

13 JUL. 1971

INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS SUR QUELQUES BASSINS REPRÉSENTATIFS TROPICAUX

J. RODIER** et G. VUILLAUME*

C. R. S. T. D. M.

Collection de Référence

1. INTRODUCTION

B4849

Les bassins représentatifs ont généralement pour objet principal ou secondaire de faire comprendre l'action des diverses caractéristiques physiques : sol, sous-sol, relief, végétation, sur les processus hydrologiques transformant les précipitations en écoulement de surface ou en écoulement souterrain. Si les chercheurs exploitant ces bassins parviennent à une compréhension suffisante de ces processus, ils doivent être capables de les reconstituer quantitativement par des modèles. De tels modèles doivent permettre, pour un bassin représentatif donné, de reconstituer toutes les crues de ruissellement d'une année à partir des précipitations (ou des chutes de neige).

Certains modèles, très complets, tel le modèle de STANFORD, décrivent pour un bassin donné les divers processus hydrologiques, mais leur utilisation est assez complexe et exige une masse de données considérable.

Dans les régions tropicales où les averses à forte intensité sont fréquentes, le ruissellement superficiel prend une très grande importance et il est très fréquent que pour des petits cours d'eau, il joue de loin le rôle principal dans la formation de l'écoulement des rivières. On peut dans ce cas, définir des modèles beaucoup plus simples. Un des premiers résultats à obtenir sur un bassin représentatif sera donc ce modèle simplifié qui permettra de s'affranchir des variations particulières des facteurs climatologiques pendant l'échantillon de temps correspondant à la période d'observations, et de déterminer les données hydrologiques permanentes. Si le modèle est bien fait, il doit pouvoir, moyennant l'ajustement de ses principaux paramètres, s'appliquer à d'autres bassins correspondant à des conditions naturelles peu différentes.

Sur un bassin expérimental, la mise au point du modèle peut jouer un rôle capital dans la phase de calibration, l'effet d'un changement de couverture végétale par exemple se verra beaucoup mieux sur les paramètres du modèle que sur les données brutes des débits; l'influence des caractères particuliers de l'abondance relative des précipitations, pendant la période de calibration et la période d'expérimentation, pourra être ainsi facilement éliminée.

2. SIMPLIFICATIONS POSSIBLES LORSQUE LE RUISSELEMENT SUPERFICIEL EST PRÉPONDÉRANT

Avant d'illustrer ceci par quelques exemples, nous donnerons quelques indications sur un certain nombre de simplifications utiles dans le cas de petits bassins tropicaux.

Tout d'abord si le ruissellement est bien caractérisé et la surface pas trop grande par rapport à l'étendue couverte par une averse individuelle, on peut considérer un modèle global : le plus simple et le mieux connu est l'hydrogramme unitaire [1]. Si le volume du ruissellement est connu, on trouve par ce procédé, la modulation dans le temps de ce débit.

L'hydrogramme unitaire est loin d'être parfait, son principe constitue déjà une simplification par rapport à ce qui est observé dans la nature, mais il est possible d'éviter plusieurs de ses inconvénients en prenant les précautions suivantes :

* Conseiller Scientifique à EDF (IGECO) — Chef du Service Hydrologique de l'ORSTOM.

** Chargé de Recherches de l'ORSTOM.

Algodos

- a) Ne l'appliquer que lorsque le bassin est assez petit par rapport à la dimension de l'averse;
- b) Pour établir les caractéristiques de l'hydrogramme type, ne considérer que les averses de forte durée, ayant donné lieu à un ruissellement homogène sur l'ensemble du bassin ;
- c) Si le bassin ne ruisselle que de façon modérée, considérer s'il le faut plusieurs hydrogrammes unitaires : un pour les faibles crues, l'autre pour les fortes crues. C'est ce qu'il faut faire également si la couverture végétale change au début de la saison des pluies.

Il importe de définir l'hydrogramme type de telle façon que sa détermination soit indépendante de l'opérateur. C'est pourquoi M.A. Roche a mis au point la méthode de l'hydrogramme standard permettant de définir le temps de montée, le temps de base ou de ruissellement et le rapport entre débit maximal et débit moyen pendant la durée de ruissellement (ou le pourcentage de pointe) sans aucun élément subjectif [2].

Nous avons tenté d'établir entre ces paramètres et les caractéristiques physiques du bassin des relations comparables aux formules de Snyder [3] [4], mais jusqu'ici ont été déterminés seulement des réseaux de courbes du temps de base ou du temps de montée en fonction d'un indice de pente. Une étude géomorphologique d'ensemble est en cours pour rechercher quelle combinaison de facteurs il conviendrait d'adopter pour les hydrogrammes types des bassins tropicaux.

En principe l'hydrogramme unitaire ne s'applique qu'au ruissellement superficiel, mais cependant dans le cas d'écoulement intermédiaire très uniforme, par exemple dans le cas de sol volcanique très perméable, on a tenté, avec succès, d'appliquer la méthode de l'hydrogramme unitaire. Les temps de parcours sont beaucoup plus longs, bien entendu. Mais de telles simplifications ne peuvent être faites que dans des cas très particuliers et avec la plus grande prudence.

Nous n'insisterons pas sur la mise au point de l'hydrogramme type qui est bien connu. Pour le calcul du volume de crue, il est tentant d'entreprendre une analyse fine des pertes entre précipitations et ruissellement en faisant intervenir la capacité d'infiltration. En fait, ce genre de recherche est assez délicat, il vaut mieux souvent chercher des relations aussi directes que possible entre la hauteur d'eau ruisselée ou H_r , et la hauteur d'eau de l'averse P_m , compte tenu des divers facteurs de l'écoulement. L'étude est faite soit sur la hauteur de ruissellement, soit sur le coefficient de ruissellement K_r , égal au rapport : H_r/P_m .

La hauteur de ruissellement a une signification physique plus précise et la différence $P_m - H_r$, correspond assez souvent à une hauteur d'eau infiltrée qu'on peut quelquefois mesurer avec une précision suffisante.

Le coefficient de ruissellement présente, sur la hauteur de ruissellement, les avantages suivants :

- Ses variations, en fonction des précipitations, sont souvent linéaires, sauf pour les très faibles ou les très forts ruissellements.
- Il permet des comparaisons assez faciles d'un bassin à un autre, même si les régimes pluviométriques sont différents.
- Enfin, la courbe K_r , en fonction de P admet une asymptote 100% alors que pour H_r , en fonction de P , il n'y a qu'une direction asymptotique.

Que l'on utilise H_r ou K_r , il est assez facile de passer de l'un à l'autre.

Dans le cas de recherches très fines comportant de nombreuses mesures directes de l'infiltration, il peut être utile d'éviter ces simplifications et de revenir à l'analyse de la capacité d'infiltration.

La partie la plus délicate de la mise au point du modèle est la recherche des régressions entre le coefficient de ruissellement K_r et ses facteurs conditionnels.

3. GÉNÉRALITÉS SUR LES RAPPORTS PRÉCIPITATIONS-ÉCOULEMENT

Les facteurs conditionnels, pour un bassin déterminé, sont les suivants : la hauteur de précipitations, les conditions d'humidité antérieures qui peuvent être représentées par un indice d'humidité, l'intensité moyenne ou la durée de l'averse, la température (ses variations dans le temps jouent peu en régions tropicales, en saison des pluies), l'état de la végétation et un indice tenant compte de la plus ou moins bonne adaptation d'un modèle global au type de pluie ou de bassin : tel qu'un facteur d'hétérogénéité de l'averse ou la position de l'épicentre de l'averse par rapport au centre du bassin par exemple.

Nos hydrologues font ces analyses à partir des régressions multiples, on utilise la méthode des résidus par procédés graphiques. Notons que l'analyse est valable, qu'il s'agisse ou non de ruissellement superficiel pur.

Dans la plupart des cas, le facteur le plus significatif est la hauteur de précipitations. Si le terrain est perméable ou la couverture végétale épaisse, il peut arriver que l'indice d'humidité soit plus significatif, ce qui est fort désagréable pour la synthèse (reconstitution des débits d'après les pluies), car il existe presque toujours des séries d'observations des précipitations, mais il est très rare de disposer de statistiques d'indices d'humidité. En outre, la forme de l'indice d'humidité I_h varie d'un bassin à un autre en fonction surtout des caractéristiques du sol et de la végétation. En pratique, il n'est pas indispensable, dans l'analyse, d'utiliser des facteurs indépendants.

En règle générale, on ne tiendra jamais compte de tous les facteurs de l'écoulement, de sorte que même si les mesures sont parfaites, il reste toujours une certaine dispersion.

4. ÉTAT DE NOS RECHERCHES.

Jusqu'en 1963, nous avons surtout employé la méthode de la capacité d'absorption (ou d'infiltration), avec pour certains bassins une assez bonne concordance avec les mesures d'infiltration sur le terrain par la méthode Porcher [5] mais, en général, il était difficile de vérifier si le schéma de variations adopté pour les variations de la capacité d'absorption, en fonction de la hauteur de pluie et des autres facteurs conditionnels, était bien adapté au bassin versant étudié. Nous hésitions alors à employer des régressions multiples car nous pensions que la taille des échantillons statistiques de crues sur nos bassins représentatifs était insuffisante.

En 1963, sur un bassin relativement facile : le Mayo LIGAN, M. Roche a tenté un essai qui s'est avéré satisfaisant et depuis, chaque fois que cela a été possible, nous avons utilisé ce type d'analyse. En mars 1970, des analyses de ce genre avaient été effectuées avec résultats satisfaisants sur trente-trois ensembles de bassins, la moitié avec utilisation de K_r , l'autre avec utilisation de H_r . Dans trente cas, le facteur principal est la hauteur de précipitation moyenne sur le bassin, dans trois cas seulement, c'est l'indice d'humidité. On peut avoir une idée de la précision des modèles obtenus par le coefficient de corrélation r entre la lame d'eau ruisselée observée après corrections (ou coefficient de ruissellement) et le facteur principal.

Les meilleures valeurs sont les suivantes :

MAYO REM (Cameroun)	$r = 0,97$	(Méthode Brunet-Moret)
MAYO BOUNDJOUK (Cameroun)	$r = 0,99$	(Méthode Brunet-Moret)

Il s'agit, dans les deux cas, de très petits bassins versants avec de très bonnes mesures. Plus fréquemment, les coefficients de corrélations sont nettement différents de 1, mais ils sont encore très significatifs.

Tels qu'ils sont, ces modèles nous suffisent pour résoudre un certain nombre de problèmes pratiques, en particulier le calcul des crues d'assez faibles fréquences, l'estima-

tion des débits moyens sur de longues périodes pour de petits cours d'eau, l'influence de telle ou telle transformation sur un bassin donné. Malheureusement, nos modèles actuels de transformation pluie-débit mis ainsi en évidence sont assez difficiles à comparer. De sorte qu'il est délicat d'estimer de façon quantitative l'influence des facteurs physiques des bassins tels que la perméabilité, la pente, etc... Dans un premier stade, il était indispensable de laisser aux chercheurs toute liberté pour trouver l'ensemble de relations le mieux adapté au type de bassin étudié, à la masse d'informations existantes et aux moyens de calculs disponibles. Il y a donc un bon nombre de légères différences d'un modèle de bassin à un autre.

Les facteurs essentiels ne sont pas toujours exactement les mêmes : par exemple, pour certains modèles, le facteur principal est la hauteur totale moyenne de l'averse, pour d'autres, c'est ce qu'on appelle la pluie utile, c'est-à-dire la hauteur de précipitation totale

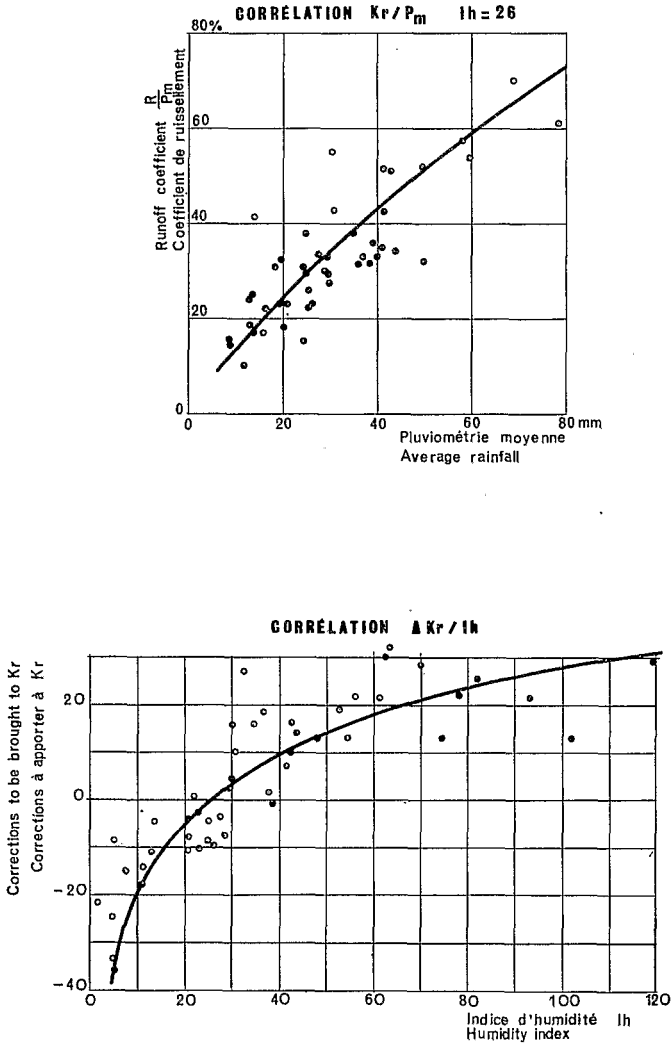


FIGURE 1. Bassin versant du Mayo Ligan. Analyse du ruissellement (Runoff analysis)

moyenne moins les fractions d'averse à faible intensité. Les indices d'humidité sont souvent de forme différente. L'indice bien connu de Kohler convient parfaitement pour certains terrains et moins bien pour d'autres, d'où le choix d'autres indices. L'ensemble de facteurs secondaires est différent d'un bassin à un autre. Il est certain qu'il est impossible d'adopter un mode d'analyse standard, mais il est certain aussi qu'on peut faire beaucoup mieux que nous n'avons fait jusqu'ici.

Cependant, comme on le verra plus loin, certaines études comparatives d'un bassin à un autre sont possibles.

Il n'en reste pas moins une dernière difficulté: Comment chiffrer de façon précise un facteur de perméabilité d'ensemble d'un bassin versant ou un facteur global géomorphologique? Des études approfondies sont en cours en AFRIQUE OCCIDENTALE ou en AFRIQUE CENTRALE à ce sujet. Elles ont pour objet notamment de lier les coefficients trouvés par l'analyse des données du ruissellement aux mesures faites habituellement par les spécialistes du sol pour caractériser la perméabilité sous ses différentes formes.

5. DEUX EXEMPLES DE MODÈLES DE TRANSFORMATION PLUIE-DÉBIT

Parmi les trente-trois cas étudiés, nous avons choisi deux exemples: l'un simple concerne un bassin assez imperméable, relativement grand 41 km^2 , mais de structure simple assez homogène. Il s'agit du Mayo LIGAN au TCHAD. L'autre est le petit bassin de BOUNDJOUK dans l'ADAMAOUA. Sa superficie est de $1,66 \text{ km}^2$, son sol est assez perméable, la saison sèche est courte alors qu'elle dure huit mois pour le Mayo LIGAN. Tous deux reçoivent des averses tropicales assez fortes à intensité relativement élevée. La hauteur maximale journalière des précipitations est de l'ordre de 60 mm par an, la hauteur décennale de l'ordre de 100 mm . L'analyse est faite averse par averse bien entendu, chaque averse ne dure que quelques heures au maximum.

Dans le premier cas, l'ensemble des régressions est classique: on a étudié le coefficient de ruissellement K_r , rapport du volume ruisselé au volume de précipitation reçu par le bassin. Le facteur principal est la hauteur de précipitation moyenne sur le bassin. Le facteur secondaire est l'indice d'humidité. Cet indice est égal, pour chaque crue élémentaire, à la somme des facteurs P_a/t_a (P_a précipitation antérieure à celle ayant précédé la crue, t_a temps séparant la pluie antérieure P_a de la pluie génératrice de la crue). Cette série n'est pas convergente, mais étant donné l'existence et la longueur de la saison sèche, cela n'a pas d'inconvénient.

La courbe corrective présentée sur la figure 1 est très classique, on retrouve la même forme si on adopte l'indice de Kohler.

La corrélation corrigée de K_r en fonction de P_m est assez bonne, surtout pour les fortes valeurs. Or, dans le cas présent, ce sont surtout les crues très violentes qui nous intéressaient, sinon on aurait poussé plus loin l'étude de régression par la mise en œuvre de deux autres facteurs secondaires, l'un relatif à l'intensité de l'averse, l'autre à sa plus ou moins grande hétérogénéité, facteurs qui jouent surtout pour les faibles crues.

Ce modèle a été utilisé principalement pour calculer le volume de la crue décennale.

Le second exemple a été étudié par M. Brunet-Moret [6] (fig. 2 et 3), il a déjà fait l'objet d'une communication au Symposium de LENINGRAD. L'étude porte sur la lame d'eau ruisselée ou hauteur de ruissellement H_r et non plus sur le coefficient de ruissellement K_r . Il s'agit, une fois de plus, de l'emploi de la méthode des résidus. Mais, dans le cas de cette étude, l'analyse présente un certain nombre de particularités.

D'ordinaire, pour la première corrélation, généralement entre H_r et la hauteur de précipitation moyenne sur le bassin P_m , on considère la courbe de régression passant au milieu du nuage de points. Dans le cas présent, on part de la courbe enveloppe supérieure qui correspond à un sol saturé, à une averse de forte intensité et à un ruissellement

homogène. Sur certains bassins en effet, cette courbe a une position bien définie, beaucoup mieux que la courbe moyenne habituelle, ceci facilite la détermination des autres régressions. En outre, on considère comme variable principale non pas P_m , mais le corps de l'averse C , c'est-à-dire la partie de l'averse qui correspond à des intensités moyennes et fortes après élimination des faibles intensités inférieures à une limite précise. Cette limite est fixée en fonction de la perméabilité du sol et souvent voisine de 10 mm/h. Cette notion de corps de l'averse est utile pour l'étude des averses orageuses tropicales. Le choix de C réduit la dispersion des résultats.

La principale originalité consiste dans l'analyse de l'influence du premier facteur secondaire : l'humidité du sol. De nombreuses recherches à partir des indices habituels ont montré que l'influence de celle-ci se présente sous deux aspects : l'état de la surface

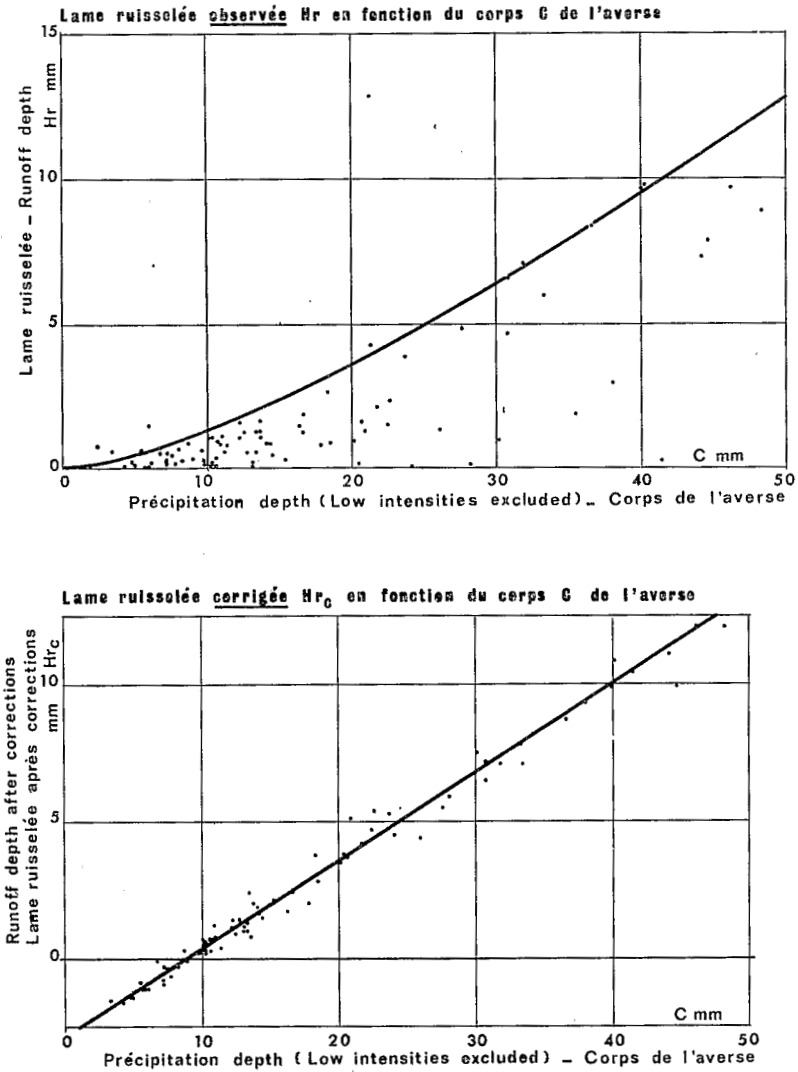


FIGURE 2. Bassin versant du Petit Boundjouk. Analyse du ruissellement (runoff analysis)

du sol correspondant aux précipitations pendant les quelques heures ou, à la rigueur, pendant les quelques jours qui ont précédé l'averse étudiée et l'état de remplissage du lit de la rivière, l'état des couches superficielles du sol, le remplissage des micromares, etc... qui correspondent aux précipitations antérieures sur une période beaucoup plus longue. D'où l'idée de diviser le premier écart ΔH_1 en deux parties : l'une ΔH_1 résulte de l'effet du temps T écoulé depuis la dernière averse susceptible de provoquer une variation du débit, si faible soit-elle, et l'averse étudiée, l'autre $\Delta H'_1$ du total des précipitations

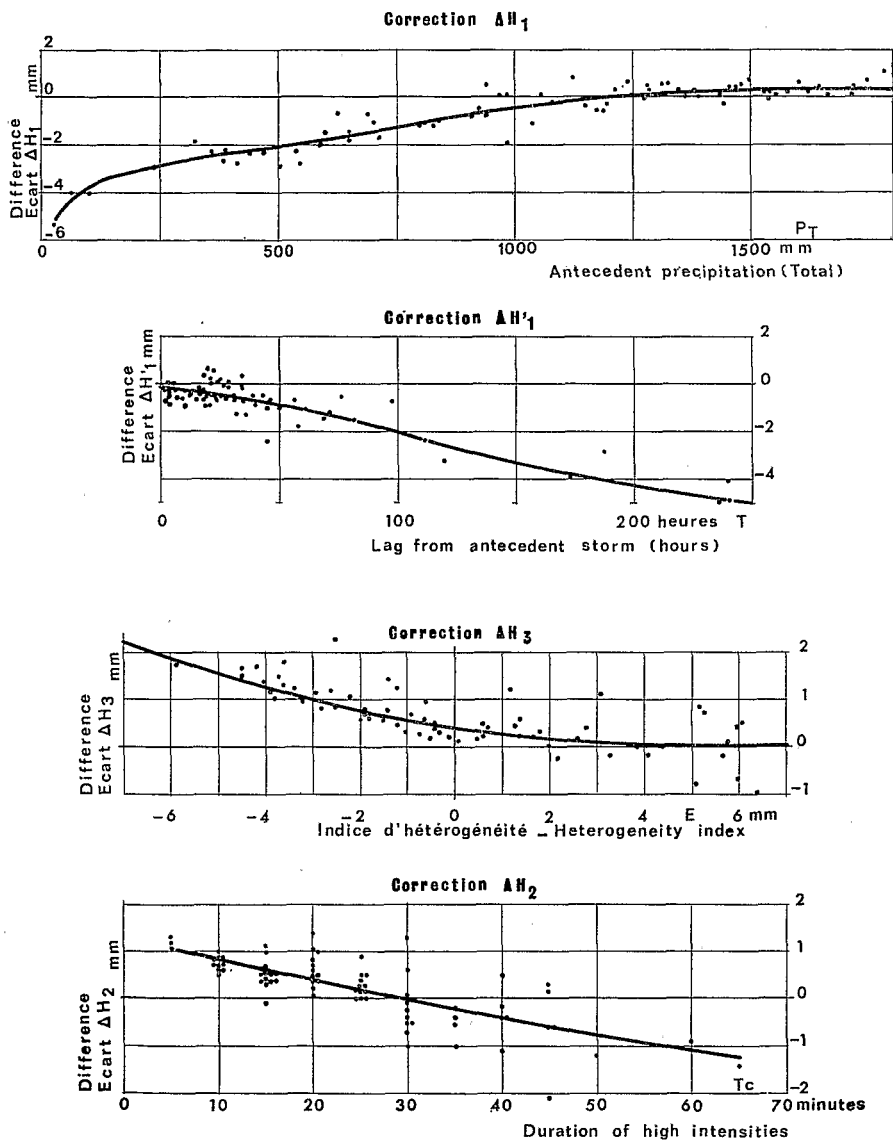


FIGURE 3. Bassin versant du Petit Boundjouk. Analyse du ruissellement (runoff analysis)

observées P_T entre le début de la saison des pluies et l'averse étudiée. Le partage entre ΔH_1 et $\Delta H'_1$ est délicat, on tient le plus grand compte des averses des fins de saisons des pluies abondantes pour lesquelles l'action de P_T étant maximale, la valeur de $\Delta H'_1$ correspond à l'asymptote de la courbe $\Delta H'_{1,P} = f(P_T)$ dont la position est facile à déterminer. Il existe d'autres procédés.

Après correction de la courbe $H_r = f(C)$ suivant les deux courbes $\Delta H_1 = f(T)$ et $\Delta H'_1 = f$, les écarts résiduels ΔH_2 sont étudiés en fonction de la durée T_C du corps de l'averse.

Enfin, l'écart résiduel ΔH_3 est étudié en fonction d'un indice E en mm, tenant compte du caractère plus ou moins partiel du ruissellement. Ceci est utile surtout dans le cas de faibles averses : c'est un facteur d'hétérogénéité. Quelle que soit la méthode affectée, cette

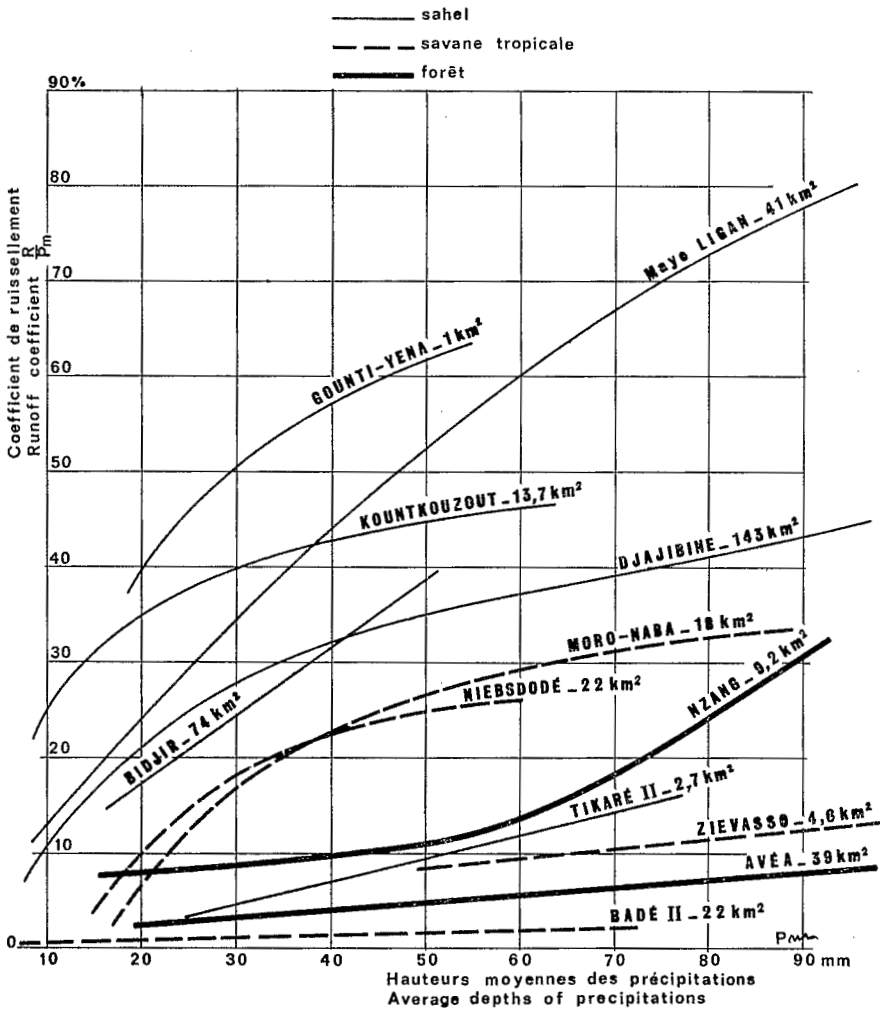


FIGURE 4. Variations du coefficient de ruissellement en fonction de la hauteur moyenne des précipitations sur le bassin

hétérogénéité du ruissellement est souvent le principal facteur de dispersion pour les faibles averses lorsqu'il n'en est pas tenu compte dans les régressions.

Cette méthode, qui a été utilisée sur quatre ensembles de bassins, donne d'excellents résultats : c'est elle qui a conduit sur petits bassins (moins de 10 km^2) à des coefficients de corrélation atteignant 0,99. On en arrive pratiquement à trouver la relation pluie-débit. Malheureusement, il semble qu'elle ne s'applique qu'au cas de bassins à courte saison sèche, avec sol assez perméable et l'étude des régressions ΔH_1 et $\Delta H'_1$ est assez délicate. Le choix de l'expression du facteur d'hétérogénéité n'est pas très facile. À noter que le modèle de ruissellement ainsi choisi est valable pour toute la gamme des crues, des petites jusqu'aux plus grandes.

Dans ces régressions, on remplace souvent l'indice d'humidité par le débit de base Q_0 juste avant le début de la crue, on obtient dans l'analyse de très bons résultats, mais pour la synthèse qui, elle, ne peut partir que des précipitations, on doit, pour reconstituer Q_0 , utiliser une régression entre Q_0 et une fonction des précipitations antérieures; cette régression fait perdre la précision gagnée grâce à l'emploi de Q_0 .

Quel que soit le mode de régression utilisé, nous employons pour l'analyse et la synthèse des données de ruissellement, le schéma général suivant (fig. 5) qui, partant des données de pluies et de débits observés, aboutit : à l'hydrogramme standard, à l'ensemble des relations pluies-débits, à la valeur de l'abattement de la pluie (rapport entre la pluie maximale ponctuelle et la pluie moyenne de même fréquence sur le bassin).

Connaissant une averse de fréquence donnée définie par les données du réseau pluviométrique normal, on déduit, à partir de ces trois caractéristiques du bassin la crue correspondante. On peut mettre au point des schémas analogues pour l'érosion.

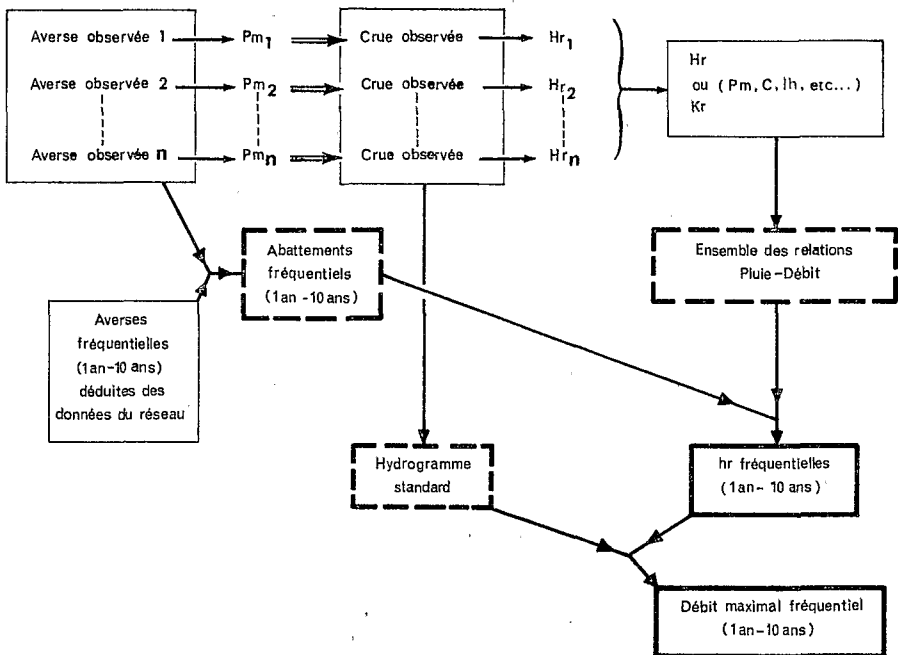


FIGURE 5. Schéma simple d'analyse et de synthèse pour le ruissellement.

6. ÉTUDES COMPARATIVES D'ÉLÉMENTS DE MODÈLES

Comme nous l'avons vu plus haut, on est arrivé à serrer d'assez près la réalité dans d'assez nombreux cas, mais l'analyse n'a pas été conduite en vue de l'obtention de comparaison de modèles (mis à part les hydrogrammes standard). Cependant, si on considère des éléments simples comme les courbes du coefficient de ruissellement K_r , en fonction de la hauteur de précipitations, on peut, en prenant certaines précautions, les comparer avec fruit : c'est ce qui a été fait pour l'Afrique Occidentale et Centrale. On a choisi douze

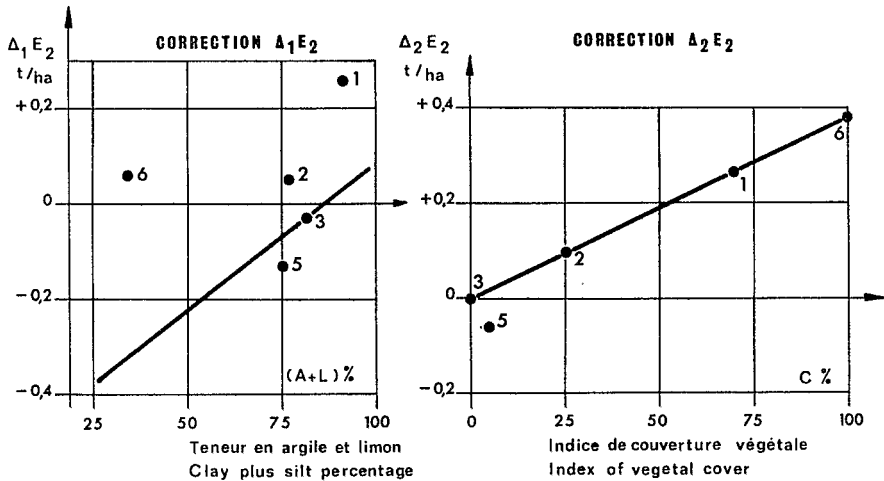
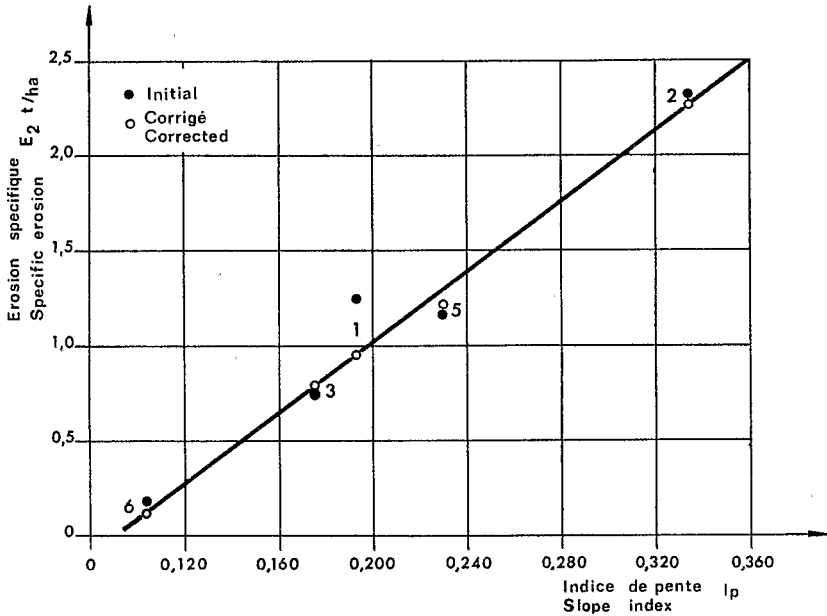


FIGURE 6. Bassin de Kountkouzout. Érosion spécifique de fréquence annuelle en fonction de l'indice de pente I_p . Specific erosion 1 time/year related to slope index.

exemples parmi les trente-trois connus, pour établir le graphique n° 3. Ces exemples correspondent aux cas les plus typiques, on constate que la position des courbes est parfaitement logique compte tenu des données physiques des bassins (pour tous les cas, les averses sont du type orages tropicaux).

Six bassins :

GOUNTI-YENA (NIGER);
Mayo LIGAN (TCHAD);
KOUNTKOUZOUT (NIGER);
BIDJIR (TCHAD);
DJAIBINE (MAURITANIE);
TIKARE (HAUTE-VOLTA),

sont du type sahélien avec hauteur de précipitations annuelles inférieure à 800 mm par an, longue saison sèche et couverture végétale sans grande influence sur le ruissellement.

Quatre sont du type tropical :

MORO-NABA (HAUTE-VOLTA);
NIEBSDODE (HAUTE-VOLTA);
ZIEVASSO (CÔTE D'IVOIRE);
BADE (TCHAD)

avec saison sèche pas trop longue, savane plus ou moins boisée offrant un freinage non négligeable au ruissellement.

Deux sont couverts par la forêt tropicale :

NZANG (GABON);
AVEA (CAMEROUN).

La comparaison détaillée serait passionnante mais on ne peut pas la faire ici, nous ne donnerons que quelques indications rapides.

Le GOUNTI-YENA est un bassin urbain qui ruisselle, même pour les pluies assez faibles, cependant il y a des jardins, le sol à l'état naturel est du sable; pour moins de 15 mm, il ruisselle moins que le bassin de KOUNTKOUZOUT dont une partie est naturellement imperméable.

Le bassin du Mayo LIGAN est imperméable avec pente notable. Sur le bassin de DJAIBINE également peu perméable, la pente est assez faible, le bassin est plus grand que les autres et les berges couvertes de buissons épineux freinent un peu le ruissellement pour de fortes crues.

Le bassin de TIKARE présente une épaisseur notable de gravillons latéritiques sur de la carapace, il est perméable. Un bassin très perméable aurait une courbe de ruissellement confondue avec la courbe de l'AVEA. L'éventail des courbes sahéliennes est très ouvert.

Celui des régions tropicales l'est beaucoup moins. Le bassin du MORO-NABA est imperméable. Celui de BADE, à faible pente, est très perméable.

L'éventail des régions forestières est encore plus fermé. Le bassin du NZANG est à forte pente avec sol assez imperméable. Il est facile de trouver des bassins forestiers à faible pente et à sol perméable dont la courbe serait confondue avec celle de BADE.

Ces courbes sont valables pour des valeurs moyennes de l'indice de l'humidité pour la région considérée. Il ne faudrait pas les appliquer aveuglément ailleurs. Elles ont été utilisées pour déterminer des normes de calcul de crues de fréquence décennale pour les ponts et les barrages déversoirs sur petits cours d'eau.

On pourrait comparer d'autres éléments du modèle, par exemple les hydrogrammes standards mais, à la base, il faut d'abord chiffrer de façon précise les paramètres physiques des bassins, c'est ce problème qui retarde actuellement l'étude comparative.

7. APPLICATION À DES BASSINS EXPÉRIMENTAUX

Un bassin étant défini par un modèle de ruissellement, une modification des caractéristiques physiques de ce bassin entraîne obligatoirement une modification d'un élément du modèle : courbe du coefficient de ruissellement du bassin, hydrogramme standard, etc... ou des données qui en résultent : crue de fréquence annuelle ou décennale, érosion de fréquence annuelle ou décennale. Après une série d'opérations telles que celles du schéma 5, il peut être facile de mettre en évidence de telles modifications quelle que soit l'abondance ou les déficiences des saisons des pluies étudiées.

Un exemple lié à une donnée habituellement étudiée sur les bassins expérimentaux, l'érosion, a été extrait des études de G. Vuillaume sur les bassins versants expérimentaux du KOUNTKOUZOUT [7].

Il s'agit de la première phase de recherches avant l'application des mesures de conservation des sols. Nous avons extrait l'analyse de l'érosion de fréquence annuelle : celle qui, en moyenne, se produit pendant une crue par an. On considère plus précisément l'ablation moyenne sur le bassin en tonne par ha, l'analyse de l'érosion est effectuée sur 5 très petits bassins avec fosses à sédiments, en fonction de l'indice de pente de Roche I_p , de la teneur en argile et limon des sols ($A + L\%$: éléments de diamètre inférieur à 50 microns) et d'un indice de pourcentage de culture $C\%$. L'indice de pente est ici facteur principal. Les résultats de cette analyse effectuée par régressions multiples (fig. 6) montrent ce que l'on peut attendre de l'emploi de telles méthodes. Il est bien évident qu'une modification de $C\%$ permettra de vérifier facilement l'effet obtenu sur la courbe de E_2 en fonction de I_p .

On peut penser que l'emploi du calcul automatique sur les bassins représentatifs et expérimentaux, qui se répand largement maintenant, permettra de faire progresser rapidement ce genre d'analyse, à condition que son utilisation soit faite avec discernement.

RÉFÉRENCES

1. LINSLEY, R.K., KOHLER, M.A. et PAULHUS, J.L.H. (1949): Applied Hydrology, New York, McGraw Hill.
2. ROCHE, M. (1967): Recherche d'un hydrogramme standard, Paris, Cahiers ORSTOM, Série Hydrologie, Vol. IV, n° 1.
3. SNYDER, F.F. (1938): Synthetic unit-graphs, Transactions American Geophysical Union, 19, 447-54.
4. RODIER, J.A. et AUVRAY, C. (1965): Estimation des débits de crues décennales pour des bassins versants de superficie inférieure à 200 km² en Afrique Occidentale, Paris, ORSTOM.
5. BOUCHARDEAU, A. (1959): Méthode d'extrapolation du coefficient de ruissellement sur les bassins expérimentaux de la zone sahélienne du Tchad, Annuaire hydrologique de l'ORSTOM 1957, Paris, ORSTOM.
6. BRUNET-MORET, Y. (1965): Étude des facteurs du ruissellement sur un bassin représentatif du Cameroun : petit bassin de Boundjouk, Publication n° 66 de l'Association Internationale d'Hydrologie Scientifique (Symposium de Budapest).
7. VUILLAUME, G. (1969): Analyse quantitative du milieu physico-climatique sur le ruissellement et l'érosion à l'issue de bassins de quelques hectares en zone sahélienne (Bassin de Kountkouzout, Niger), Paris, Cahiers ORSTOM, Série Hydrologie, Vol. VI, n° 4.