

Quelques exemples d'application de la méthode de l'hydrogramme unitaire à des bassins versants expérimentaux d'Outre-mer

Examples of applications of the unit hydrograph method
to experimental catchment areas overseas

PAR J. RODIER

INGÉNIEUR EN CHEF A L'ÉLECTRICITÉ DE FRANCE
CHEF DU SERVICE HYDROLOGIQUE DE L'OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

L'application des méthodes d'hydrologie analytique présente un certain nombre de difficultés pratiques dues surtout à l'hétérogénéité des précipitations, au caractère complexe des diagrammes d'intensité des précipitations et au manque d'homogénéité des terrains. Les études des bassins expérimentaux d'Outre-Mer montrent comment on peut résoudre ces difficultés.

Il s'agit d'obtenir l'hydrogramme de crue pour une averse définie par ses diverses caractéristiques.

La méthode des hydrogrammes unitaires conduit assez facilement à l'hydrogramme type du bassin.

Par contre, la recherche de la relation entre hauteur de précipitations et volume de la crue correspondante, pour les divers états de saturation et pour les divers types de sols, est beaucoup plus délicate; on parvient à approcher cette relation par divers procédés.

Quelques exemples de calculs de crues décennales sont donnés en conclusion.

A certain number of practical difficulties arise in the application of analytical hydrology methods, resulting especially from the heterogeneous nature of the local precipitations, the complex precipitation intensity diagrams involved, and the lack of homogeneity of the local ground. Studies of experimental catchment areas overseas show how these difficulties can be overcome.

The aim is to determine the flood hydrograph for a shower defined by its various characteristics.

The unit hydrograph method provides a fairly convenient means of determining the typical hydrograph for the catchment area.

A much more delicate problem, on the other hand, is the determination of the relationship between rainfall and the corresponding flood volume, for various states of saturation and soil types. Various procedures are used in a successful approach to this relationship.

The paper ends with a few examples of ten-yearly flood calculations.

La théorie des hydrogrammes unitaires s'intègre dans la méthode analytique d'étude des phénomènes de l'écoulement.

Pour une crue donnée sur un petit bassin, trois points sont à examiner :

- l'averse qui a donné naissance à la crue,
- le volume écoulé qui en est résulté,
- le débit maximal correspondant à ce volume.

L'étude des averses est relativement facile si la masse des observations pluviométriques est suffisante.

L'application des diverses recettes des hydrogrammes unitaires permet de résoudre la troisième question de façon satisfaisante dans de très nombreux cas.

La seconde est redoutable, mais les études d'hydrologie analytique qui se sont développées parallèlement à la théorie des hydrogrammes unitaires et, notamment, les observations systématiques des bassins expérimentaux, permettent d'aboutir souvent à des résultats acceptables.

Les méthodes d'hydrologie analytique comportent deux étapes :

O. R. S. T. O. M.

20 DEC. 1968

Collection de Référence

n° B/2665

Dans un premier stade, on analyse averses et crues le plus souvent sur un bassin expérimental puis, dans une deuxième étape, grâce aux caractéristiques que cet examen a mises en évidence, notamment le diagramme de distribution et les variations de la capacité d'absorption avec l'importance de l'averse, on reconstitue l'hydrogramme de crue pour une averse donnée.

Si les études hydrologiques ont été suffisamment poussées, on peut réduire de beaucoup la

première partie de cette étude et même se contenter d'un rapide examen du terrain. Dans certains cas, il suffit d'utiliser des courbes et des abaques. Mais nous n'en sommes pas là!

On voit que cette méthode peut s'appliquer à l'estimation de crues exceptionnelles, mais elle ne se limite pas là. Nous ne considérerons, cependant, dans ce qui suit, que cette étude particulière.

I. — ANALYSE DES DONNÉES D'OBSERVATIONS

Généralement, elles ont été recueillies sur des bassins expérimentaux dont nous rappelons, ci-dessous, l'équipement :

1° Un ensemble de pluviomètres (dix à vingt) et de pluviographes (au moins deux) destinés, pour chaque averse, à la détermination des ré-

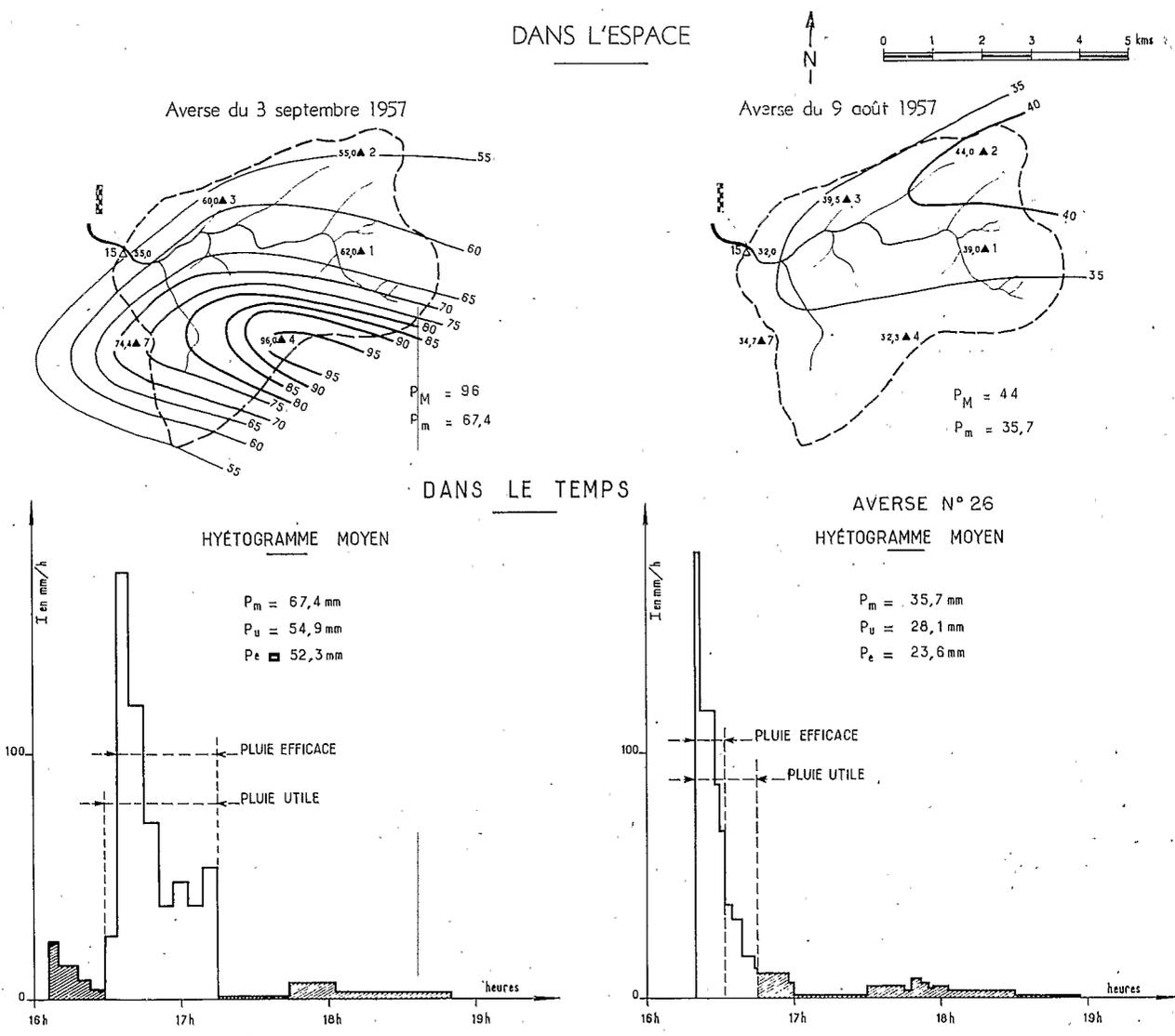


Fig. 1 Répartition de la pluie. Bassin versant de Koumbaka.

partitions de la pluie dans le temps et dans l'espace;

2° Une ou plusieurs stations de jaugeages permettant d'établir, pour chaque crue, le diagramme des débits ou hydrogrammes.

Des mesures d'infiltrations et bien d'autres observations sont effectuées sur un bassin expérimental; leur énumération nous entraînerait trop loin.

L'analyse des données d'observations porte sur les averses et les crues :

a) *Etude des averses :*

Elle doit :

- caractériser chaque précipitation par un petit nombre de grandeurs en fonction desquelles il sera possible d'étudier les différents facteurs de la crue qui lui correspond;
- compléter les données des postes pluviométriques des Services météorologiques en vue de l'étude statistique complète des averses.

Chaque averse est caractérisée par la répartition de la hauteur pluviométrique dans l'espace, la répartition des intensités dans le temps, et l'état de saturation du sol.

La répartition dans l'espace est donnée par le réseau d'isoyètes : deux exemples sont présentés par la figure 1 relative au bassin de Koumbaka au Mali. Ce réseau est traduit sur les tableaux comparatifs par trois chiffres qu'on trouvera sur le tableau 10 : le maximum ponctuel P_m , la précipitation moyenne sur le bassin P et une indication de la dispersion qui peut être indiquée très simplement par la valeur minimale P_m . On retrouve l'averse 26 qui figurait sur le graphique 1.

Nous rappelons que la méthode des hydrogrammes unitaires n'est applicable que si la répartition n'est pas trop hétérogène. Si cette condition est remplie, l'averse réelle sera remplacée par une averse homogène de hauteur égale à la moyenne P . Mais l'examen de la dispersion et de la position de l'épicentre permet d'expliquer bien des anomalies.

Le graphique 1 montre deux types de répartition des intensités dans le temps. On vérifie d'abord si les diagrammes des deux pluviographes sont assez voisins, sinon la méthode des hydrogrammes unitaires ne s'applique pas. Ce point étant vérifié, on compose ces diagrammes pour obtenir un diagramme moyen applicable à tout le bassin. Cette composition, dans les cas les plus simples, peut s'effectuer par la moyenne des intensités. Dans certains cas, il peut y avoir intérêt à employer la méthode Rochette expliquée par la figure 2.

Les intensités de chaque pluviographe sont

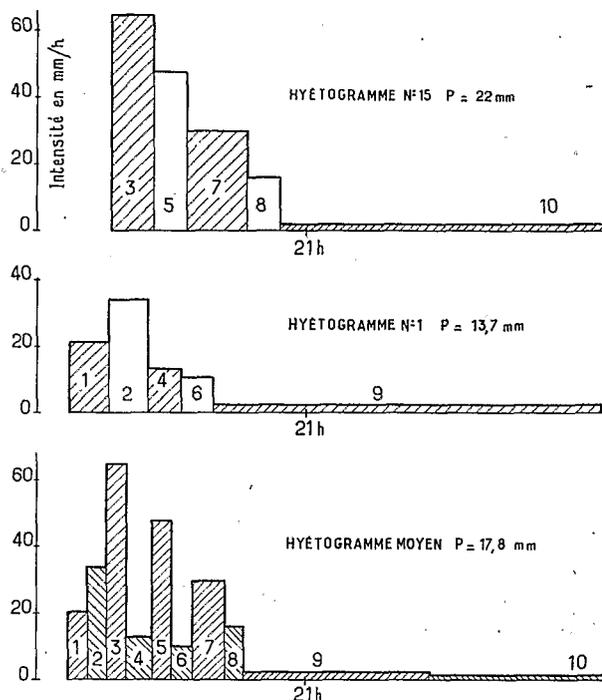


FIG. 2

Composition du hyétogramme moyen d'une averse. Koumbaka, le 31-7-56.

conservées, les durées correspondantes sont réduites en fonction du poids affecté à chaque pluviomètre; on évite ainsi d'éliminer des pointes locales d'intensité qui donnent lieu à ruissellement. Enfin, dans les cas les plus complexes, on peut employer la méthode de Horton.

La figure 1 montre que certaines parties du hyétogramme ne donnent pas lieu manifestement au ruissellement, seule la partie centrale ou corps de l'averse intervient. On est ainsi amené à définir une pluie utile correspondant à ce corps ou une pluie efficace qui correspond exactement à la durée du ruissellement.

Un hyétogramme peut donc être caractérisé par une série de chiffres: hauteur totale de précipitations, hauteur utile ou hauteur efficace, intensité maximale, intensité utile, durée utile, etc.

Une partie de ces caractéristiques, souvent la hauteur utile et l'intensité maximale, sont portées pour les hyétogrammes moyens de chaque averse sur des tableaux tels que le tableau 11.

Enfin, pour caractériser l'état de saturation du sol, on précise, en heures ou en jours, l'intervalle séparant l'averse étudiée de la première précipitation antérieure dépassant 2 ou 5 mm. Il est parfois intéressant d'indiquer par un signe spécial si cette averse antérieure a été faible, médiocre, forte ou très forte. On peut remplacer ces deux données par un indice de saturation qui en est une fonction simple.

Pour les bassins perméables, le débit de base Q_0

ou début de la crue peut fournir une bonne indication sur l'état de saturation.

b) Etude des crues :

L'étude des crues a pour objet la détermination de la forme type de l'hydrogramme ou diagramme de distribution et de la valeur de la capacité d'absorption ou du coefficient de ruissellement en fonction des diverses caractéristiques de l'averse telles qu'elles viennent d'être définies.

1° DÉTERMINATION DU DIAGRAMME DE DISTRIBUTION :

Des relevés des limnigraphes et de la courbe d'étalonnage, on déduit les hydrogrammes bruts.

Il s'agit, sur ceux-ci, de séparer le ruissellement des autres formes de l'écoulement. Précisons à ce sujet que, si le ruissellement est classique en terrain imperméable avec la formation d'un film et, parfois, d'une nappe d'eau super-

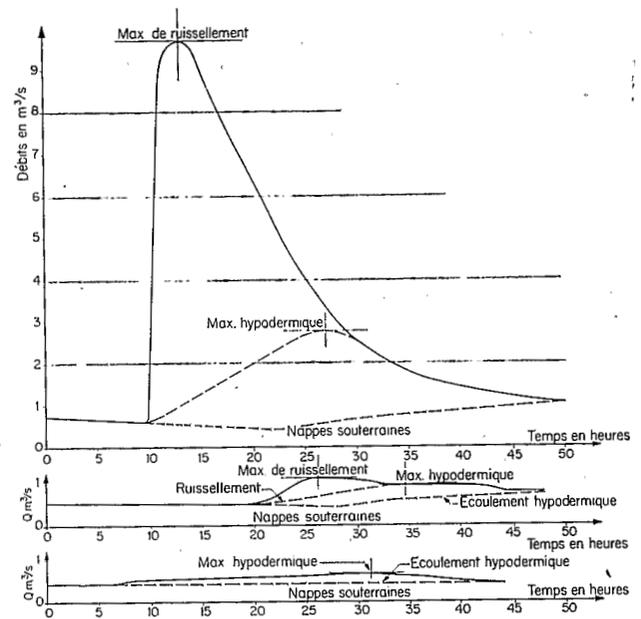
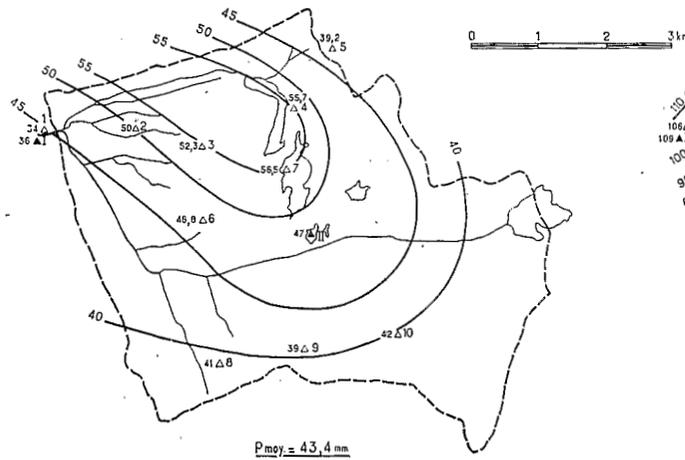


FIG. 3 Différentes formes d'écoulement sur un bassin versant.

ISOHYÈTES pour l'averse du 20 juillet 1956



ISOHYÈTES pour l'averse du 12 août 1956

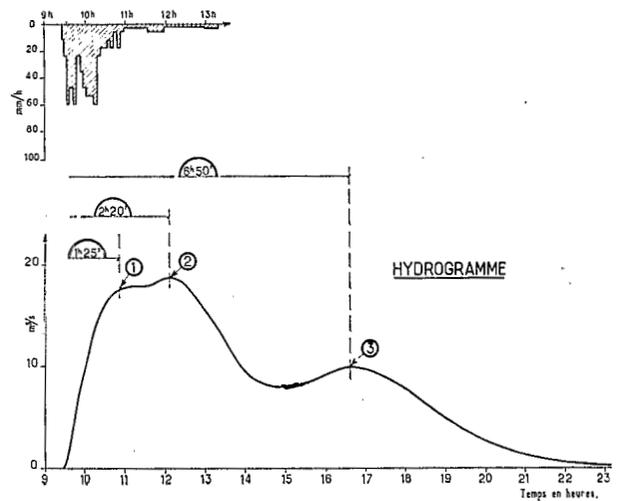
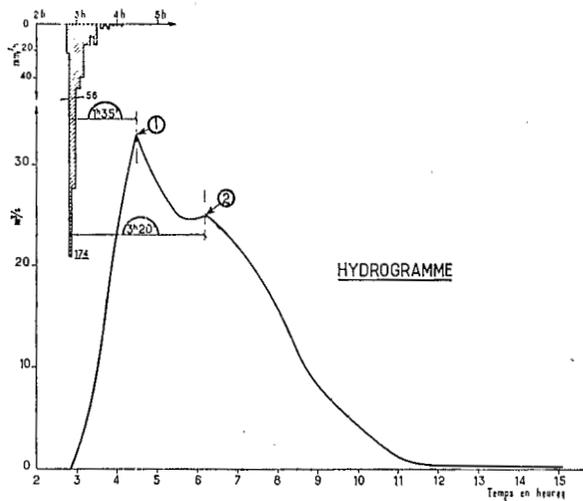
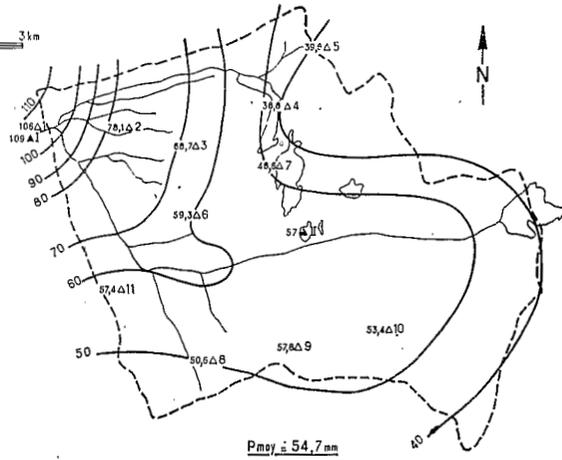


FIG. 4 Bassin versant de Tin Adjar.

ficielle continue, dans le cas de terrains perméables ou de régions forestières, ce que l'on serait tenté d'appeler ruissellement est, en fait, presque de l'écoulement hypodermique.

La séparation entre ruissellement et écoulement hypodermique est parfois malaisée, comme on peut le voir sur la figure 3, relative à un bassin de savane boisée de Côte-d'Ivoire, sur lequel l'origine des temps correspond au centre de gravité de l'averse. On voit que l'examen simultané d'hydrogrammes de diverses importances et, surtout, le délai entre précipitation et maximum, permettent de séparer les formes de l'écoulement; l'indication classique du changement de courbure dans la courbe de récession n'est pas suffisante dans de nombreux cas. Une indication supplémentaire est donnée par le fait que les maximums hypodermiques s'écartent peu les uns des autres et que le débit maximal croît avec le volume total de la crue. Il est important de tracer tous les hydrogrammes à la même échelle.

Pour obtenir, à partir de ces hydrogrammes de ruissellement, l'hydrogramme type ou diagramme de distribution, il convient d'éliminer les averses non unitaires. Il faut que la durée de la pluie utile soit inférieure à une limite, fonction du temps de concentration ou du temps de montée. Mais les valeurs expérimentales de celui-ci présentent une notable dispersion due, soit à des averses très localisées, soit à des hyétogrammes complexes. Par exemple, sur un bassin de 4 km² du Nord-Cameroun, les 38 valeurs du temps de montée sont comprises entre 5 mn et 30 mn. Mais si l'on ne considère que les averses de faible durée, on trouve des valeurs comprises entre 5 et 9 mn. On retiendra un temps de montée compris entre 7 et 8 mn. Théoriquement, devrait être considérée comme unitaire toute averse de durée utile inférieure à 4 mn; en fait, on peut se montrer un peu plus large.

Enfin, il faut éliminer du diagramme de ruissellement toute irrégularité due aux pointes d'averse secondaires. Mais il convient d'être très prudent, car certains hydrogrammes présentent systématiquement des bosses dues à l'arrivée d'affluents secondaires près de la station. Le cas extrême est représenté par le graphique 4 relatif au bassin de Tin Adjar dans la boucle du Niger, pour lequel le diagramme type sur la partie droite de la figure comporte quatre pointes, ce qui exige des méthodes de dépouillement spéciales qui nous entraîneraient trop loin.

Le volume de ruissellement est alors déterminé sur chaque diagramme de ruissellement et on reproduit alors ces diagrammes pour un même volume unitaire de 10 000 m³, 50 000 ou 100 000 m³ en divisant les ordonnées des diagrammes de ruissellement dans le rapport $V_R/10\ 000$, par exemple.

On obtient ainsi une série de diagrammes de distribution tels que le diagramme 5, qui sont tous très voisins les uns des autres en général, et on adopte le diagramme moyen. On peut schématiser le diagramme par un escalier de 5 ou 10 marches, mais, en pratique, il est possible de procéder beaucoup plus simplement sans avoir à dessiner un seul hydrogramme de ruissellement.

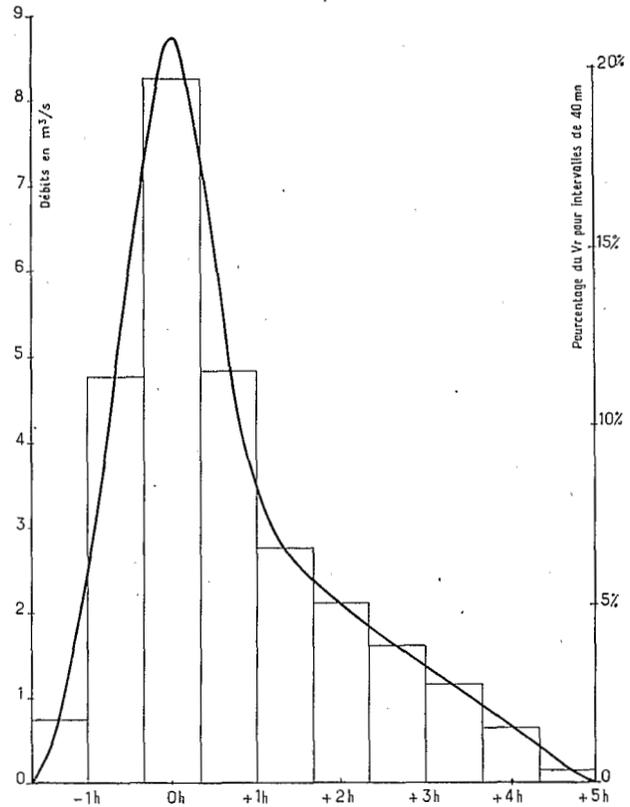


FIG. 5

Bassin de Koumbaka.
Station n° 2, diagramme de distribution,
rapporté à un volume de ruissellement de 100 000 m³.
Crue n° 29 du 1-8-56.

On opère ainsi sur l'hydrogramme brut : on sépare le ruissellement, on détermine le maximum de ruissellement et on reporte sur un tableau les débits à des intervalles de temps donnés, avant et après le maximum, en réduisant ces débits de façon à ce qu'ils correspondent à un volume de ruissellement donné. On obtient ainsi un tableau tel que le tableau n° 6.

La dispersion sur les valeurs du temps de ruissellement est grande, ce qui résulte des difficultés de séparation entre écoulement hypodermique et ruissellement est sans importance.

A noter qu'en forêt, on peut obtenir deux types de diagrammes de distribution correspondant à

TABLEAU 6

N° des crues	- 1 h	- 45 mn	- 30 mn	- 15 mn	Q_{\max}	+ 15 mn	+ 30 mn	+ 1 h	+ 2 h	+ 3 h
26	1,6	4,8	6,4	7,3	8,2	7,9	7,7	7	3,8	2,2
29	2,2	4	6,3	7,8	8,7	7,4	5,6	3,3	2,1	1,5
32	1,4	5,9	7,1	7,4	7,7	7,3	7,1	5,9	3,6	2,4
Hydrogramme moyen	1,1	4,4	6,7	8,2	9	8,4	7,5	5,7	3,1	2,1

Bassin de Koumbaka — Station n° 2
 Tableau des hydrogrammes unitaires de ruissellement
 Débit pour $V_r = 1/100\ 000$

deux modes différents d'écoulement; ce sont les diagrammes les plus aigus qu'il faut prendre. A ce stade des études, nous ne conseillons pas de remplacer les hydrogrammes par des triangles comme cela a été suggéré : la mauvaise détermination du temps de ruissellement conduirait à de graves erreurs.

2° DÉTERMINATION DU VOLUME DE RUISSÈLEMENT POUR UNE AVERSE DONNÉE :

C'est la partie la plus délicate et la moins précise de l'étude. Il s'agit de calculer la part du ruissellement en déduisant les pertes par interception, par mise en réserve à la surface du sol et par infiltration. Les pertes par évaporation immédiate sont faibles.

On peut effectuer cette opération :

- soit en chiffrant l'ensemble des pertes par unité de temps : on obtient ainsi la capacité d'absorption, qu'il est plus honnête d'appeler « capacité d'absorption apparente », car la capacité d'absorption instantanée est pratiquement inaccessible;
- soit en déterminant le rapport du volume de ruissellement au volume de l'averse, c'est-à-dire le coefficient de ruissellement K_R .

On simplifie un peu le problème en remplaçant l'averse réelle par la pluie utile P_u et le coefficient de ruissellement utile $K_{ru} = V_R/V_{P_u}$ ou par la pluie efficace et K_{re} .

Si le bassin est peu perméable et la couverture végétale pas très dense, on détermine la capacité d'absorption en portant au sommet du hyétogramme moyen la hauteur de précipitation égale à la lame d'eau de ruissellement, comme sur l'exemple de la figure 7 où l'averse 13 a

fourni un volume de ruissellement de 25 000 m³ correspondant à 1 mm. La capacité d'absorption est l'ordonnée de la ligne horizontale limitant vers le bas cette hauteur nette, soit, ici, 55 mm/h.

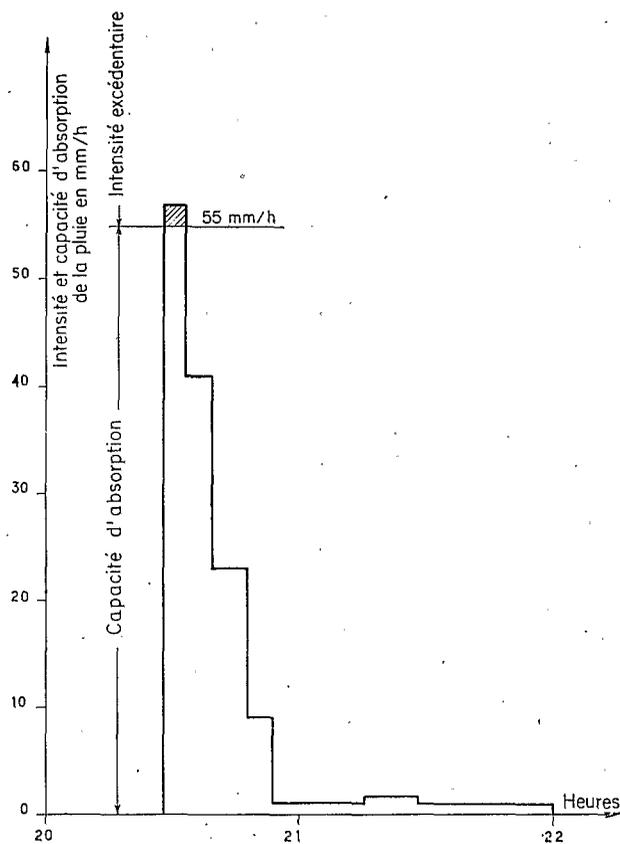


FIG. 7

Bassin versant expérimental de Koumbaka II.
 Détermination de la capacité d'absorption. Averse n° 13.

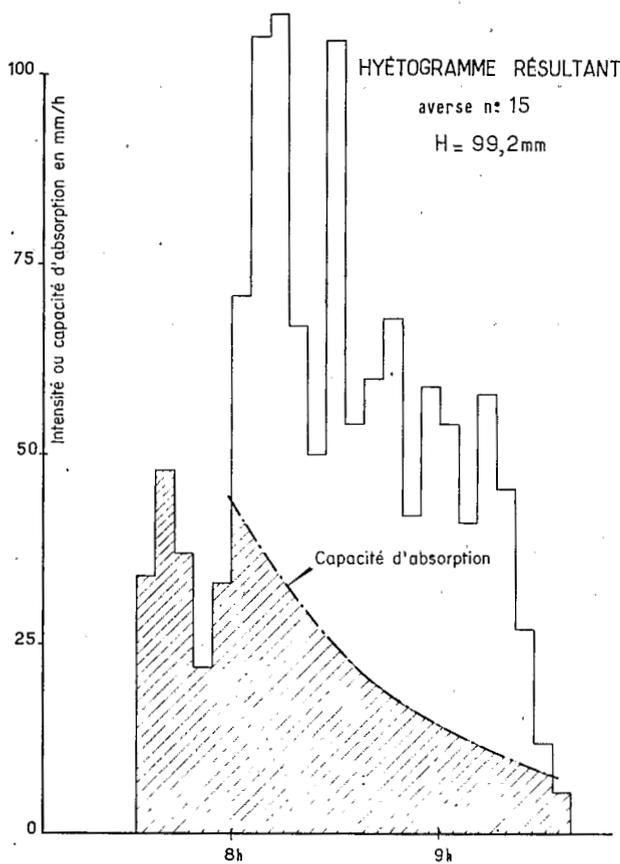


FIG. 8

Bassin versant expérimental de Koumbaka II.
Détermination de la capacité d'absorption.

Si l'averse est d'assez longue durée, la capacité d'absorption décroît avec le temps et la ligne horizontale doit être remplacée par une courbe décroissante comme sur la figure 8. Les deux extrémités de la courbe sont difficiles à déterminer; on utilise pour le début des averses très brèves et, pour la fin, les dernières pointes d'averses multiples telles que celles de la figure 9.

Pour les bassins forestiers, la couverture végétale régularise en fait le hyétoGRAMME et on a intérêt à dessiner ce dernier à partir d'intervalles de temps de 15 à 20 minutes et non de 2 à 5 minutes comme en terrain dégagé, sinon on trouverait des capacités d'absorption beaucoup trop fortes.

Pour les terrains perméables, il y a intérêt à utiliser une méthode mise au point par A. Bouchardeau : on détermine la hauteur de précipitation limite pour qu'il y ait écoulement suivant le degré de saturation, c'est-à-dire la pluie d'imbibition, et c'est sur la pluie utile amputée de cette pluie d'imbibition que l'on calcule la capacité d'absorption qui est alors une capacité d'infiltration.

Le résultat de ces opérations conduit à une série de valeurs de la capacité d'absorption ou du coefficient de ruissellement; il s'agit de dé-

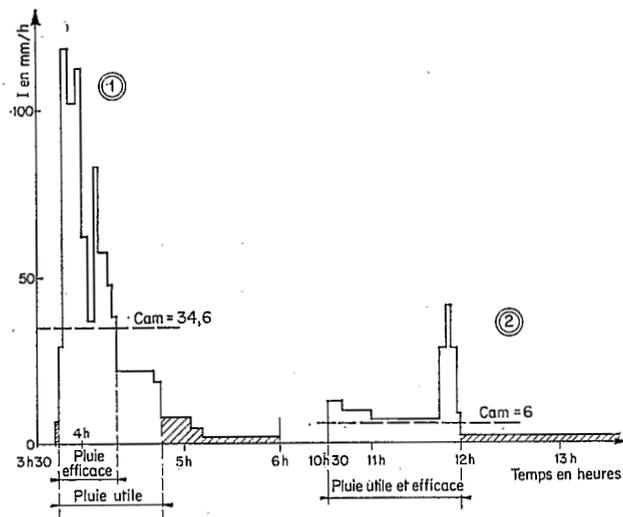


FIG. 9

Variation de la capacité d'absorption.
Bassin versant de Koumbaka,
averse du 29 juillet 1957.

HyétoGRAMME moyen à deux pointes d'averse.

gager les relations entre ces données et les caractéristiques correspondantes des averses génératrices.

Or, ces caractéristiques sont au nombre de cinq ou six, plus ou moins indépendantes et, dans presque tous les cas, l'échantillon dont on dispose est tout à fait insuffisant pour déterminer rigoureusement les relations cherchées. On ne retient que les deux facteurs qui ont la plus forte influence, par exemple l'état de saturation et la hauteur de pluie utile; les autres facteurs donnent lieu à une dispersion notable, comme il est possible de le vérifier sur le graphique 10.

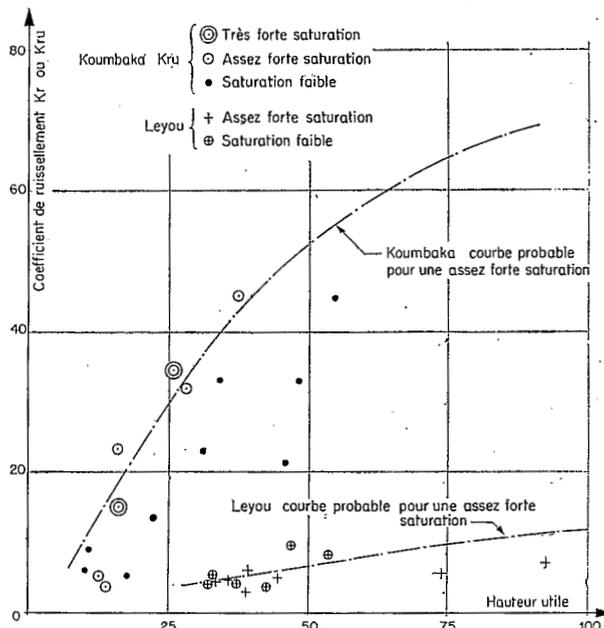


FIG. 10

Variation du coefficient de ruissellement
en fonction de la hauteur de précipitations.

TABLEAU 11

Date	Crue N°	en mm		P	T _u mm	H _u mm	f _P ^{max} n° 1	VHm ³	VRm ³	K _r %	% K _{ru}	Q _{max} m ³ /s	Lag	Rise	Tr	CA mm/h	I	Observations
		P _M	P _m															
31-7	25	25	1	11,6	17	6,9	42	301.500	129.500	43	(72)	14,6	1 h 30	50'		6,7	2 j*	Pluie non généralisée Longue traîne
9-8	26	44	32	35,7	23	28,1	180	928.000	235.000	25,3	32,2	19,2	1 h 50	1 h 33		47,2	2 j	
14-8	27	30	19,9	26,5	29	22,4	95	689.000	75.000	10,9	13	6,6	1 h 45	1 h 30		40,3	3 j	
15-8	27 bis	18,5	14	17,3	28	15,2	50	450.000	158.000	35,2	40,1	13,2	1 h 10	1 h 20		19,5	12 h*	

1 j Averse antérieure < 10 mm.
1 j Averse antérieure de 10 à 20 mm.
1 j Averse antérieure > 20 mm.
* Pluie préliminaire.

Koumbaka — Station n° II (26 km²) 1957

Mais deux points sont à noter :

1° Il est facile d'expliquer les raisons de l'existence de chacun des points aberrants et on peut vérifier effectivement qu'il donne lieu à une valeur trop faible ou trop forte;

2° Les nuages de points de deux bassins différents sont nettement distincts : pour une averse de 80 mm par exemple, le coefficient de ruissellement K_r est compris entre 9 et 13 % sur le Leyou et K_{ru} varie entre 65 et 75 % sur le bassin de Koumbaka. Pour des bassins de caractéristiques analogues, on aboutit aux mêmes fourchettes.

Dans le cas de terrains relativement perméables, il est possible de guider l'extrapolation des

courbes donnant les variations de la capacité d'absorption grâce aux données des essais Muntz ou Porcher.

Enfin, un procédé souvent employé consiste à dresser de grands tableaux des averses les plus importantes, tels que celui du tableau 11 où sont portées les capacités d'absorption ou coefficients de ruissellement et toutes les caractéristiques de l'averse. Par comparaison de ces caractéristiques avec celles de l'averse exceptionnelle, il est possible d'obtenir un ordre de grandeur limite de la capacité d'absorption ou du coefficient de ruissellement. Mais, de toute façon, c'est certainement cette dernière opération qui fait le plus appel au flair de l'hydrologue.

II. — CALCUL DES DÉBITS DE CRUES EXCEPTIONNELLES (Crue décennale)

Le principe du calcul est le suivant :

On suppose que l'averse décennale présente une hauteur maximale ponctuelle de fréquence décennale et que toutes les autres caractéristiques de cette averse ont les valeurs les plus fréquentes pour les fortes averses de cette catégorie.

Toutes les caractéristiques étant déterminées, on applique alors les principes de l'hydrogramme unitaire.

a) *Choix des caractéristiques de l'hydrogramme de l'averse :*

Il s'agit de déterminer la hauteur maximale ponctuelle, le coefficient de réduction entre le maximum ponctuel et la hauteur moyenne, le

hyétoqramme et l'état de saturation du sol avant l'averse.

Prenons l'exemple du bassin forestier du Leyou. Il est possible, dans cette région, de remplacer l'étude statistique des averses par celle des précipitations de 24 heures. Calculée sur 400 stations-années, l'averse décennale est de 130 mm.

Le hyétoqramme correspondant est déterminé par l'examen des relevés des fortes averses : il comprend un corps à forte intensité, dépassant parfois 120 mm/h et une longue traîne à intensité inférieure à 10 mm/h. La pluie utile est égale à 75 % de la pluie totale.

Pour les régions sahéliennes et subdésertiques, on a établi un catalogue des très fortes averses,

ce qui facilite le choix de la forme du hyéto-gramme décennal.

L'examen des coefficients de réduction sur le bassin du Leyou montre qu'il doit être de 90 % pour un maximum ponctuel de 130 mm (en Mauritanie, M. Brunet-Moret a imaginé un mode de détermination de ce coefficient de réduction que nous ne pouvons pas exposer ici).

Une étude statistique montre que la saturation la plus fréquente, pour de très fortes averses, correspond à un intervalle de trois jours après une première averse de l'ordre de 40 mm.

b) Calcul de la crue exceptionnelle :

Avec les caractéristiques ci-dessus, la crue décennale se calcule comme suit :

1° BASSIN DU LEYOU (6 km²).

L'averse utile d'une heure est unitaire. La pluie moyenne est de $130 \times 0,90 = 117$ mm.

Le coefficient de ruissellement K_r pour une telle averse serait compris entre 8,5 et 12 %; par prudence, nous adopterons 11 %.

Le volume de ruissellement :

$$V_R = 0,117 \times 0,11 \times 6 \times 10^6 = 77\,000 \text{ m}^3.$$

Le diagramme de distribution donne un débit maximal de 800 l/s pour $V_P = 10\,000 \text{ m}^3$.

Dans ce cas, on peut le remplacer par un triangle.

Le débit maximal calculé est égal à :

$$0,8 \times \frac{77\,000}{10\,000} = 6,15 \text{ m}^3/\text{s}$$

En ajoutant un débit hypodermique de 350 l/s, il vient 6,5 m³/s pour la crue décennale, soit entre 1 000 et 1 100 l/s.km².

2° BASSIN DE MAKABANA (2 km²).

C'est un bassin de savane à écoulement plus rapide. L'averse utile d'une heure n'est plus unitaire. La pluie utile pour une perméabilité plus faible est de 80 % de la pluie totale. Le coefficient de réduction est de 96 %. La pluie utile est de $130 \times 0,96 \times 0,80$ mm, soit 100 mm; on la divise en deux fractions de 30 minutes, l'une de 40 mm, l'autre de 60 mm.

Le tableau des observations montre que la première averse a un coefficient de ruissellement utile de 25 %; la seconde, d'après l'examen des pointes multiples, aurait un coefficient de ruissellement de 50 % :

$$V_{R1} = 20\,000 \text{ m}^3 \quad V_{R2} = 59\,000 \text{ m}^3$$

Le premier hydrogramme pour 20 000 m³ présente un maximum de 4,3 m³/s; le second, un maximum de 12,7 m³/s.

En ajoutant les deux hydrogrammes avec un décalage de 30 minutes, on obtient un volume ruisselé de 14,84 m³/s.

Il n'y a pas d'écoulement hypodermique sur ce bassin. La crue décennale est donc de l'ordre de 15 m³/s, soit 7 000-8 000 l/s km².

CONCLUSION

La méthode de l'hydrogramme unitaire n'est pas d'un emploi automatique. Tout au long de l'application de la méthode, l'hydrologue doit faire intervenir son jugement, soit pour choisir le procédé le mieux adapté aux conditions du bassin à étudier, soit pour fixer la valeur d'un coefficient à l'intérieur d'une « fourchette » qui est parfois assez large. C'est pourquoi il importe de procéder à de multiples recoupements, de comparer en particulier les résultats définitifs à ceux qui ont été obtenus sur des bassins analogues.

Nous estimons que, par ces méthodes, il est possible d'estimer la crue décennale à 15 ou 20 % près, après trois ans d'observations. Par la simple observation des débits à la station de jaugeage, il faudrait au moins vingt ans de relevés conti-

nus pour arriver au même résultat. Encore doit-on ajouter que les données obtenues par le second procédé sont loin de fournir, pour les bassins voisins, les mêmes renseignements que peut fournir un bassin équipé pour l'étude de l'hydrogramme unitaire.

L'étude d'un bassin expérimental étant coûteuse, il faut la considérer comme un investissement pour la totalité des petits aménagements à prévoir dans un délai de dix à vingt ans, dans une région climatique déterminée.

Bien entendu, il ne faut pas limiter les études sur le terrain à la détermination des crues : l'augmentation des frais sera très faible si on étudie, en complément, les divers éléments du cycle hydrologique.

DISCUSSION

Président : M. DEYMIÉ

M. le Président observe que M. RODIER applique la méthode de l'hydrogramme unitaire sans tracer d'hydrogramme, en insistant sur le coefficient de ruissellement et sur la capacité d'absorption qui sont les points les plus délicats de la méthode. Il demande à M. RODIER pourquoi, dans un des graphiques projetés, la ligne qui sépare l'écoulement hypodermique des nappes souterraines est ascendante, alors que la courbe de décroissance $q = q_0 e^{-at}$ est décroissante.

M. RODIER répond que, lorsque l'on étudie le débit de base sur la période des trois mois de saison des pluies, on obtient d'abord une croissance légère. Bien que les courbes de récession présentent une légère pente descendante à une distance suffisante des averses ayant provoqué ruissellement, les niveaux des débits de base vont en croissant d'une averse à l'autre. Vers la fin de la saison des pluies, les débits de base, après chaque averse, sont de plus en plus faibles, de sorte que la courbe générale du débit de base décroît, au contraire. Le phénomène est, en outre, compliqué par des pluies à faible intensité qui interviennent entre deux fortes averses de ruissellement, pluies dont l'influence est difficile à suivre sur les parties très plates de l'hydrogramme. Il peut résulter de l'ensemble du phénomène

une courbe de base du diagramme qui soit légèrement ascendante. C'est précisément ce qui s'est produit dans le cas du diagramme projeté, mais ce phénomène est purement accidentel : dans le cas général, le débit de base est, bien entendu, décroissant. M. RODIER reconnaît que l'exemple du graphique était mal choisi pour illustrer l'exposé et il indique qu'il sera remplacé par une autre averse plus classique.

M. BRULL demande à M. RODIER s'il juge indispensable, pour le calcul de l'hydrogramme unitaire, de tenir compte de l'écoulement hypodermique. Ne peut-on, comme on le fait aux Etats-Unis, l'englober dans l'écoulement de base?

M. RODIER répond que la méthode utilisée aux Etats-Unis est admissible lorsque le débit hypodermique ne dépasse pas 10 % du débit de base : dans les cas où il est supérieur, l'élimination du débit hypodermique rend fantaisiste l'estimation du temps de base et risque dans certains cas de permettre le choix de valeurs assez arbitraires pour le volume de ruissellement, ce qui est plus grave.

M. le Président remercie M. RODIER.

