

TRANSPOSITION DES DONNÉES HYDROLOGIQUES :
PRÉDÉTERMINATION DES CRUES DÉCENNALES
DES PETITS BASSINS VERSANTS .

APPORTS DE LA SIMULATION DE PLUIE

A. CASENAVE*, J. ALBERGEL**, P. RIBSTEIN**, C. VALENTIN***

I. DETERMINATION DE LA CRUE DECENNALE DES PETITS BASSINS VERSANTS:
HISTORIQUE ET CRITIQUE DES METHODES ACTUELLES.

Un grand nombre de projets de développement (routes, petits barrages, aménagements en vue de cultures irriguées etc...) nécessitent l'estimation de la crue décennale. La seule méthode de calcul fiable consiste à ajuster un modèle "Pluie-débit" sur une série observée de fortes crues, à reconstituer à partir d'une série pluviométrique journalière de longue durée un échantillon de crues, puis à faire l'analyse statistique de cet échantillon. En l'absence de mesures sur le bassin que l'on veut étudier, cette méthode requiert, au préalable, une étude extensive de terrain dont la durée est rarement inférieure à trois ans. Ces délais sont le plus souvent prohibitifs pour les "aménagistes", d'où le succès de méthodes beaucoup moins précises, mais ne nécessitant pas de mesures de terrain.

-
- * Hydrologue, Coordonnateur des programmes de simulation de pluies. Centre ORSTOM d'Adiopodoumé, B.P. V51 Abidjan.
 - ** Hydrologues, Laboratoire d'Hydrologie ORSTOM, Miniparc Bat. 2, Rue des Apothicaires, 34100 Montpellier.
 - *** Pédologue, Centre ORSTOM d'Adiopodoumé, B.P. V51 Abidjan.

O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire

N° : 39652

Cote : B

13 JUIN 1994

81 201

1.1. Historique

Dès le début de ce type d'étude, les bassins versants représentatifs et expérimentaux (BRE) suivis par l'ORSTOM, ont été prévus pour la transposition des résultats afin d'avoir quelques éléments pour calculer les débits de crue de fréquence donnée sur des petits bassins versants non observés.

En 1960, P. DUBREUIL a, dans un rapport de synthèse sur les BRE de Côte d'Ivoire, donné quelques règles simples de transposition.

C. AUVRAY en 1961 a présenté, à Monrovia, un premier essai de synthèse où les règles de transfert étaient basées sur les caractéristiques des bassins, en particulier le relief et la perméabilité globale. Cette dernière valeur étant très difficile à quantifier, il a classé les bassins dans un certain nombre de catégories de perméabilité, fondées essentiellement sur des critères géologiques.

En 1965, J.A. RODIER et C. AUVRAY publient, à la demande du CIEH, "l'Estimation des débits de crues décennales pour les bassins versants de superficie inférieure à 200 km² en Afrique Tropicale". Les abaques qui y sont présentés résultent de l'analyse du ruissellement de 60 BRE. C'est cette méthode qui est encore, à l'heure actuelle, la plus couramment utilisée.

En 1972, P. DUBREUIL et al. présentent le "Recueil des données de base des Bassins représentatifs et expérimentaux 1951-1969" qui synthétise les observations effectuées sur 250 BRE par l'ORSTOM.

En 1976, J.A. RODIER met au point dans une étude préliminaire demandée par le CIEH l'"Estimation des débits de crue décennale pour les petits bassins forestiers en Afrique Tropicale" à partir des données de 24 BRE d'Afrique et de Guyane. C'est cette étude qui marque le point de départ des mesures sous pluies simulées pour déterminer l'aptitude au ruissellement d'un bassin.

En 1981, A. CASENAVE dans le rapport final au CIEH sur l'étude des crues décennales en zone forestière propose une nouvelle méthode basée sur l'utilisation systématique du mini-simulateur de pluie. Cette méthode est ultérieurement étendue à plusieurs pays sahéliens où les études se poursuivent.

En 1983, C. PUECH et D. CHABI-GONNI du CIEH proposent, à partir d'une analyse statistique des données de base du recueil de P. DUBREUIL, une nouvelle "Méthode de calcul des débits de crue décennale pour les petits et moyens bassins versants en Afrique de l'Ouest et Centrale".

Enfin, en 1985, J.A. RODIER a repris pour les BRE sahéliens de superficie inférieure à 10 km² la méthode de calcul de la crue décennale en modifiant les estimations qui avaient été faites pour la méthode "RODIER-AUVRAY" de 1965.

1.2. Analyse et critique des méthodes actuelles

1.2.1. Méthode "RODIER-AUVRAY"

Cette méthode, de type déterministe, repose sur l'utilisation de l'hydrogramme unitaire. L'estimation de la taille et de la forme de la crue décennale s'effectue en trois phases :

- Calcul de la hauteur de pluie décennale dont on estime que, tombant dans des conditions médianes d'humectation des sols, elle engendre la crue décennale. Cette hauteur est étendue à l'ensemble du bassin par l'intermédiaire du coefficient d'abattement.
- Détermination du volume de ruissellement à l'aide d'une série d'abaques ayant comme entrées la taille du bassin versant, son relief et sa perméabilité globale.
- Calcul de la forme de l'hydrogramme unitaire par une autre série d'abaques basés sur la superficie du bassin et son relief, et détermination du débit maximal qui en résulte.

L'avantage de cette méthode, comme pour toute méthode de type déterministe, c'est qu'elle laisse la possibilité à l'utilisateur, d'intervenir à chacune des étapes et de moduler les résultats des abaques en fonction de sa connaissance du terrain. Cet avantage, lorsque l'utilisateur est un hydrologue confirmé, devient par contre un inconvénient pour un ingénieur généraliste peu familiarisé aux problèmes hydrologiques. Ceci est particulièrement vrai pour le point le plus délicat qui est l'estimation de la perméabilité globale du bassin. Celle-ci, en effet ne repose sur aucun critère objectif. Or, il s'agit précisément de l'estimation qui peut entraîner les plus graves erreurs sur le résultat final. Il s'avère donc que cette méthode n'est fiable que dans la mesure où l'utilisateur est capable de déterminer avec justesse la classe de perméabilité du bassin étudié.

1.2.2. Méthode CIEH "PUECH - CHABI-GONNI"

Depuis 1965, date de parution de la méthode "RODIER-AUVRAY", les études de BRE ont été poursuivies par l'ORSTOM. Les nombreuses données supplémentaires accumulées permettaient, en 1983 à C. PUECH et D. CHABI-GONNI de mettre en oeuvre une analyse statistique de ces données. A partir de corrélations multiples entre les débits de pointe décennaux de 162 BRE, et un certain nombre de valeurs caractérisant la physiographie du bassin (surface, indice de pente global, densité de drainage) et la zone climatique (pluie annuelle ou pluie décennale journalière) les auteurs proposent un ensemble d'équations, permettant de calculer, par zones géographiques et climatiques, le débit de pointe de la crue décennale. Les variables utilisées dans ces équations sont facilement déterminables pour un bassin non étudié et leur quantification n'est pas subjective. Les contrôles effectués montrent toutefois que le résultat est très amélioré si on introduit dans ces équations, le coefficient de ruissellement de la pluie décennale Kr_{10} , ce qui revient, là encore, à estimer la perméabilité globale du bassin. De plus cette méthode présente l'inconvénient de toutes les méthodes statistiques, à savoir qu'elle ne peut s'appliquer correctement que pour des bassins dont les caractéristiques sont comprises dans la gamme de celles des 162 BRE ayant servi à caler les équations.

Pour ces deux méthodes, qui sont les plus utilisées à l'heure actuelle, il s'avère que le point le plus délicat résulte de l'impossibilité de quantifier objectivement la perméabilité globale du bassin. De nombreuses études ont tenté de relier cette perméabilité à des caractéristiques des roches, des sols ou de la végétation. Toutes ces tentatives ont échoué, ce qui amène à se poser la question de la validité de ces critères ou du choix des caractéristiques des bassins à prendre en compte pour expliquer le ruissellement ou l'infiltration.

II . APPORTS DES TECHNIQUES DE SIMULATION DE PLUIE

2.1. Les facteurs conditionnels du ruissellement en zone sahélienne

Les travaux menés par l'ORSTOM depuis 10 ans à l'aide d'abord d'un simulateur de pluie rotatif de type SWANSON, puis du minisimulateur mis au point par J. ASSELINE, ont permis d'acquérir une information beaucoup plus détaillée sur les principaux facteurs conditionnels du ruissellement. Avant d'explicitier les résultats de ces travaux, il convient de rappeler la définition de certains termes (C. VALENTIN, 1985) qui seront utilisés dans la suite du texte :

- * *couverture pédologique* : il s'agit de l'ensemble du matériau pédologique apprécié dans ses trois dimensions. Parallèlement à l'hydrodynamique, nous distinguerons les *organisations internes* des *organisations superficielles*. Ces dernières se limitent aux différenciations spécifiques de la surface du sol.
- * *état de surface* : ce terme, peu précis, mais souvent utilisé, recouvre deux composantes : *les organisations pédologiques superficielles* et *le couvert végétal*. Pour celui-ci, l'attention se portera surtout sur les caractères de la strate herbacée (constituée de graminées, mais aussi de dicotylédones, recrû...) dans la mesure où l'effet du couvert arboré n'est pas intégré lors des mesures sous pluies simulées.

Déjà en 1979, à l'issue d'une campagne de pluies simulées sur grandes parcelles (50 m²) dans le Centre Nord du Burkina Faso; J. COLLINET et A. LAFFORGUE concluent qu'il n'existe pas de relation nette entre l'aptitude au ruissellement des différents sites testés et les organisations pédologiques internes. Par contre, les états de surface semblent déterminer l'hydrodynamique superficielle.

Les mesures effectuées sous pluies simulées sur petites parcelles (1 m²), depuis cette époque ont confirmé ces premiers résultats. A partir des résultats de pluies simulées sur 48 parcelles réparties sur l'ensemble du Burkina Faso, J. ALBERGEL, P. RIBSTEIN et C. VALENTIN (1985) ont entrepris une étude des facteurs conditionnels de l'infiltration. Une Analyse en Composantes Principales (ACP) et des Analyses Factorielles de Correspondances (AFC) sur un échantillon regroupant des variables représentatives de l'infiltration et d'autres représentant les états de surface et les organisations internes des sols testés, ont permis aux auteurs de mettre en évidence l'absence d'influence des organisations internes des sols sur l'infiltration. Celle-ci dépend principalement, en zone sahélienne de cinq paramètres : le pourcentage de la surface couverte par la végétation, l'importance moyenne du micro-relief, l'activité biologique, la porosité vésiculaire dans les organisations pelliculaires de surface et l'épaisseur de la pellicule. Cette indépendance de l'infiltration vis-à-vis de la nature des sols explique les échecs de la caractérisation de la perméabilité à partir des cartes pédologiques, fondées sur des critères pédogénétiques. Cette importance des états de surface sur l'infiltration et le ruissellement n'est valable qu'en zone subdésertique et sahélienne. Elle décroît quand la pluviométrie augmente, jusqu'à devenir nulle en zone forestière. Un des principaux résultats des études sous pluies simulées a été de mettre en évidence le fait que les variables explicatives du ruissellement varient selon les zones climatiques. Cette hiérarchie des facteurs à prendre en compte pour une cartographie des bassins permettant une transposition des résultats des BRE est synthétisée dans le tableau ci-après (C. VALENTIN, 1985).

Zone climatique	Limites pluviométriques approximatives (mm)	Couvert végétal	Organisations superficielles	Organisations internes
Forêt tropicale	>1600	-	-	**
Savane humide	1200 - 1600	**	*	*
Savane sèche	400 - 1200	*(*)	*	-
Sahel	200 - 400	*	**	-
Sub-désertique	<200	-	**	-

** facteur primordial

* facteur secondaire

2.2. Détermination des crues décennales à partir des mesures sous pluies simulées

Le résultat d'une série de pluies simulées sur un type de sol ou un état de surface donné est synthétisé par deux familles de courbes : l'une exprimant la variation de la lame ruisselée (Lr) en fonction de la hauteur de pluie (Pu) et de l'état d'humectation des sols représenté par un indice pluviométrique (IK), l'autre illustrant les variations de l'intensité maximale de ruissellement (Rx) en fonction de l'intensité de la pluie (I) et de IK. Chaque parcelle est caractérisée par deux relations :

$$Lr = aPu + bIK + cPu IK + d$$

et

$$Rx = aI + bIK + c$$

Ces équations expriment la fonction de production du ruissellement pour un type de sol ou un état de surface. En combinant ces fonctions de production au prorata de la surface occupée sur le bassin par chaque type de sol ou chaque état de surface, on obtient un système d'équations permettant de reconstituer la crue résultant de chaque pluie naturelle pour l'état d'humectation

des sols (IK) existant sur le bassin au début de chaque averse. Selon la zone climatique le résultat final est différent.

- En zone forestière A. CASENAVE (1981) a montré que les crues décennales ainsi reconstituées étaient étroitement corrélées à celles mesurées sur le bassin au cours des études classiques. Cette relation établie sur 11 bassins de Côte d'Ivoire a été testée avec succès sur des bassins forestiers du Cameroun et du Congo. Il semble donc que cette relation soit valable pour toute la zone forestière d'Afrique Tropicale.

- En zone de savane sèche, sahélienne et sub-désertique, il est nécessaire de caler les résultats du simulateur sur des mesures classiques de crues. Nous espérons toutefois, dans un proche avenir arriver à expliciter la fonction de calage à partir des caractéristiques des bassins.

- En zone de savane humide, les études sont beaucoup moins avancées. C'est probablement dans cette zone que les problèmes seront les plus difficiles à résoudre car on y observe une action conjointe des états de surface et des organisations internes des sols sur l'infiltration. Un programme d'étude détaillée du fonctionnement hydrodynamique d'un petit bassin a été lancé, dans cette zone en Côte d'Ivoire, depuis 1984 (Programme Hyperbav).

III. CONCLUSIONS

Les méthodes actuellement utilisées pour la prédétermination des crues décennales des petits bassins, se heurtent à l'estimation de la perméabilité globale des bassins qui demeure très subjective. Les mesures sous pluies simulées ont permis de mettre en évidence, pour chaque zone climatique, les facteurs conditionnels du ruissellement. En particulier, pour toutes les zones ayant une pluviométrie inférieure à 1200 mm il a été montré que l'infiltration est sous la dépendance des états de surface

(végétation et organisations superficielles des sols). Ce sont donc eux qu'il faut prendre en compte pour classer les bassins dans une catégorie d'aptitude au ruissellement (ou une classe de perméabilité). C'est pourquoi l'ORSTOM a entrepris l'élaboration d'un catalogue des états de surface les plus couramment observés dans cette zone. Ce catalogue devrait permettre à des ingénieurs non hydrologues d'évaluer correctement la perméabilité globale d'un bassin.

Un autre résultat des études sous pluies simulées a été de montrer le rôle essentiel de la végétation sur l'infiltration. En protégeant le sol de l'impact des gouttes de pluie, cette végétation diminue fortement la constitution de pellicules de battance et en minimisant l'échauffement du sol, elle favorise l'activité faunique qui ouvre la macroporosité augmentant ainsi l'infiltrabilité. Une des conséquences de la sécheresse que connaît depuis 10 ans le Sahel étant la disparition de cette végétation, on assiste à une augmentation spectaculaire du ruissellement. Une étude récente (J. ALBERGEL, C. VALENTIN, 1986) a mis en évidence cette variation du régime hydrologique sur un petit bassin versant de la région de BOULSA (Burkina Faso). Ce bassin avait été étudié de façon classique entre 1960 et 1962. A la suite d'une campagne de pluies simulées, les mesures pluies-débits ont été reprises en 1984. Entre ces deux périodes, les zones cultivées (et donc dénudées, la culture de mil n'apportant, dans ces conditions climatiques, qu'une très faible couverture du sol) ont été plus que doublées et l'action de 10 années consécutives de sécheresse ayant réduit très fortement la couverture graminéenne, on constate un doublement de ruissellement. Pour une pluie de 30 mm, le coefficient de ruissellement en 1960-62 était de 19%, alors qu'il est de 41% en 1984 pour un même état d'humectation des sols. Ceci montre que la tendance actuelle à la réduction des normes hydrologiques des aménagements hydrauliques, suite à la sécheresse doit être examinée très attentivement pour les petits bassins versants où, contrairement aux idées reçues, sécheresse signifie souvent augmentation de la taille des crues.

BIBLIOGRAPHIE

- ALBERGEL J., CASENAVE A. (1984). Une nouvelle technique d'estimation des crues décennales des petits bassins versants : les études sous pluies simulées. CIEH Yaoundé. Comptendu des journées techniques, tome 2.
- ALBERGEL J., CASENAVE A., VALENTIN C. (1985a). The effect of the vegetation on rainfall-runoff relationship of small watershed in the arid zone of West Africa. A paraître.
- ALBERGEL J., CASENAVE A., VALENTIN C. (1985b). Modélisation du ruissellement en zone soudano-sahélienne, simulation de pluie et cartographie des états de surface. Journées hydrologiques de Montpellier. ORSTOM.
- ALBERGEL J., RIBSTEIN P., VALENTIN C. (1985c). L'infiltration : quels facteurs explicatifs ? Analyse des résultats acquis sur 48 parcelles soumises à des simulations de pluies au Burkina Faso. Journées hydrologiques de Montpellier. ORSTOM.
- ALBERGEL J., VALENTIN C. (1985d). "Sahélisation" d'un petit bassin versant soudanien : Kognere-Boulsa au Burkina Faso. A paraître.
- ASSELIN J., VALENTIN C. (1978). Construction et mise au point d'un infiltromètre à aspersion. Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., vol. XV, n°4.
- CASENAVE A. (1981). Etude des débits de crue décennale pour les petits bassins forestiers en Afrique Tropicale. Rapport final. ORSTOM-CIEH.
- CASENAVE A., CHEVALLIER P., GUIGUEN N., SIMON J.M. (1982). Simulation de pluie sur bassins versants représentatifs. Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., vol XIX, n° 4.
- COLLINET J., LAFFORGUE A. (1979). Mesures de ruissellement et d'érosion sous pluies simulées pour quelques types de sol de Haute Volta. ORSTOM, Abidjan.



- COLLINET J., VALENTIN C. (1979). Analyse des différents facteurs intervenant sur l'hydrodynamique superficielle. Nouvelles perspectives. Applications agronomiques. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol XVII, n° 4.
- DUBREUIL P. (1960). Etude hydrologique de petits bassins versants en Côte d'Ivoire. Rapport général. Tome 1 : zone forestière. Tome 2 : Zone de savane. ORSTOM, Abidjan.
- DUBREUIL P., CHAPERON P., GUISCAFRE J., HERBAUD J. (1972). Recueil des données de base des bassins représentatifs et expérimentaux 1951-1969, ORSTOM Paris.
- PUECH C., CHABI-GONNI D. (1983). Méthode de calcul des débits de crue décennale pour les petits et moyens bassins versants en Afrique de l'Ouest et Centrale. CIEH.
- RODIER J., AUVRAY C. (1965). Estimation des débits de crue décennale pour les bassins versants de superficie inférieure à 200 km² en Afrique Occidentale. ORSTOM-CIEH.
- RODIER J. (1985). Caractéristiques des crues des petits bassins versants représentatifs au Sahel. A paraître.
- VALENTIN C. (1981). Organisations pelliculaires superficielles de quelques sols de région subdésertique (Agades, Niger). Dynamique et conséquences sur l'économie de l'eau. Thèse 3ème cycle, Univers. Paris VII.
- VALENTIN C. (1985). Différencier les milieux selon leur aptitude au ruissellement : une cartographie adaptée aux besoins hydrologiques. Journées hydrologiques de Montpellier. ORSTOM.