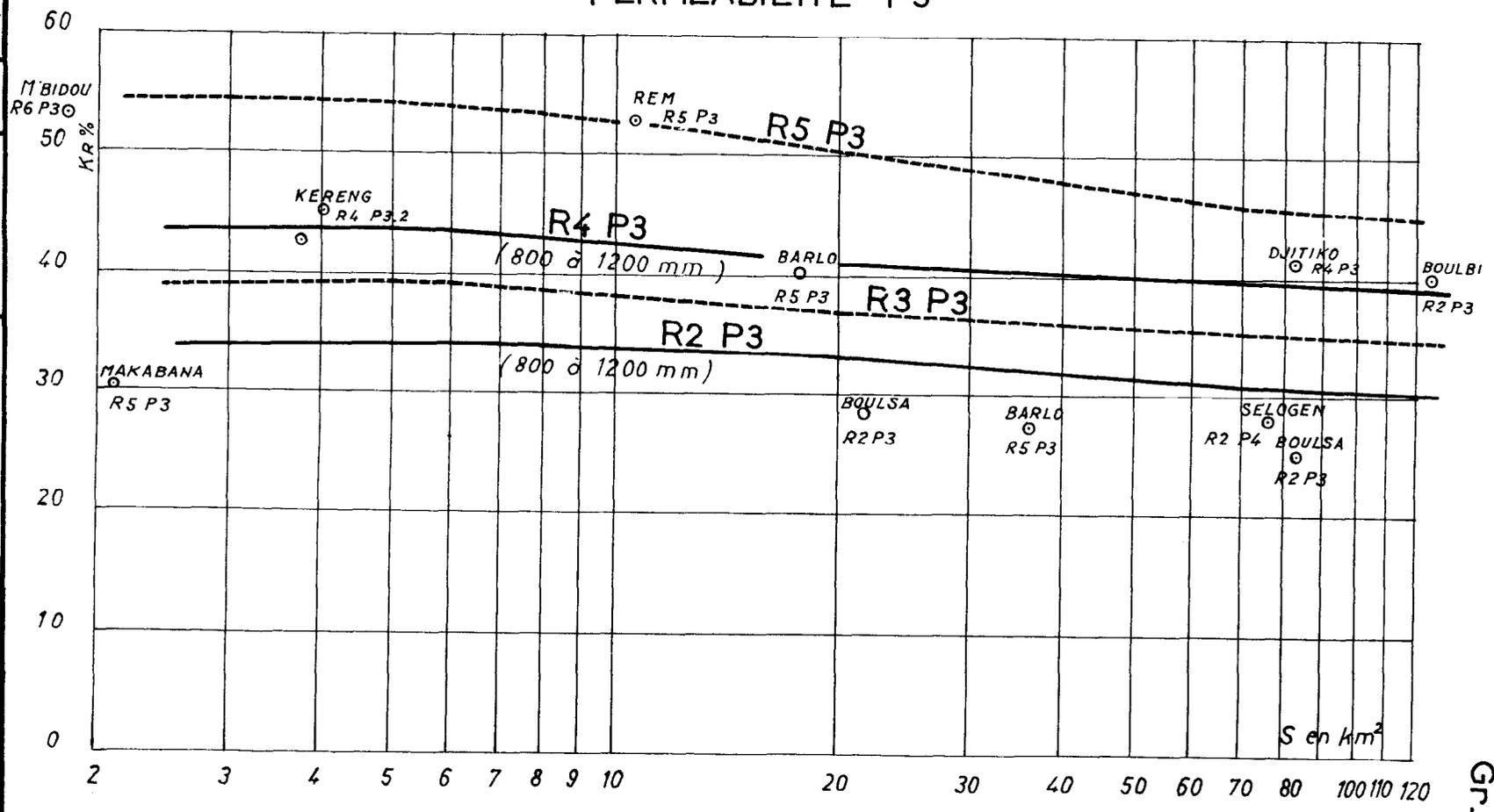
DIV. 261. 173

COEFFICIENT DE RUISSELLEMENT

Régimes tropicaux et tropicaux de transition

(P varie de 800 à 1600 mm)

PÉRMEABILITE P3



Gr-6

3° — La hauteur de précipitations annuelle varie entre 1 200 mm et plus de 2 000 mm. Dans le second cas, toutes choses restant égales par ailleurs, les averses plus rapprochées donneront lieu à des coefficients de ruissellement un peu plus élevés. De même, à hauteur de précipitations égale, les régions équatoriales où les pluies sont réparties sur une grande partie de l'année donneront un coefficient de ruissellement plus faible que les régions tropicales de transition, où la saison des pluies dure rarement plus de 6 mois.

L'ensemble des courbes du graphique 7 montre que le coefficient de ruissellement tend à devenir indépendant de la superficie du bassin, ce qui est normal puisque le réseau hydrographique bien organisé ne donne pas lieu à de fortes pertes et que les hydrogrammes, plus mous qu'en régime sahélien, ne se déforment pas très rapidement de l'amont à l'aval.

On a donné, à titre indicatif, les courbes correspondant aux diverses valeurs de R.

c — Régions forestières :

Incontestablement, les données expérimentales sont insuffisantes pour dégager les variations du coefficient de ruissellement en fonction des divers paramètres. Onze bassins, c'est trop peu, même pour des esquisses de graphiques comme celles que nous venons de présenter. Nous donnons d'ailleurs, ci-après, le tableau des données relatives aux crues décennales de ces bassins.

Ce que nous appelons "ruissellement", en zone forestière, est d'ailleurs une forme d'écoulement qui n'est plus celle du régime sahélien ; elle serait plutôt comparable à l'écoulement hypodermique.

CRUES DECENNALES SUR PETITS BASSINS FORESTIERS

| Bassin | Précipitation annuelle (mm) | Superficie (km ²) | Crue décennale (l/s. km ²) | Coefficient ruissellement (%) | Débit de base Q _o (m ³ /s) |
|---------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|--|-------------------------------|--|
| NION | 1 800 | 10 | 2 000 - 2 200 | 28 | 2,4 |
| R ₆ P ₆ | 1 800 | 62 | 600 - 700 | 42 | 6 |
| GBOA R ₆ P ₆ | 2 300 | 11,5 | 2 500 | 50 | 0,75 |
| LOUE R ₆ P ₆ | 2 300 | 17 | 2 500 - 2 800 | 32 | 1 |
| IFOU R ₃ P ₅ | 1 200 | 38 | 350 | 10 | 1,25 |
| BAFO R ₂ P ₄ | 1 600 | 27 | 1 800 | 65 | 2 |
| SITOU R ₂ P ₄ | 1 600 | 29 | 2 000 | 70 | 2 |
| MANSO R ₂ P ₃ | 1 600 | 92 | 1 600 | 60 | 4 |
| AGBEBY R ₄ P ₆ | 2 200 | 11 | 550 | 6 | 1 |
| LEYOU R ₅ P ₄ | 1 800 - 2 000 | 6 | 1 000 - 1 100 | 11 | 0,35 |
| BIBANGA R ₂ P ₄ | 1 800 - 2 000 | 25,2 | 200 à 300 | 12 | 0,65 |
| MALA R ₆ P ₃ | 2 250 | 9,2 | 17 500 | 46,5 | 0,50 |
| MALA R ₆ P ₃ | 2 250 | 6,7 | 10 500 | 30 | 0,30 |

O R S T O M

A₀

DATE :

DESSINE :

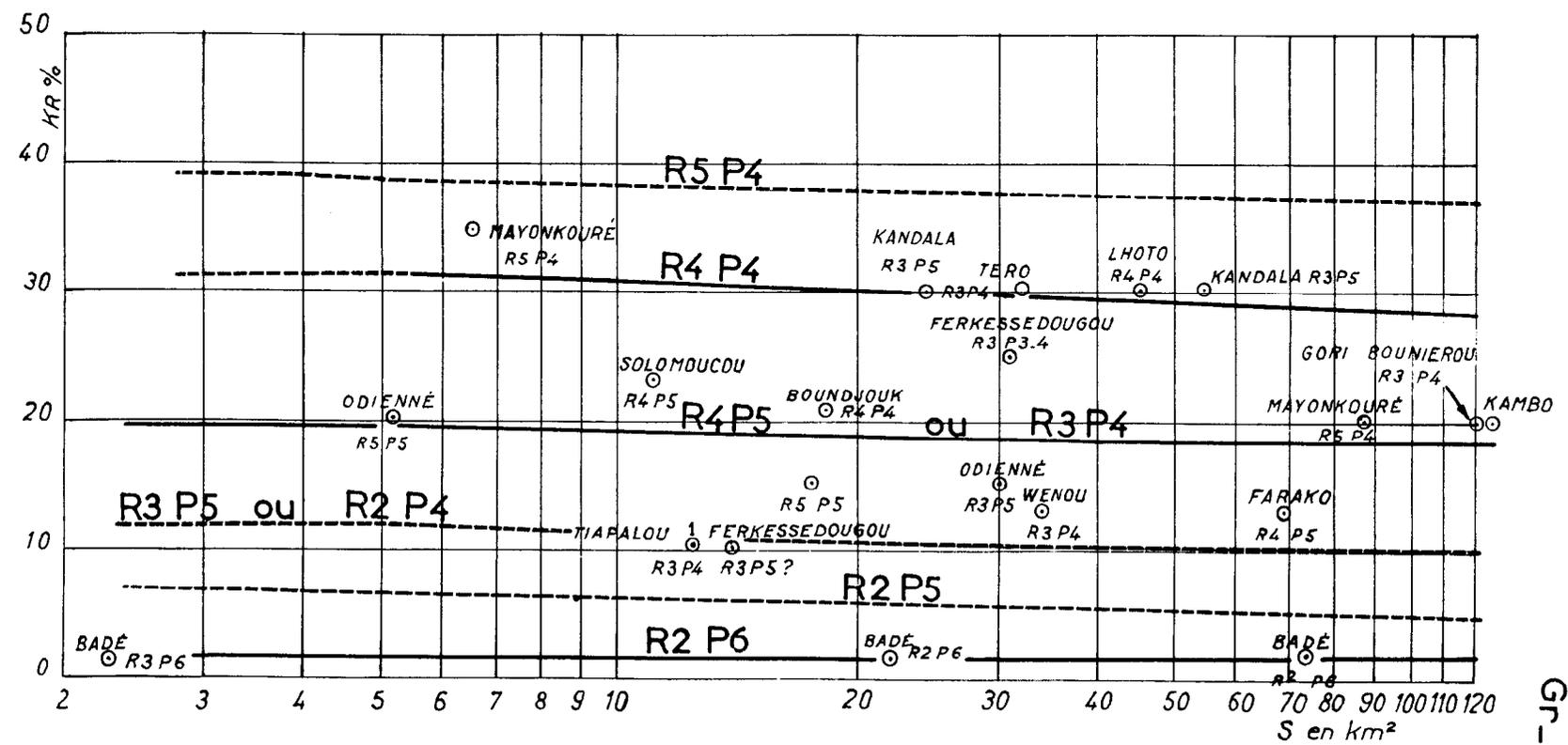
DIV. 261.174

COEFFICIENT DE RUISSELLEMENT

Régimes tropicaux et tropicaux de transition

(P varie de 800 à 1600 mm)

PERMÉABILITÉ P4 et P5



1. Galerie épaisse

Gr-7

D'autre part, l'influence de la couverture végétale masque trop la perméabilité du sol. Ainsi, les trois bassins du BAFO, du SITOU et du MANSO sont classés en P₃ et en P₄, alors que l'étude des sols montre qu'ils devraient être classés en P₃ et en P₂ s'ils n'étaient pas recouverts par la forêt. La forêt freine l'écoulement certes et ceci est bien visible dans l'étude des temps de montée, mais le climat humide limite les pertes par évaporation et les averse décennales (160 mm) sont beaucoup plus fortes que dans les cas précédents.

Si la pente est extrêmement forte (R₆), on peut encore trouver sur sol perméable des coefficients de ruissellement de 35 à 50% comme sur le NION, le GBOA, le LOUE en Côte d'Ivoire (on a trouvé des bassins ruisselant encore plus dans les Monts de CRISTAL). Mais, dans ce cas, on doit noter que les averse sont supérieures à 200 mm.

Pour des pentes beaucoup plus modérées (BAFO, SITOU et MANSO), mais sur sols imperméables, on trouve des coefficients de ruissellement de 60 à 70% pour des bassins de 25 à 100 km².

Il ne semble pas cependant que, pour de telles précipitations, les coefficients de ruissellement puissent atteindre en forêt les valeurs de 80% que l'on a trouvées en zone sahélienne.

Ces cas extrêmes étant mis à part, si le sol n'est pas trop imperméable, ce qui est assez courant, et la pente inférieure à R₅, les coefficients de ruissellement varient entre 5 et 15% : la première valeur correspondant à des pentes modérées et des sols très perméables (P₆ s'il n'y avait pas de forêt) ; la seconde, à une pente R₅ et à un sol à classer dans P₃ s'il n'y avait pas de forêt. Ce sont là des valeurs vraiment faibles si on considère que les averse décennales sont au moins égales à 130 mm.

Mais on restera très méfiant pour les sols imperméables (P₂ s'il n'y avait pas de forêt) et les très fortes pentes genre R₆. D'ailleurs, dans les pays tropicaux à cyclones, on a mesuré des coefficients de ruissellement dépassant 80% pour des bassins à relief R₆. Un simple examen du réseau hydrographique indique d'ailleurs si on est en présence d'un bassin dangereux ou non.

TEMPS DE RUISSÈLEMENT ET TEMPS DE MONTÉE

La détermination de ces éléments de l'hydrogramme unitaire devrait être plus précise que celle du coefficient de ruissellement car elle ne résulte pas d'extrapolation. Cependant, on rencontre un certain nombre de difficultés :

Tout d'abord, la méthode de l'hydrogramme unitaire n'est qu'une méthode approchée, elle s'applique bien aux bassins homogènes, ce qui n'est pas souvent le cas. Par ailleurs, il est fréquent qu'un même bassin présente plusieurs diagrammes de distribution : par exemple, un pour les faibles crues, l'autre pour les très fortes crues, ce qui est normal ; dans le premier cas, l'écoulement correspond à un film d'eau assez mince sur le sol ; dans l'autre

cas, l'écoulement se produit en nappe et suit les lois normales de l'hydraulique, donnant lieu à des vitesses très différentes.

Les bassins sahéliens, les plus arrosés, et les bassins tropicaux, les moins arrosés, présentent également deux types de ruissellement : celui du début de la saison des pluies (D S P) avec sol très peu couvert, hydrogramme aigu et, souvent, assez faible coefficient de ruissellement ; celui de fin de saison des pluies (F S P) avec une couverture végétale assez dense, un coefficient de ruissellement assez fort et un hydrogramme mou. On considérera surtout le premier hydrogramme pour les bassins sahéliens, le second pour les bassins tropicaux. Le diagramme de distribution a toujours été étudié uniquement pour les fortes crues ; on a éliminé de cette étude les diagrammes correspondant à un ruissellement qui ne couvre qu'une partie du bassin sauf lorsque ceci est caractéristique du bassin et de la région (cas des bassins de HAMZA et d'ALOKOTO).

On a hésité sur le choix du paramètre susceptible de caractériser l'hydrogramme : soit le temps de montée, temps compris entre le début de la crue et le maximum, soit le temps de base ou de ruissellement compris entre le début et la fin du ruissellement superficiel. Ces temps sont déterminés uniquement pour les crues unitaires, c'est-à-dire théoriquement pour des averses courtes et intenses. Il est souvent délicat de déterminer ces crues unitaires avec certitude. De l'ensemble des crues, il faut rejeter celles qui ne sont pas unitaires (temps trop longs ou, au contraire, trop courts à cause d'un ruissellement partiel). Pour le temps de base, la séparation entre ruissellement et écoulement hypodermique est parfois arbitraire, surtout en régime tropical de transition, de sorte qu'on ne sait pas toujours si la fin de l'hydrogramme de ruissellement est bien du ruissellement ou une autre forme d'écoulement.

Nous avons déterminé, à la fois, les deux temps et les avons étudiés à fond pour le régime sahélien. L'étude du temps de montée peut donner, dans le cas général, des recoupements sur le temps de ruissellement dont la détermination, nous l'avons dit plus haut, peut être assez imprécise.

Nous avons représenté, comme dans le paragraphe précédent, les temps de montée ou de ruissellement en fonction des superficies des bassins et divisé ceux-ci en 3 catégories :

a - Régimes subdésertiques et sahéliens :

On trouvera, sur les graphiques 8 et 9, les courbes de variations du temps de montée et du temps de base en fonction de la superficie. On a vite reconnu que l'influence de la perméabilité P était peu importante pour une catégorie donnée, ce qui est logique puisque, une fois le sol saturé, tous les sols sont semblables (en toute première approximation) en ce qui concerne la vitesse du ruissellement. On a donc tracé 4 courbes pour R₂, R₃, R₄ et R₅ ; chaque point représentatif porte les deux mentions R et P. On constate encore une notable dispersion qui, généralement, s'explique. Signalons trois causes principales :

- . l'allongement anormal des bassins : SEBIKOTANE (43 km²),
- . les galeries denses à l'aval : KOUMBAKA I,
- . les bassins qui ne ruissellent jamais en totalité : SEBIKOTANE, YOLDE, KAOUN.

Intervient également dans la dispersion le fait que certains bassins présentent des pentes intermédiaires entre P₂ et P₃, par exemple.

On notera la position très aberrante des points de fin de saison des pluies : BOULSA (F S P), NADJOUNDI (F S P) que nous n'avons portés sur ce diagramme que pour bien montrer la différence avec les points D S P.

On se souviendra que ces points correspondent à des averses unitaires. Ces averses ne sont pas décennales pour les bassins :

- R₂ inférieures à 2 km²
- R₃ " à 3 km²
- R₄ " à 15 km²
- R₅ " à 25 km²

Bien entendu, ces diagrammes sont valables pour des bassins de forme pas trop allongée avec un réseau hydrographique de forme ni trop favorable, ni trop défavorable au ruissellement.

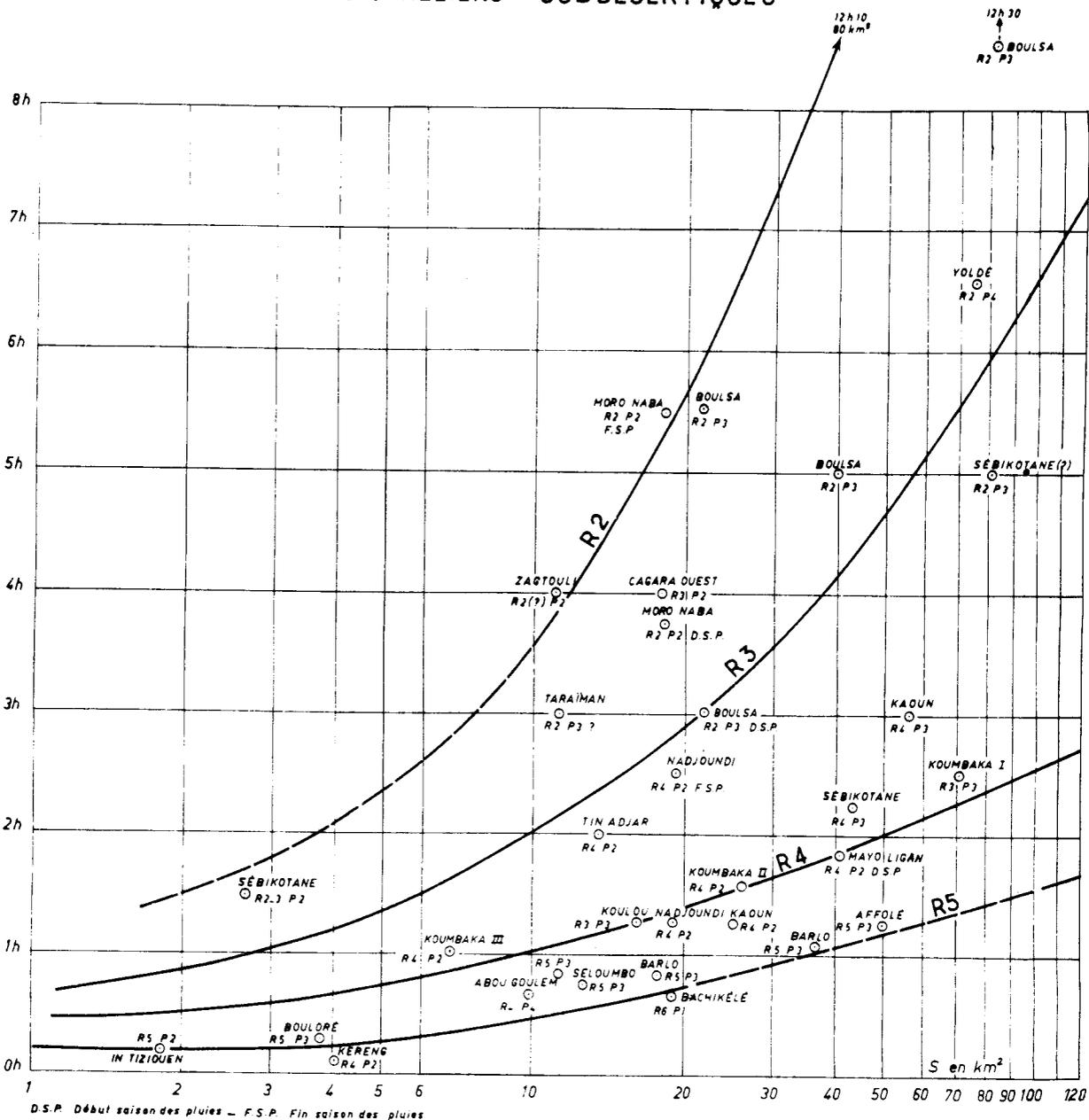
Il est bien entendu que, si un marécage se trouve sur le cours de la rivière principale d'un bassin R₄, les temps de montée et de base s'en trouveront sérieusement augmentés. Il suffit de comparer les bassins du DOUNFING pour lequel il y a quelques bas-fonds marécageux et du Mayo KERENG où il n'y en a pas.

Sur certains très petits bassins à forte pente, on note des valeurs anormalement faibles du temps de montée, cas du Mayo KERENG par exemple. Elles correspondent au phénomène de la vague. L'écoulement provenant des parties les plus éloignées du bassin chemine plus rapidement que celui des parties les plus rapprochées qui se traîne sur un lit à sec et le rattrape. Dans un tel cas, il est évidemment difficile de donner des règles de calcul précises pour le temps de montée.

b - Régimes tropicaux et tropicaux de transition :

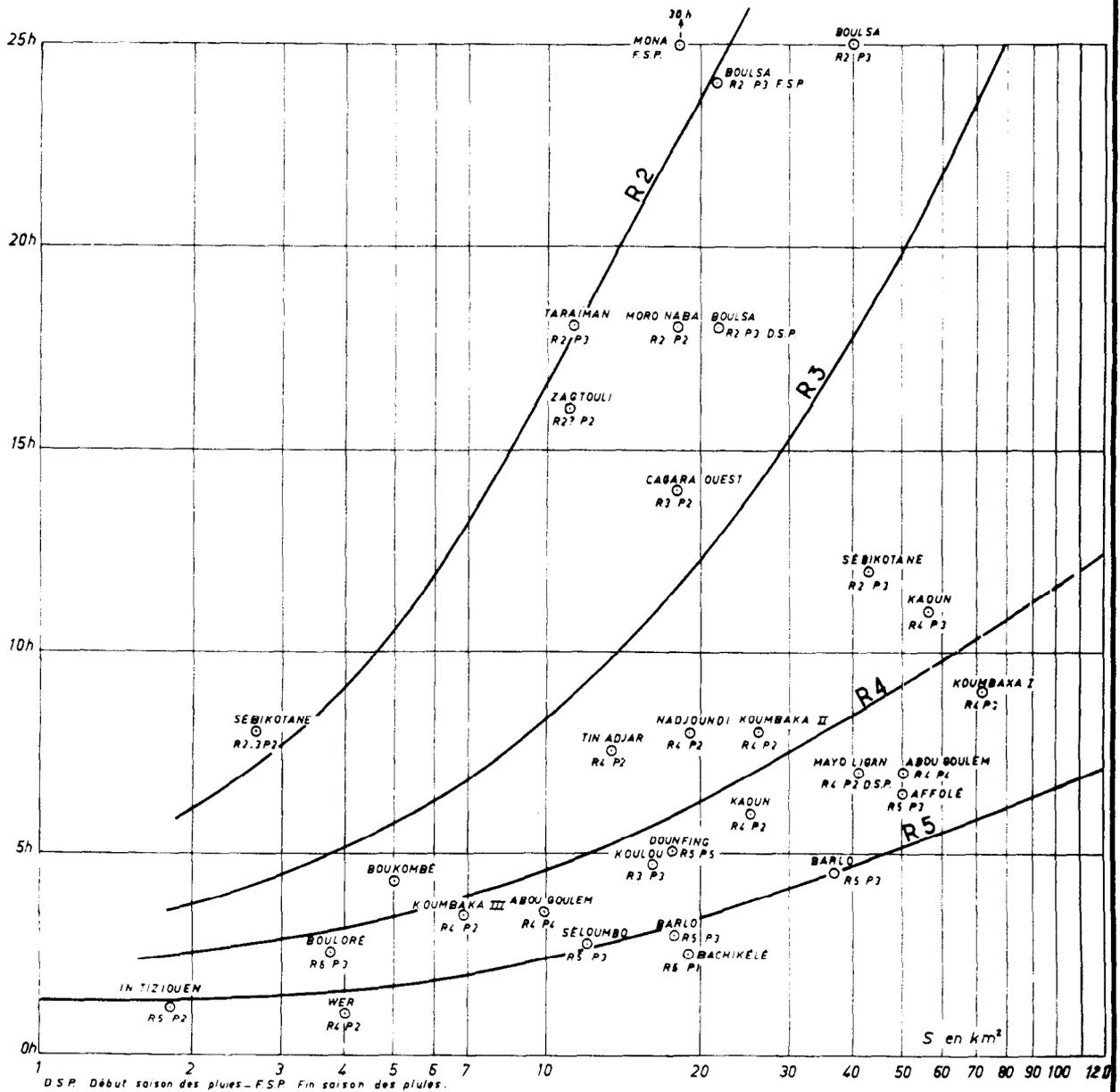
On a tracé, comme plus haut, les courbes de variations du temps de montée et du temps de base. On a utilisé les données des bassins situés vers la limite sahélienne-tropicale, déjà prises en compte dans l'étude précédente. A partir de l'isohyète 900 mm jusqu'à l'isohyète 1 100 mm, nous avons utilisé de préférence les données de la fin de la saison des pluies. Plus au Sud, cela n'a guère d'importance.

Temps de montée en fonction de R et de S
RÉGIMES SAHÉLIENS - SUBDÉSERTIQUES



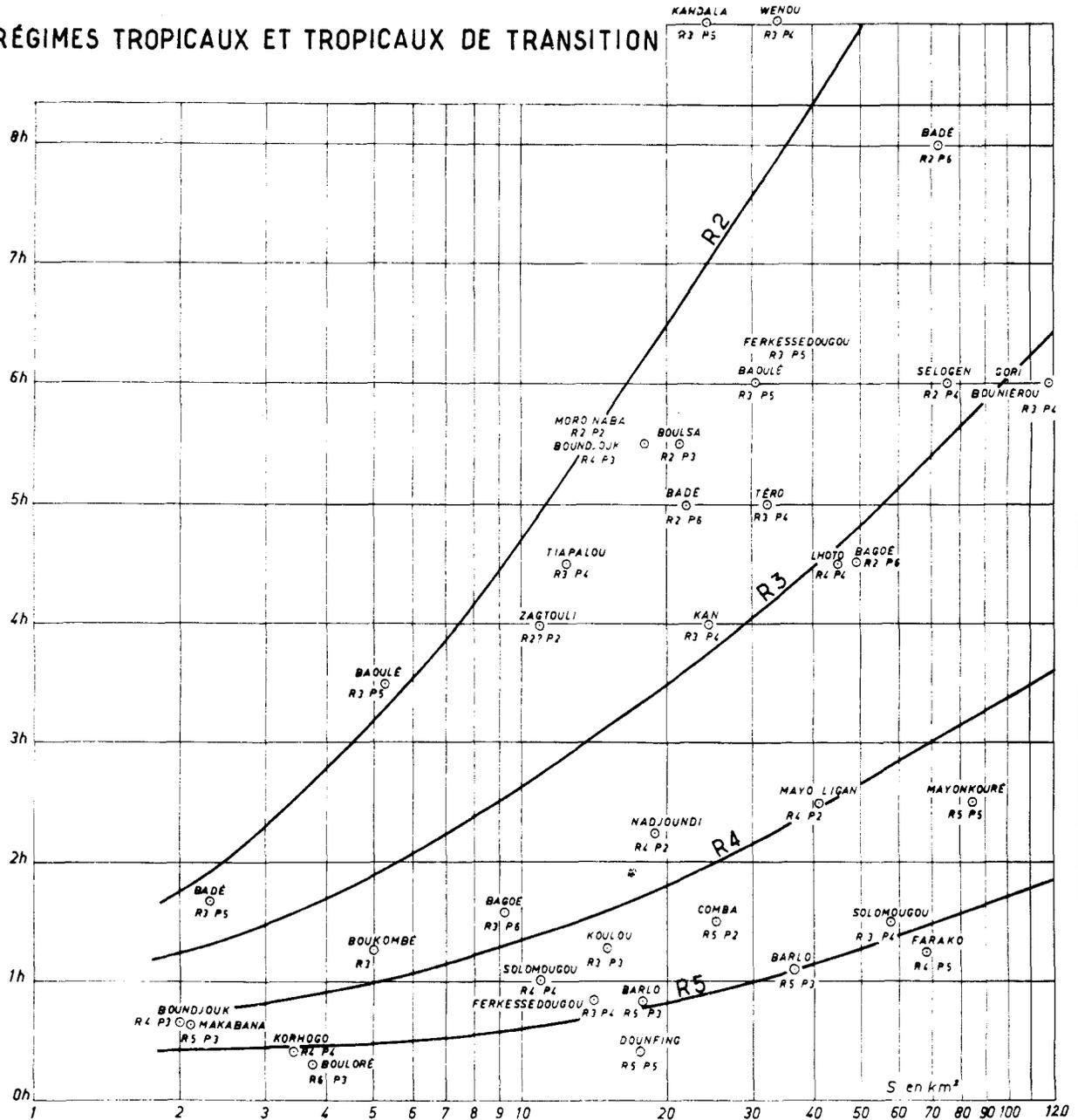
Temps de base en fonction de R et de S

RÉGIMES SAHÉLIENS-SUBDÉSERTIQUES



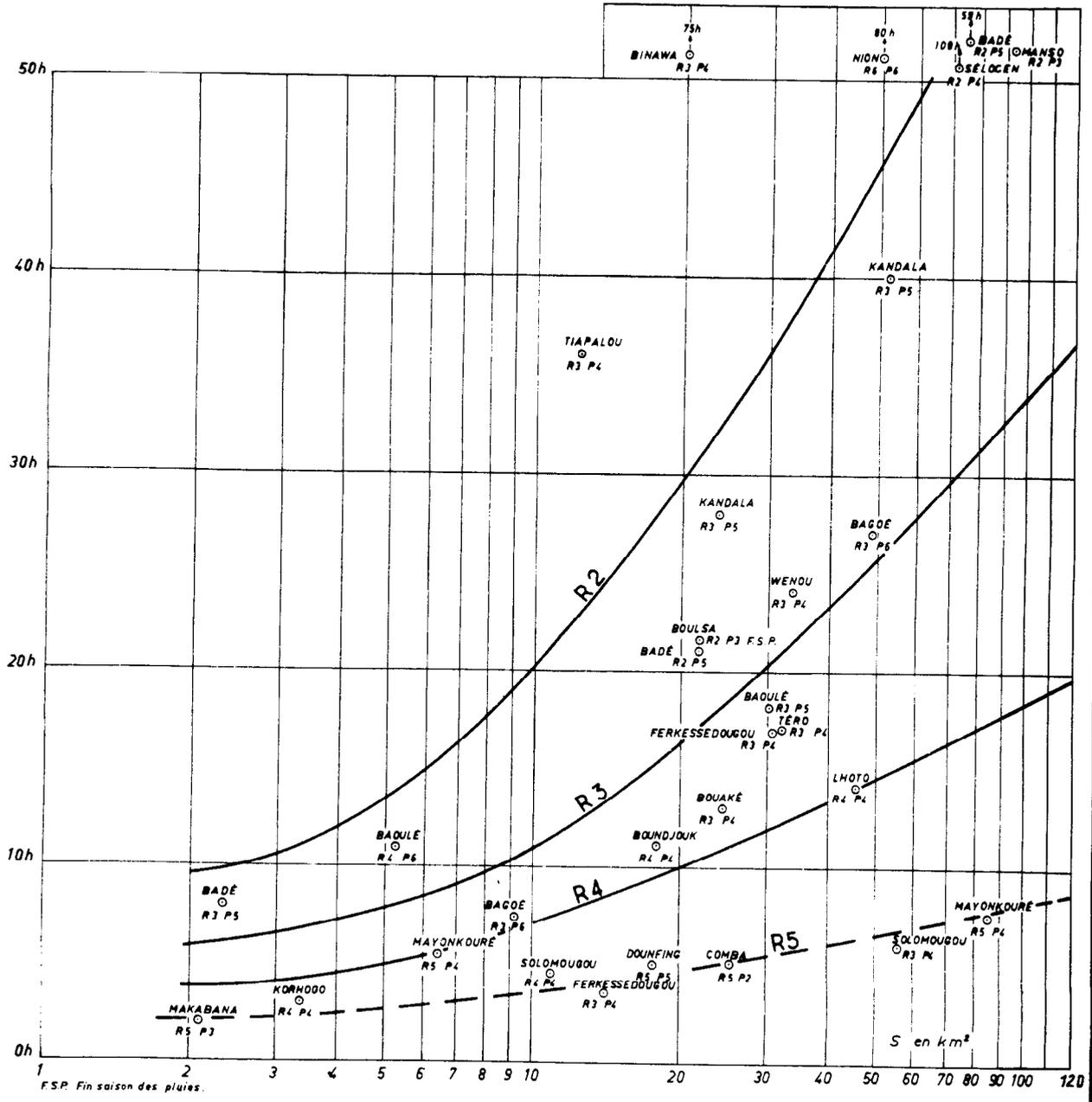
Temps de montée en fonction de R et de S

RÉGIMES TROPICAUX ET TROPICAUX DE TRANSITION



Temps de base en fonction de R et de S

RÉGIMES TROPICAUX ET TROPICAUX DE TRANSITION



DIV. 261 164

La dispersion semble plus forte que pour la catégorie précédente : ceci doit tenir à la présence de galeries forestières. On le voit bien, par exemple, pour les bassins de TIAPALOU et du WENOU qui présentent les mêmes caractéristiques que celui du GORI BOUNIEROU, mais ce dernier n'a pas de galerie forestière.

Les bassins très cultivés de KORHOGO et du SOLOMOUGOU présentent des temps de montée très courts comparables à ceux des bassins sahéliens.

De façon générale, les temps de montée sont plus longs que pour les bassins tropicaux. Ceci est dû à l'effet de freinage de la végétation.

Ceci est moins net pour les bassins de plus de 25 km² et les bassins à faible pente R₂ et R₃ car, sur les bassins sahéliens, la dégradation hydrographique intervient dans les cas précités, freinant l'écoulement dans les lits, alors que sur les parties amont il avait été plus rapide qu'en régime tropical.

Les temps de base tropicaux sont plus courts. Ceci est dû en partie à la façon dont on a séparé le ruissellement de l'écoulement hypodermique car, en régime tropical, il y a presque toujours un écoulement hypodermique. On tend à déterminer un temps de ruissellement trop court, alors qu'en régime sahélien, on néglige souvent l'écoulement hypodermique en l'englobant avec le ruissellement, ce qui conduit à des temps de base trop longs.

Mais la dégradation des lits de la région sahélienne intervient également dans le même sens et ceci est d'autant plus visible pour les bassins à faible pente R₂ et R₃.

c - Bassins forestiers :

Ils sont trop peu nombreux pour qu'il soit possible de tracer un réseau de courbes.

On trouvera, ci-après, le tableau indiquant, pour ces bassins, les deux indices R et P, la superficie S, le temps de montée T_m et le temps de base T_b :

| Bassins | Indices | S (km ²) | T _m | T _b |
|--------------|-------------------------------|----------------------|----------------|----------------|
| NZANG (Mala) | R ₆ P ₃ | 9, 2 | 0 h 40 | 3 h 30 |
| MITZIBE | R ₆ P ₃ | 6, 7 | 1 h | 3 h 40 |
| NION | R ₆ P ₆ | 10 | 6 h | 16 h |
| | R ₅ P ₆ | 62 | 30 h | 80 h |
| GBOA | R ₆ P ₆ | 11, 5 | 3 h 30 | 17 h |
| LOUE | R ₆ P ₆ | 17 | 3 h | 13 h |
| LEYOU | R ₅ P ₄ | 6 | 2 h 15 | 17 h 45 |
| AGBEBY | R ₄ P ₆ | 11 | 3 h 30 | 11 h |
| IFOU | R ₃ P ₅ | 38 | 7 h | 17 h |
| BIBANGA | R ₂ P ₄ | 25, 2 | 19 h | 35 h |
| BAFO | R ₂ P ₄ | 27 | 13 h | 40 h |
| SITOU | R ₂ P ₄ | 29 | 13 h | 26 h |
| MANSO | R ₂ P ₃ | 92 | 15 à 20 h | 52 h |

On s'est efforcé d'implanter les bassins dans les zones à plus forte pente possible ; les quatre premiers bassins sont de véritables bassins de montagne. Malheureusement, le GBOA et le LOUE sont des bassins très allongés, les temps de montée et de base devraient être plus courts que les temps trouvés sur ces bassins. Mais, en portant les points représentatifs sur les courbes des graphiques 10 et 11, on verrait (avec difficulté car il y a quelques points aberrants) que T_m est 2 à 5 fois plus grand en forêt qu'en régime tropical, le rapport est probablement plus élevé pour les très petits bassins. Le rapport serait un peu moins élevé pour les temps de base : il varie de 2 à 4. C'est là où l'on touche du doigt l'influence régularisatrice de la forêt. Cependant, dans le cas de très fortes pentes : R_5 ou R_6 , la différence avec les bassins tropicaux est moins grande. Pour les bassins de pente R_6 , on pourrait adopter la courbe R_4 du graphique 11.

ÉTUDE DU COEFFICIENT $K = \frac{Q}{M}$

Nous avons vu plus haut que, pour tenir compte de la forme de l'hydrogramme, on utilisait le facteur :

$$K = \frac{Q}{M}$$

où Q est la valeur maximale de l'hydrogramme de ruissellement unitaire et M le débit moyen de la crue supposé uniformément réparti sur toute la durée du temps de base T_b . On suppose, pour simplifier, qu'il n'y a pas d'écoulement hypodermique ; on ne considère alors que le volume d'écoulement superficiel. Etant donné que, pour l'étude de K_R , on a considéré à la fois ruissellement et écoulement hypodermique, on introduit là une nouvelle cause de dispersion, mais au stade où en est cette étude, il n'est pas possible de procéder avec plus de finesse et l'erreur sur les résultats des débits de crues calculés qui résultera de cette simplification restera faible.

On voit facilement que si l'hydrogramme est un simple triangle :

$$\frac{Q}{M} = 2$$

Si l'hydrogramme est très aigu avec une base assez élargie, ce qui est le cas de nombreux bassins ruisselant très bien, le volume de crue sera inférieur à celui du triangle et, par suite, $\frac{Q}{M}$ sera nettement supérieur à 2.

Si l'hydrogramme a un sommet très arrondi, le volume de crue sera très supérieur à celui du triangle, $\frac{Q}{M}$ sera inférieur à 2. C'est le cas des bassins de forêt.

Si l'hydrogramme, sans être très aigu, a une base étroite : cas des bassins ruisselant bien avec un ruissellement s'arrêtant très tôt, $\frac{Q}{M}$ sera également inférieur à 2.

On notera enfin que le rapport $\frac{Q}{M}$ devant être utilisé pour le calcul des crues décennales, il doit être calculé, pour les très petits bassins, non pas sur un hydrogramme unitaire mais sur l'hydrogramme correspondant à l'averse décennale, laquelle n'est plus unitaire. Ceci est valable presque exclusivement pour les bassins sahéliens à pentes modérées, fortes et surtout très fortes pour lesquels le temps de base est très court. On emploie, pour ces très petites surfaces, des éléments de courbes se raccordant aux courbes du graphique 9.

Ces éléments de courbes peuvent être simplement définis par leur ordonnée correspondant à l'abscisse 2 km^2 et leurs points de raccordement aux courbes du graphique 9. Les abscisses des points de raccordement ont été données plus haut, nous les rappelons ici :

$$\begin{aligned} \text{pour } R_2 &= 2 \text{ km}^2 \\ R_3 &= 3 \text{ km}^2 \\ R_4 &= 15 \text{ km}^2 \\ R_5 &= 25 \text{ km}^2 \end{aligned}$$

Les ordonnées du point $S = 2 \text{ km}^2$ sont les suivantes :

$$\begin{aligned} \text{pour } R_5 &= 2 \text{ h} \\ R_4 &= 3 \text{ h } 15 \\ R_3 &= 4 \text{ h } 35 \\ R_2 &= 6 \text{ h } 30 \end{aligned}$$

Ces courbes sont d'ailleurs déterminées avec fort peu de précision et elles correspondent à des cas moyens en ce qui concerne la forme du bassin et les caractéristiques du réseau hydrographique.

Le calcul des valeurs de $K = \frac{Q}{M}$ pour les bassins expérimentaux étudiés a mis en évidence une importante dispersion. Comme on pouvait le prévoir, le nombre de bassins dont on dispose ne permet pas de procéder à une étude systématique en fonction des divers facteurs. La courbe de variation moyenne est jalonnée par les points suivants, pour le régime sahélien :

| | | | | |
|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| 2 km^2 | 10 km^2 | 25 km^2 | 50 km^2 | 100 km^2 |
| 2, 6 | 2, 6 | 2, 5 | 3 | 3, 10 |

La croissance de $\frac{Q}{M}$ des bassins de 25 km^2 à ceux de 100 km^2 s'explique par le fait que la base de l'hydrogramme s'allonge dans un réseau de moins en moins adapté à l'écoulement au fur et à mesure que la crue progresse vers l'aval, c'est-à-dire que la surface du bassin augmente, alors que la partie la plus aiguë de la pointe progresse assez rapidement : d'où une base large avec une pointe pas trop écrasée. Pour les petits bassins inférieurs à 10 km^2 , l'hydrogramme n'est plus unitaire, sa forme varie peu entre 2 et 25 km^2 .

Les bassins ruisselant particulièrement bien : spécialement les catégories $R_4 P_2$ et $R_5 P_2$, surtout entre les isohyètes 700 mm annuels et 900 mm annuels à la limite des régimes sahéliens et tropicaux, ont encore un temps de base assez long et une pointe de crue très aigüe, d'où une valeur de $\frac{Q}{M}$ très élevée.

Il semble prudent, pour cette catégorie et dans le cas de réseau hydrographique propice au ruissellement (réseau en éventail), d'utiliser les chiffres suivants :

| 2 km ² | 10 km ² | 20 km ² | 50 km ² | 100 km ² |
|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|
| 3 | 3 | 3 | 4, 5 | 4 |

Pour les bassins tropicaux et tropicaux de transition on pourrait adopter pour $\frac{Q}{M}$ la valeur 2,5, quelle que soit la superficie du bassin, sans risquer de très graves erreurs. En forêt, on trouve assez souvent des valeurs de $\frac{Q}{M}$ voisines de 1,7.

CALCUL DES CRUES DÉCENNALES

Nous disposons maintenant de tous les éléments de calcul.

Considérons un bassin sous l'isohyète annuelle 700 mm. Pour fixer les idées, nous le situons en Haute-Volta à 10 km au nord de Kaya. Pour cette hauteur de précipitations, le climat est sahélien. La hauteur de précipitations décennale donnée par la carte des précipitations décennales de Haute-Volta (voir Etude générale des averses en Afrique Occidentale) est sensiblement de 102 mm par 24 h.

Nous supposons que ce bassin est imperméable (perméabilité P_2) et qu'une reconnaissance rapide du terrain permette de le classer en catégorie R_4 (pentes longitudinales, dans la partie moyenne, comprises entre 1 et 2% ; pentes transversales supérieures à 2%, inférieures à 8%). La superficie, planimétrée sur carte au 1/50 000 et sur photographies aériennes, est de 25 km². Le réseau hydrographique est normal, pas trop allongé, dégradation hydrographique à peine sensible.

Un tel bassin n'existe pas obligatoirement, exactement pour ces coordonnées géographiques, mais il s'agit d'un simple exemple.

Le coefficient d'abattement est égal à 1.

Sur le graphique 2, si on trace la droite $S = 25 \text{ km}^2$, elle rencontre la courbe $R_4 P_2$ qui correspond à notre bassin au point d'ordonnée 61% : c'est le coefficient de ruissellement pour notre crue décennale.

La lame d'eau ruisselée est de $102 \times 0,61 = 62,5 \text{ mm}$.

Le volume ruisselé est de :

$$62,5 \times 25 \times 10^3 = 1\,560\,000 \text{ m}^3$$

Le temps de base est donné par le graphique 9, courbe R₄ : il est de 7 h.

$$M = \frac{1\,560\,000}{7 \times 3\,600} = 62 \text{ m}^3/\text{s}$$

La valeur de $K = \frac{Q}{M}$ pour ce bassin ruisselant bien (R₄ P₂ sahélien), doit être prise égale à 3.

On en déduit :

$$Q = 62 \times 3 = \underline{186 \text{ m}^3/\text{s}}, \text{ soit sensiblement : } \underline{7\,500 \text{ l/s.km}^2}$$

Pour les bassins P₂, il n'y a pas d'écoulement hypodermique, ni d'écoulement souterrain à ajouter au ruissellement. Ce chiffre de 186 m³/s est le chiffre définitif, chiffre qu'on trouve habituellement pour ce type de bassin.

Il ne faudrait pas donner une signification trop précise à ce résultat ; à notre avis, en réalité, il serait préférable de dire que le débit de crue décennale est compris entre 150 et 225 m³/s.

Considérons un bassin de type guinéen dans le sud de la Haute-Volta à une cinquantaine de kilomètres au sud-ouest de Banfora, donc sous l'isohyète annuelle 1 250 mm d'après la carte présentée dans l'Etude générale des averse en Afrique Occidentale. Le régime est tropical de transition. La hauteur de précipitations décennale, lue sur la même carte que précédemment, est de 130 mm. On admettra qu'il est perméable (indice P₄) et de pente assez faible R₃ ; pente longitudinale dans la partie moyenne comprise entre 0,5 et 1% ; pentes transversales inférieures à 2%.

Admettons que la superficie soit de 70 km², réseau hydrographique normal, peu de marécages.

Le coefficient d'abattement est égal à 0,90. La hauteur de précipitations moyenne à prendre en compte est de :

$$130 \times 0,9 = 117 \text{ mm}$$

Le graphique 7 (courbe R₃ P₄) montre que, pour la crue décennale, pour un bassin R₃ P₄ et 70 km², le coefficient de ruissellement est égal à 18,5%.

La lame d'eau ruisselée est de 117 mm x 0,185 = 21,6 mm.

Le volume ruisselé pour 70 km² est de :

$$21,6 \times 70 \times 10^3 = 1\,520\,000 \text{ m}^3$$

Le temps de base lu sur le graphique 11 est de 30 h (on suppose que les galeries forestières ne sont pas trop épaisses, ce qui doublerait ou triplerait le temps de base).

$$M = \frac{1\,520\,000}{30 \times 3\,600} = 14 \text{ m}^3/\text{s}$$

La valeur de $K = \frac{Q}{M}$ pour ce bassin tropical de transition, doit être prise égale à 2,5.

On en déduit :

$$Q = 14 \times 2,5 = \underline{35 \text{ m}^3/\text{s}}, \text{ correspondant à : } 500 \text{ l/s.km}^2.$$

On peut ajouter un débit de base de $2 \text{ m}^3/\text{s}$ qui ne peut guère être déterminé qu'après examen sur place des débits de basses eaux, à défaut de l'examen du débit de base de la pleine saison des pluies.

On trouve $Q_{10} = 37 \text{ m}^3/\text{s}$ comme résultat définitif, soit 530 l/s.km^2 .

A noter que ce chiffre correspond à un terrain avec sa couverture naturelle. Si toute la zone est mise en culture, sans précautions contre le ruissellement, il faudra s'attendre à un changement des conditions du ruissellement : tout se passera comme si le bassin passait en perméabilité P_3 , ou peut-être même P_2 suivant le type de sol.

Prenons maintenant l'exemple d'un très petit bassin de 2 km^2 par exemple, que nous supposerons au Niger, sous l'isohyète annuelle 550 mm , à l'ouest de Madaoua. Le climat est du type sahélien. Nous supposerons que la pente correspond à R_4 et que le bassin est constitué à peu près entièrement par les argiles bien connues de cette région que l'on peut, sans hésitation, classer en P_2 . Nous ne pensons pas à un bassin particulier, mais il serait assez facile d'en trouver un de ce type dans la région indiquée. Notons que définir avec précision les limites d'un bassin de 2 km^2 n'est pas toujours facile.

La hauteur de précipitation décennale ponctuelle, lue sur la carte établie pour le Niger, est de 100 mm .

Le coefficient d'abattement est égal à 1, la hauteur de précipitations moyenne est donc de 100 mm .

Le graphique 2 (courbe $R_4 P_2$) montre que, pour la crue décennale, pour un bassin $R_4 P_2$ de 2 km^2 , le coefficient de ruissellement est de 82% .

La lame d'eau ruisselée est de $100 \times 0,82 = 82 \text{ mm}$.

Le volume ruisselé pour 2 km^2 est de :

$$82 \times 2 \times 10^3 = 164\,000 \text{ m}^3$$

Pour un bassin si petit, nous avons vu plus haut que la crue n'était pas unitaire ; par conséquent, le temps de base sera donné par la courbe spéciale se raccordant à la courbe du graphique 9. Pour 2 km^2 , le temps de base est de 3 h 15

$$M = \frac{164\,000}{3,25 \times 3\,600} = 14 \text{ m}^3/\text{s}$$

Pour un bassin R4 P2 de 2 km², $K = \frac{Q}{M} = 3$

$$Q_{10} = 14 \times 3 = 42 \text{ m}^3/\text{s}$$

C'est le débit décennal définitif, sur un bassin P₂, il n'y a pas d'écoulement hypodermique.

Ce débit correspond à 21 000 l/s.km², chiffre déjà trouvé sur des bassins imperméables de 2 km².

Considérons un bassin de 120 km², que nous supposerons au Sénégal, dans la région de KEDOUGOU, à une quarantaine de kilomètres à l'Est, sous l'isohyète annuelle 1 300 mm. Le régime hydrologique sera tropical de transition.

Pour un bassin de cette dimension, dans une région où le relief n'est pas trop accentué, on peut supposer que la pente correspond à la catégorie R₃. Supposons que le terrain n'est pas trop perméable, le bassin pourra être classé en P₃. La hauteur de précipitation décennale, lue sur les cartes du Comité Interafricain, est de 135 mm. Pour 120 km², le coefficient d'abattement est de 0,85.

La hauteur de précipitation moyenne sur le bassin sera de :

$$135 \text{ mm} \times 0,85 \neq 115 \text{ mm}$$

Le graphique 6 (courbe R₃ P₃) correspondant à la catégorie P₃ montre que le coefficient de ruissellement est de 34% pour la crue décennale.

La lame d'eau ruisselée est de :

$$115 \text{ mm} \times 0,34 = 39 \text{ mm}$$

Le volume ruisselé pour 120 km² sera de :

$$39 \times 120 \times 10^3 = 4\,700\,000 \text{ m}^3$$

Le temps de base, lue sur le graphique 11, est de 37 h 12'.

$$M = \frac{4\,700\,000}{37,2 \times 3\,600} = 35 \text{ m}^3/\text{s}$$

La valeur de $K = \frac{Q}{M}$ pour ce bassin tropical de transition doit être égale à 2,5.

On en déduit :

$$Q = 2,5 \times 35 = 87,5 \text{ m}^3/\text{s}.$$

On peut supposer un débit de base de 2,5 m³/s.

En définitive $Q_{10} = 90 \text{ m}^3/\text{s}$, soit 750 l/s.km².

Enfin, nous ferons, à titre indicatif, un essai sur un bassin de forêt en Côte d'Ivoire : superficie 10 km², pente assez forte R₄, perméabilité modérée (pour la forêt) P₄.

Supposons une averse décennale de 160 mm. Le coefficient d'abattement est égal à 1. L'averse moyenne sur le bassin est de 160 mm. Un coefficient de ruissellement de 12% est vraisemblable. La lame d'eau ruisselée est de 19,2 mm. Le volume ruisselé pour 10 km² est de :

$$19,2 \times 10 \times 10^3 = 192\,000 \text{ m}^3$$

En régime tropical, le temps de base serait de 7 h : on admettra qu'ici, il est le double, ce qui peut être un peu faible mais joue en faveur de la sécurité :

$$M = \frac{192\,000}{14 \times 3\,600} = 3,8 \text{ m}^3/\text{s}$$

On a vu plus haut qu'en général $\frac{Q}{M}$ est voisin de 1,7 :

$$Q = 3,8 \times 1,7 = 6,46 \text{ m}^3/\text{s}.$$

On peut supposer un débit de base de 1 m³/s.

Le débit de crue décennale Q_{10} serait de 7,5 m³/s environ, soit 750 l/s.km². Mais, dans ce cas, il s'agit d'un simple ordre de grandeur.

Le calcul des crues exceptionnelles, pour des bassins dépassant 120 km², exige, dans tous les cas, un processus différent.

Le nombre de points expérimentaux plus faible, le fait que la méthode des hydrogrammes unitaires s'applique de plus en plus mal (tout au moins avec ce type d'averse), entraînent une plus grande imprécision :

a — Dans le cas de bassins sahéliens et subdésertiques de plus de 120 km², le calcul par les moyens proposés jusqu'ici peut conduire à des résultats tout à fait erronés. La dégradation hydrographique du réseau intervient tout d'abord pour fausser les résultats. Par ailleurs, l'hétérogénéité du bassin est très fréquente pour ces superficies relativement grandes et elle conduit également à des erreurs.

Signalons que, très souvent, le débit maximal de fréquence décennale est dû à une crue survenant sur un des affluents de la partie aval du bassin. On aura donc le plus grand intérêt à calculer la crue décennale sur ces petits affluents et s'ils viennent confluer à faible distance de la station étudiée, on comparera leur crue à la crue décennale de l'ensemble du bassin. On aura intérêt à procéder à ce contrôle chaque fois que le bassin dépassera 40 km². Pour le volume décennal de crue, par contre, il y aura souvent intérêt à considérer une crue de l'ensemble du bassin.

Si le bassin est bien homogène, la dégradation hydrographique faible et qu'il ruisselle suffisamment, on calculera le débit spécifique en l/s.km² pour la surface considérée entre le point 120 km² que l'on peut calculer avec le graphique et le point 200 km² pour lequel nous donnons le débit spécifique de crue décennale pour les divers types de bassins :

$$R_4 P_2 = 2\,000 \text{ l/s.km}^2 \qquad R_4 P_3 = 1\,100 \text{ l/s.km}^2$$

$$R_3 P_2 = 700 \text{ l/s.km}^2 \qquad R_3 P_3 = 325 \text{ l/s.km}^2$$

$$\begin{aligned} R_2 P_2 &= 400 \text{ l/s.km} & R_2 P_3 &= 110 \text{ l/s.km} \\ R_4 P_4 &= 225 \text{ l/s.km} \\ R_3 P_4 &= 0 \end{aligned}$$

Les bassins R_5 et P_1 sont très rares pour de telles superficies ; toutefois, il semble que la limite supérieure de la crue décennale corresponde à 3000 l/s.km^2 , probablement pour des bassins types $R_5 P_2$ ou $R_4 P_1$.

Prenons le cas d'un bassin sahélien en $R_3 P_2$ de 150 km^2 , au réseau très peu dégradé et bien homogène. L'averse décennale ponctuelle est de 100 mm . Un calcul analogue à ceux effectués plus haut montre que le débit de crue décennale est de 1000 l/s.km^2 pour 120 km^2 .

Nous avons vu que, pour 200 km^2 , il est de 700 l/s.km^2 .

Le débit spécifique pour 150 km^2 sera de :

$$\begin{aligned} (700 + 300 \times \frac{50}{80}) \text{ l/s} &= 890 \text{ l/s.km}^2, \\ \text{soit } \underline{900 \text{ l/s.km}^2} &\text{ correspondant à } \underline{135 \text{ m}^3/\text{s}}. \end{aligned}$$

On ne doit donner à ce chiffre qu'une valeur assez indicative et encore, sous réserve d'une sérieuse vérification sur le terrain des conditions d'application.

b — Pour les bassins tropicaux ou tropicaux de transition, l'homogénéité est souvent plus grande et la dégradation hydrographique beaucoup plus faible, les résultats seront donc meilleurs. Mais on adoptera le mode de calcul simplifié suivant :

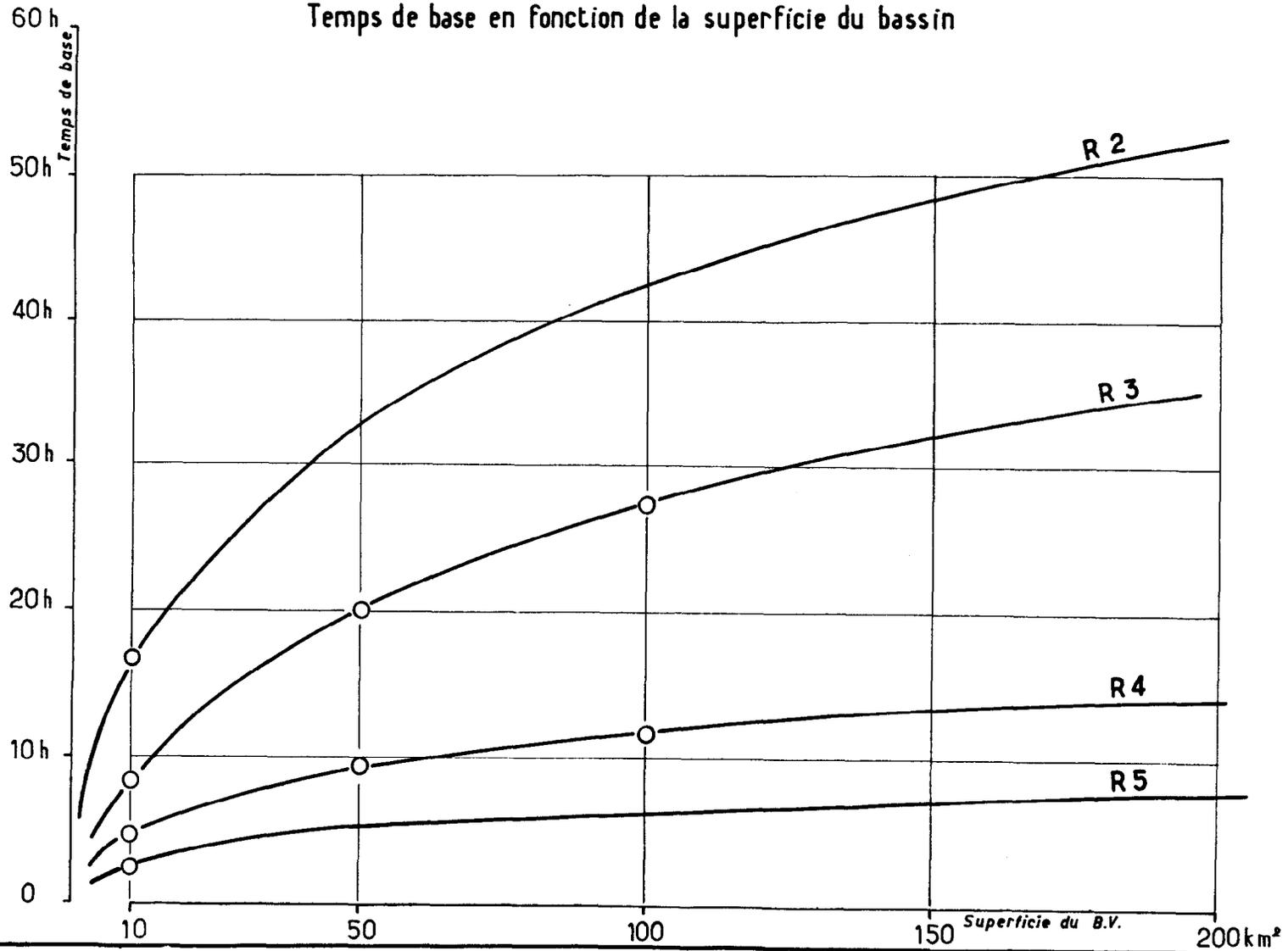
Le coefficient de ruissellement sera supposé constant entre 120 et 200 km^2 . On adoptera les valeurs suivantes :

| | |
|---|---|
| $R_4 P_2 = 48\%$ (galerie forestière insignifiante) | $R_5 P_3 = 46\%$ (galerie forestière insignifiante) |
| $R_3 P_2 = 40\%$ | $R_4 P_3 = 38\%$ |
| $R_2 P_2 = 36\%$ | $R_3 P_3 = 34\%$ |
| | $R_2 P_3 = 29\%$ |
| $R_5 P_4 = 36\%$ | $R_5 P_5 = 26\%$ |
| $R_4 P_4 = 28\%$ | $R_4 P_5 = 18\%$ |
| $R_3 P_4 = 18\%$ | $R_3 P_5 = 9\%$ |
| $R_2 P_4 = 9\%$ | $R_2 P_5 = 5\%$ |
| $R_2 P_6 = 2\%$ | |

DIV. 261.175

Régimes subdésertiques et sahéliens

Temps de base en fonction de la superficie du bassin



Gr.12

DIV. 261.176

Régimes tropicaux et tropicaux de transition

Temps de base en fonction de la superficie du bassin

Temps de base

70h

60h

50h

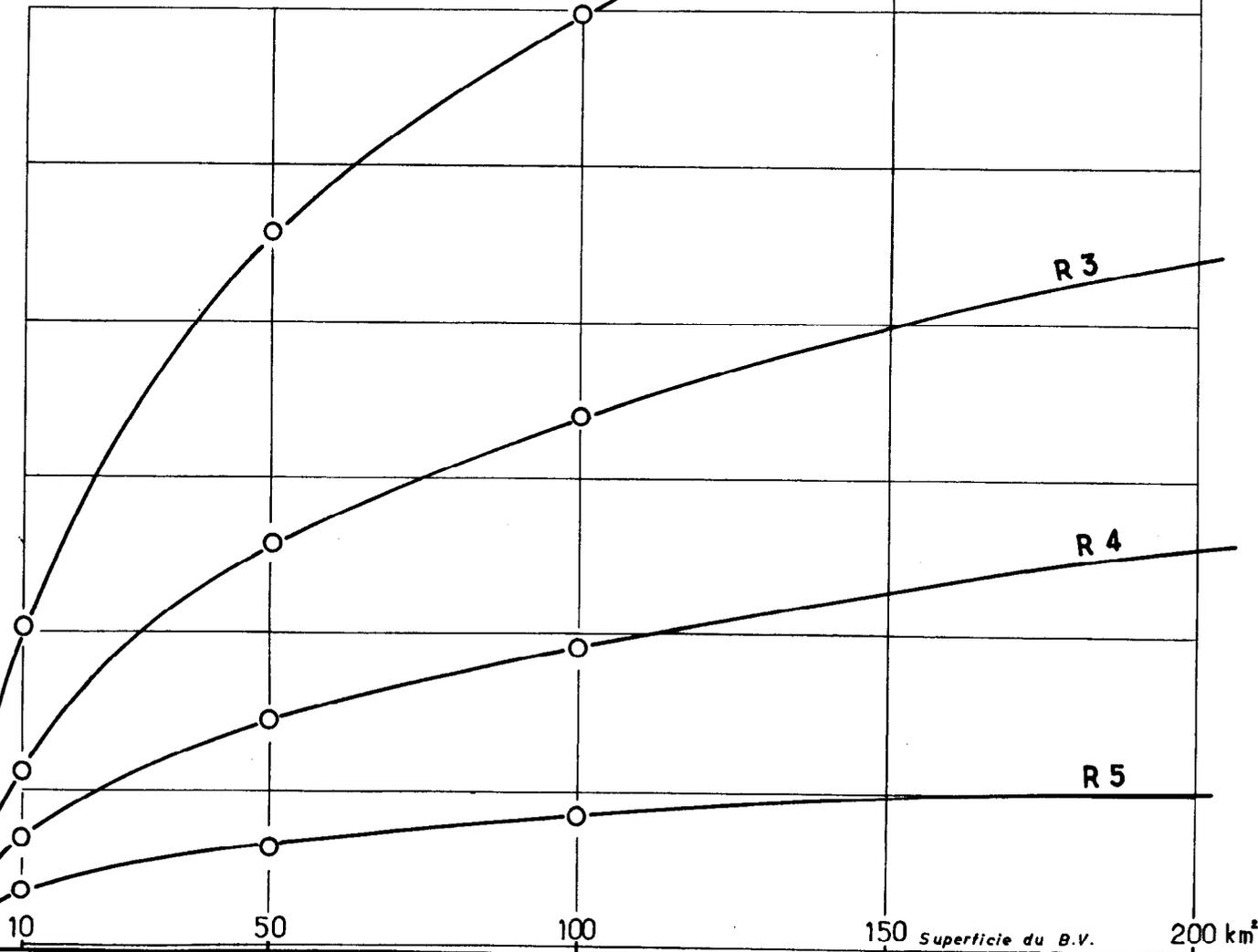
40h

30h

20h

10h

0



R2

R3

R4

R5

150 Superficie du B.V. 200 km²

Gr-13

Le temps de base sera donné par le graphique 13.

Le rapport $\frac{Q}{M}$ sera pris égal à 3, 2 sauf pour les bassins R₄ P₂ où il sera égal à 3, 5.

Considérons un bassin de 150 km² R₄ P₄, précipitation décennale ponctuelle 130 mm.

Le coefficient d'abattement est de 0, 85. La précipitation moyenne sur le bassin est de 110 mm. Le coefficient de ruissellement est de 28%.

Le volume de ruissellement sera de :

$$110 \times 0, 28 \times 150 \times 10^3 = 4\,610\,000 \text{ m}^3$$

Le temps de base, lu sur le diagramme 13, est de 23 h.

$$M = \frac{4\,610\,000}{23 \times 3\,600} = 55 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$k = 3, 1$$

$$Q = 55 \times 3, 1 = 170 \text{ m}^3/\text{s}$$

Le débit de base sera supposé égal à 5 m³/s

$$Q_{10} = 175 \text{ m}^3/\text{s}, \text{ soit } 1\,150 \text{ l/s.km}^2$$

c — Pour la forêt, nous n'avons que deux données, l'une pour un bassin de 92 km² et l'autre pour un bassin de 150 km² (les débits spécifiques décennaux sont respectivement de 1 600 l/s.km² et 250 l/s.km²). Il est impossible de donner des règles actuellement. Indiquons cependant que, comme en zone sahélienne, le maximum du débit décennal peut provenir d'un petit affluent de la partie aval du bassin.

CONCLUSIONS

Les moyens que met cette présente note à la disposition des ingénieurs sont plus sûrs que ceux présentés dans la note précédente : des recherches importantes ont été effectuées, entre les deux notes, sur les précipitations décennales, le coefficient d'abattement, le coefficient de ruissellement et le temps de base mais il reste encore beaucoup à faire pour disposer de moyens de calculs précis.

Rien n'a pu être fait pour que l'on tienne compte des dispositions du réseau hydrographique dont le rôle sur le temps de base est très important et des épaisses galeries forestières.

Il faudrait pouvoir tracer des réseaux de courbes différents pour les régimes tropicaux et les savanes équatoriales et même pour les diverses classes de précipitations annuelles : 800 - 1 000 mm, 1 000 - 1 200 mm, 1 200 - 1 400 mm, etc., car, pour le même indice R P et la même hauteur de précipitation annuelle, K_R croît légèrement quand la hauteur de précipitation annuelle croît.

Mais surtout, la principale source d'imprécision réside dans le classement des bassins dans les catégories R et P. Cette classification n'est pas assez fine et surtout on manque de moyens pour dire qu'un bassin est en P₄ ou en P₅ lorsque aucune observation de débit n'y a été faite. Il est difficile de relier des résultats de mesures de perméabilité en laboratoire ou au champ aux données globales du bassin, telles que la précipitation limite d'écoulement qui ne constitue actuellement qu'un repère très imparfait. Il faudra attendre des recherches approfondies des hydrologues et des pédologues pour donner un moyen simple de classer les bassins par perméabilité globale.

Indiquons simplement qu'une argile bien imperméable ou des roches en dalles pas trop diaclasées correspondent à P₂,

- . des roches très fissurées non calcaires correspondent à P₃ et parfois P₄,

- . des formations latéritiques avec carapace plus ou moins démantelée correspondent à P₄ ou P₃ si la carapace est en bon état,

- . les sols ferrallitiques avec arène granitique peuvent être classés en P₄ et P₅,

- . les sables correspondent souvent à P₅ ou P₆, quand ils sont particulièrement perméables,

- . en forêt, P doit être majoré comme on l'a vu plus haut, pour tenir compte du rôle de la couverture végétale.

Les recettes que l'on a données dans la présente note doivent être appliquées avec beaucoup de jugement et un examen sérieux du terrain et, en particulier, du réseau hydrographique, qui fournira des recoupements non inutiles.

Enfin, ces règles de calcul sont valables pour l'Afrique au sud du Sahara et à l'ouest du Congo (abstraction faite de la lisière côtière et des zones recevant plus de 2 200 mm par an). Il n'est pas impossible qu'elles rendent service dans d'autres régions, en particulier dans les zones tropicales sans typhons, ni cyclones, mais il serait de la dernière imprudence de les appliquer dans ce cas, sans de sérieuses vérifications de leur validité dans ces pays.
