

HYDROLOGIE D'UN MICROBASSIN VERSANT OÙ DOMINENT LES SOLS HARDÉ

par Bernard THÉBÉ, hydrologue, ORSTOM



Vue générale du bassin versant de Mouda après les feux de saison sèche.

RÉSUMÉ

Dans le cadre d'un projet européen, l'auteur s'est intéressé à l'hydrodynamique des sols Hardé et a mené une étude hydrologique sur un bassin de 18 km² représentatif de la région de Maroua, près du village de Mouda.

A l'intérieur de celui-ci, a été défini un microbassin de 3 000 m², délimité par une levée de terre. Celui-ci est occupé par des sols Hardé à différentes phases de dégradation. Il est équipé de postes pluviométriques, pluviographiques, d'une station hydrométrique et de tubages pour le suivi neutronique de l'humidité du sol.

On a tout d'abord déterminé les caractéristiques hydrodynamiques propres à chaque type de sol représenté sur le microbassin. Ceci a été fait, d'une part, en saison sèche, à l'aide d'un infiltromètre à aspersion qui reproduit artificiellement des pluies ayant les mêmes caractéristiques que les averses naturelles et, d'autre part, en saison des pluies, où ces mesures ont été vérifiées avec un dispositif de suivi de ruissellement sur parcelles de 1 m². Le tout a permis d'établir un modèle qui donne le ruissellement en fonction de la hauteur de l'averse, de l'état antérieur d'humectation du sol et d'un indice de couvert végétal.

Le modèle permettant le transfert des résultats de la simulation de pluie sur 1 m², au bassin versant, consiste à déterminer la fonction de production du bassin. La lame ruisselée calculée (Lrc) est égale à la somme des Lrci de

chaque unité cartographique, multipliée par leurs surfaces respectives. La fonction de calage permet de passer de la lame ruisselée observée à celle qui est calculée, de façon à tenir compte de l'effet de pente, de l'état de la végétation (plus ou moins sèche), de la répartition des sols par rapport aux rigoles de drainage.

Ayant ainsi quantifié le ruissellement potentiel des différentes zones du bassin, les hydrogrammes globaux de crue de celui-ci ont été observés à l'exutoire.

Il a été remarqué que, sur ce bassin, une averse ayant une pointe unique d'intensité engendre un hydrogramme à deux maxima.

Il a été déduit que la première pointe de crue est provoquée par les eaux de ruissellement d'une unité amont, représentative des sols Hardé, dont les tests au simulateur ont montré la rapidité de réaction à une averse. La deuxième pointe de crue résulte de l'adjonction du ruissellement sur le reste du bassin, dont la capacité d'infiltration est supérieure, en partie à cause de la végétation. Cette hypothèse a été vérifiée par traçage au sel et à la fluorescéine.

Finalement, la fidélité du mini-simulateur de pluie dans la reproduction des averses a été prouvée sur sol à couvert faible de végétation comme les sols Hardé, alors qu'au-delà d'un couvert herbacé de 30 %, celui-ci doit impérativement être pris en compte.

ABSTRACT

The author became interested in the hydrodynamics of Hardé soils while working for a European project. He carried out a hydrologic study on an 18 km² basin near Mouda where the conditions are representative of the Maroua region.

A 3 000 m² microbasin separated from the rest of the basin by an elevation was selected. This microbasin is occupied by Hardé soils which are at various stages of degradation. The installations on this site include a rain gauge, a rainfall graphic equipment, a hygrometric station and a gamma neutron probe.

First, the hydrodynamic characteristics of each soil type on the microbasin were determined. On the one hand, this was done in the dry season using an aspersion-infiltration-metre which simulates rainfall (with the same characteristics as natural rain). On the other hand, measurements were cross-checked in the rainy season using a runoff study design on a plot of 1 m². The results of the complete study made it possible to build a model which determines rainfall runoff as a function of rain drop height, prior soil moisture content, and vegetational cover index.

The model which makes it possible to transfer the results obtained from the 1 m² rainfall simulation plot to the watershed is based on the determination of the production function of the basin. The calculated runoff (CR) is equal to the

sum of the calculated runoff (CRi) of each cartographic unit multiplied by its respective surface area. The setting function enables us to leave from the observed to the calculated runoff such that the effects of the following factors are taken into consideration : slope, state of the vegetation (more or less dry), soils repartitioning with respect to drainage channels, etc.

After quantifying the potential runoff of the different zones, the global flood hydrogrammes of the basin were then observed from the outlet.

It was noted that a rainfall in this basin which has only one point of intensity has a hydrogramme of 2 maxima.

It was deduced that the first flood point is caused by runoff from the upper portion, which represents Hardé soils of which runoff simulation tests have shown the reaction rapidity to a rainfall. The second peak results from the combination of runoff from the rest of the basin with a higher infiltration due to vegetation availability. This hypothesis was verified by using salt straining and fluorescein.

Finally, the efficiency of the mini-rainfall simulator was proved on a soil with scanty vegetation compared to that of the Hardé soils, but if the vegetational cover is up to or more than 30 %, this must be taken into consideration when simulating runoff.

Les sols de la province de l'extrême-nord du Cameroun ont fait l'objet de nombreuses études pédologiques, dont une synthèse descriptive de BRABANT et GAVAUD (1985). Le fonctionnement hydrique de ces sols a aussi en partie été étudié (SEINY-BOUKAR, 1990)

Dans cet ouvrage, les auteurs classent, du point de vue des « contraintes et aptitudes des terres », une grande partie des sols de la région dans l'unité « Terres dégradées en Hardes », même si toutes les terres n'atteignent pas l'aspect final de dégradation que traduit le terme sol Hardé, défini par SEINY-BOUKAR et PONTANIER (1992). La dégradation de ces terres est marquée par un régime hydrique gravement perturbé. L'infiltration est bloquée sous la mince couche meuble de surface ; l'humectation peut atteindre 25 à 30 cm en fin de saison des pluies mais, au-delà, la terre reste sèche toute l'année.

Deux millions d'hectares sont actuellement susceptibles de subir cette « hardéisation » et viendront s'ajouter aux 886 000 hectares déjà existants, soit environ 10% des terres de la région*.

Il paraissait donc important de s'intéresser, dans le cadre du programme « Utilisation des Ressources en Eau et en Sols du Nord-Cameroun » (CCE, 1985), à l'hydrodynamique de ces sols et de mener une étude hydrologique sur un bassin représentatif de ces milieux.

L'ensemble des résultats présentés ici provient d'une série d'études pluridisciplinaires effectuées sur le bassin versant de Mouda (18,1 km²), situé à environ 30 km au sud de Maroua, dans la province de l'extrême-nord du Cameroun, et plus particulièrement de la synthèse hydrologique (THEBE, 1987, THEBE et PONTANIER, 1989).

* Ndlr. On a vu, dans les articles précédents, que cette proportion est peut-être surévaluée (C. TRIBOULET) et que le risque de « hardéisation » est lié au type de gestion (C. SEIGNOBOS).

MÉTHODE

A l'intérieur du bassin de 18,1 km², on a défini un microbassin de 3 000m², matérialisé par une levée de terre et représentatif des vertisols dégradés et des sols Hardé ; certains y sont dans la phase finale de dégradation, avec l'apparition en surface de nodules calcaires. La végétation est généralement peu abondante, voire inexistante sur la partie du sol Hardé du bassin.

De forme très compacte (indice de GRAVELIUS $K = 1,14$), très plat (dénivelée totale = 207 cm), le réseau hydrographique peu marqué n'apparaît que dans le tiers aval, sous la forme d'un canal collecteur assez encaissé. Il est équipé de postes pluviométriques, pluviographiques, d'une station hydrométrique et de tubages pour le suivi neutronique de l'humidité du sol.

Ce dispositif a permis d'étudier les mécanismes de formation des crues et une approche du bilan hydrologique par des méthodes en mode synchrone (pluies

simulées) et diachrone pluriannuel (pluies naturelles à l'échelle du bassin et du m²).

Afin de déterminer les caractéristiques hydrodynamiques propres à chaque type de sols représentés sur ce microbassin, et sur la base d'une cartographie thématique des sols et des systèmes écologiques, trois sites représentatifs des unités physiologiques ont été sélectionnés, en insistant surtout sur les états de la surface et les types d'occupation du sol (CASENAVE et VALENTIN, 1989) :

- **Unité ou site 1 (SI)** : Sols Hardé très battants ; pratiquement jamais de végétation.
- **Unité ou site 2 (SII)** : Vertisols très dégradés, très peu de fentes de retrait, végétation à base d'annuelles.
- **Unité ou site 6 (SIV)** : Régosol sur matériau argilo-limoneux à nodules calcaires, surface graveleuse, annuelles tardives.



Collines végétalisées, en bordure du bassin de Mouda, et colluvions de rupture de pente dénudés.



Talweg sur sol Hardé.

L'utilisation de l'infiltromètre à aspersion nous a permis, sur chacun des sites représentatifs, d'étudier les principaux paramètres de l'hydrodynamique de ces sols, en faisant les deux hypothèses suivantes :

- La dynamique de l'eau dans le sol sous pluie simulée et sous pluie naturelle est la même puisque l'infiltromètre reproduit fidèlement les principales caractéristiques des averses naturelles : intensité, hauteur, énergie cinétique des gouttes de pluie.
- Pour s'affranchir des perturbations dues aux pluies naturelles, les expérimentations en pluie simulée ont toujours été menées en saison sèche, en considérant que l'influence de la végétation herbacée sur le ruissellement et l'infiltration est liée à sa densité et non à son état physiologique (ALBERGEL et THEBE, 1987).

Afin de tester la validité des résultats obtenus en saison sèche avec simulation, dans des conditions assez éloignées de celles de la saison des pluies, il a été mis au point un dispositif de suivi du ruissellement sur parcelles de 1 m² pour les trois sites de simulation de pluie représentatifs du microbassin de 3 000 m², ceci pendant toute la durée d'une saison des pluies.

Sur chacun des sites, une fonction de production du ruissellement a été élaborée à partir d'un modèle de type « multilinéaire ».

La mise au point de ce modèle comporte trois étapes :

- homogénéisation et critique des données observées sur les trois parcelles de chaque site ;
- expression sous forme de régression linéaire de la lame ruisselée en fonction des variables les plus significatives ;
- test de signification des coefficients de régression (test de STUDENT).

Dans ce cas d'étude, les variables explicatives du ruissellement sont :

- la hauteur de l'averse (Pu en mm) ;
- l'état d'humectation du sol, représenté par un indice des pluies antérieures (IK) de type KOHLER (CHEVALIER, 1983).

$$IK_n = (IK_{n-1} + P_{n-1})e^{-\&t} \quad \text{avec :}$$

IK_n = indice d'humectation immédiatement avant la pluie (n)

P_{n-1} = hauteur de l'averse précédant l'averse considérée

t = temps séparant la fin de l'averse de rang (n-1) du début de l'averse considérée, exprimé en jours et fractions de jours

& = coefficient de calage (pris égal à 0,5).

- un indice de couvert végétal CV en % (FLORET et PONTANIER, 1982; BOURGES *et al.*, 1984).

RÉSULTATS ET DISCUSSION

ÉTUDE DU RUISSELLEMENT À L'ÉCHELLE DE LA PARCELLE

La réaction d'une parcelle à une averse donnée est connue par l'analyse de l'hydrogramme de ruissellement pour l'averse considérée. Deux paramètres essentiels, caractéristiques du processus de ruissellement, peuvent être facilement définis par les tests à l'infiltromètre à aspersion : la hauteur de la pluie d'imbibition (Pi), l'intensité limite de ruissellement (IL).

■ Étude de la pluie d'imbibition

Les facteurs principaux influant sur la pluie d'imbibition sont : l'état d'humectation initial du sol, les différents états de surface et de la végétation ainsi que l'intensité de l'averse.

● Commentaires

Unité (SI) : on a noté la modestie des valeurs de pluies d'imbibition sur sol naturel, inférieures à 4 mm même pour des averses de faible intensité ($I = 24$ mm/h), et l'homogénéité de leur comportement.

Le travail du sol augmente considérablement la valeur de la pluies d'imbibition puisqu'elle atteint: 18,6 mm au lieu de 4 mm pour P4.

Unité (SII) : plusieurs états de surface et de végétation ont été testés:

- sol nu et sol après labour manuel
- couvert végétal « moyen » (30% de recouvrement)
- couvert végétal « dense » (50 à 80% de recouvrement).

Deux remarques importantes peuvent être faites :

- L'influence de la végétation sur la hauteur de la pluie d'imbibition ne se fait sentir qu'au-delà d'un seuil minimal de recouvrement au sol de l'ordre de 40%.

- La valeur de la pluie d'imbibition est, dans tous les cas, très liée à l'indice IK d'antécédence des pluies. Elle décroît en fonction de IK suivant une branche

d'hyperbole, dont la courbure dépend de l'état de surface et l'asymptote de l'état de la végétation.

Unité (SVI) : les hauteurs de pluies d'imbibition sur trois parcelles testées sont très homogènes, directement liées à l'indice IK et sensiblement égales à celles de (SI) (entre 4 et 5 mm).

■ Étude de l'intensité limite de ruissellement

Il s'agit ici de définir les intensités limites de pluie pour lesquelles il y aura ou il n'y aura pas ruissellement.

Pour cela deux valeurs ont été mesurées :

IL1 : intensité limite au-dessous de laquelle la parcelle ne ruisselle jamais

IL2 : intensité limite au-dessus de laquelle la parcelle ruisselle toujours.

Les mêmes remarques que pour la pluie d'imbibition peuvent être faites ici concernant l'influence des états de surface et du type d'occupation du sol.

● Commentaires

L'unité (SI) : elle peut ruisseler pour n'importe quelle intensité, même très faible, et ruisselle toujours pour des intensités supérieures à 10/13 mm/h.

L'unité (SII) : elle se comporte un peu comme la précédente ; elle peut ruisseler à des volumes très bas d'intensité 0 à 6 mm/h mais ruisselle toujours à partir de 16/20 mm/h.

L'unité (SVI) : elle ruisselle à partir de 6 mm/h et toujours au-delà de 15/20 mm/h.

En dessous d'un couvert végétal de 35 %, ces valeurs ne varient que très peu mais, dès qu'il atteint les valeurs de 50 %, IL1 est de l'ordre de 16/20 mm/h et IL2, de 40 à 50 mm/h pour l'unité (SII).

Le suivi de ces mêmes parcelles en conditions naturelles, durant une saison des pluies, nous a permis de vérifier la validité de ces résultats. Sur l'ensemble du dispositif, et pour la totalité de la saison des pluies, seulement quatre « anomalies » ont pu être relevées sur une ou plusieurs parcelles, provenant d'averses à la limite des critères définis par les pluies simulées.

■ **Modélisation du ruissellement**

● **Sous pluie simulée**

Trois campagnes de simulation ont été réalisées. L'homogénéité des données recueillies sur les parcelles ayant été vérifiée, nous obtenons les fonctions de production suivantes (B. THEBE, 1987, *op. cit.*) :

Unité (SI) $Lrs_1 = 0,91 Pu - 4,21$
($R^2 = 0,941$ pour 28 observations)

Unité (SII) $Lrs_2 = 0,758 Pu + 0,146 IK - 0,207 CV - 4,57$
($R^2 = 0,816$ pour 31 observations)

Unité (SVI) $Lrs_6 = 0,661 Pu + 0,197 IK - 0,292 CV - 5,47$
($R^2 = 0,900$ pour 18 observations)

Lrs : lame ruisselée calculée par le modèle simulateur.
 R^2 : coefficient de détermination multiple.
 IK : indice des précipitations antérieures.
 CV : indice de couvert végétal.

Sur l'unité (SI), seule la variable pluie est significative alors que, sur les deux autres sites, le même test (STUDENT, avec un seuil de signification fixé à 1 %) accepte également les variables IK et CV. Pour l'unité (SI), représentative des terres Hardé, la non-incidence de la variable (IK), qui caractérise le « réservoir-sol » dans l'horizon de surface, confirme la faiblesse de l'infiltration dans ces terres et vérifie la description qui en a été faite par BRABANT et GAVAUD (1985, *op. cit.*).

● **Reconstitution des lames ruisselées observées sous pluies naturelles**

Le « modèle pluie naturelle » a été établi à partir des données recueillies sur les trois sites représentatifs du microbassin, durant la saison des pluies 1985 ; il prend en compte les mêmes variables que le « modèle simulateur » :

- la hauteur de pluie (Pu) ;
- l'indice des précipitations antérieures (Ik) ;
- l'indice de couvert végétal (CV). Une estimation de la densité du couvert végétal, à différentes dates de la saison des pluies, permet de donner à cet indice des valeurs représentatives de l'évolution du couvert herbacé (B. THEBE, 1987, *op. cit.*).

Après critique des données sur chaque site, les fonctions de production suivantes ont été établies :

Unité (SI) $Lrn_1 = 0,838 Pu - 2,34$
($R^2 = 0,962$ pour 60 observations)

Unité (SII) $Lrn_2 = 0,541 Pu - 0,103 CV + 0,075$
($R^2 = 0,815$ pour 82 observations)

Unité (SVI) $Lrn_6 = 0,696 Pu - 3,43$
($R^2 = 0,937$ pour 96 observations)

Lrn : lame ruisselée calculée par le modèle pluie naturelle.

L'application du modèle simulateur aux lames ruisselées observées sur chaque site donne le système d'équations :

Unité (SI) $Lro_1 = 0,93 Lrs_1 + 1,34(R^2 = 0,960$ pour 60 observations)

Unité (SII) $Lro_2 = 0,85 Lrs_2 + 0,55(R^2 = 0,846$ pour 82 observations)

Unité (SVI) $Lro_6 = 1,06 Lrs_6 - 1,59(R^2 = 0,884$ pour 96 observations)

où : Lro = lame ruisselée observée sous pluie naturelle.
 Lrs = lame ruisselée calculée par le modèle simulateur.

La comparaison des régressions, site par site, dans les deux situations expérimentales, montre que :

- sur les unités (SI) et (SVI), les coefficients de régression de la variable Pu sont du même ordre de grandeur ;
- sur l'unité (SII), où se développe une végétation relativement importante au cours de la saison pluvieuse, les coefficients de régression varient sensiblement ; la lame ruisselée n'est qu'imparfaitement expliquée dans les deux cas.
- On se rend compte que la reconstitution des lames ruisselées par le modèle simulateur est satisfaisante sur les unités (SI) et (SVI) dépourvues de végétation ou présentant un couvert faible. Sur l'unité (SII), les résultats obtenus par les deux modèles sont sensiblement différents.

En conclusion, les écarts de même ordre de grandeur dans la reconstitution des lames ruisselées par les deux modèles, sur les unités (SI) et (SVI), vérifient la fidélité de la reproduction des averses par le simulateur, ainsi que la non-incidence du couvert végétal lorsque celui-ci est faible ; BOURGES *et al.* (1984) l'avaient déjà signalé dans les zones arides tunisiennes. En revanche, il semble dans le cas d'un couvert végétal important ($CV > 30$ à 40%), avec évolution physiologique de la végétation au cours de la saison des pluies, que cette fidélité de reproduction du ruissellement par le modèle simulateur ne puisse être totalement vérifiée.

**TRANSFERT DES RÉSULTATS
DE LA PARCELLE AU MICROBASSIN**

Le modèle permettant le transfert des résultats de la simulation de pluie, sur 1 m², au bassin versant consiste à déterminer la fonction de production du bassin ; celle-ci résulte de la somme pondérée des fonctions de production de chaque unité cartographique :

$$Lrc = a_1 Lrs_1 + a_2 Lrs_2 \dots + a_n Lrs_n$$

a₁, a₂..., a_n représentent les fractions de superficies occupées par les unités 1, 2,...n.

A l'échelle de la parcelle (1 m²), un certain nombre de paramètres ne sont pas pris en considération, ce qui oblige le passage par une fonction de calage des lames ruisselées, calculées sur les lames ruisselées observées.

La fonction de calage du bassin est la droite moyenne entre les droites de régression :

$$Lrc = f(Lro) \text{ et } Lro = f(Lrc)$$

**RECONSTITUTION
DES LAMES RUISSELÉES OBSERVÉES**

Ce bassin de la dimension d'un champ (3 000 m²) est caractérisé par une faible dénivelée, une relative homogénéité des sols (vertisoliques) et par trois unités correspondant aux sites I, II et VI de la simulation ; elles représentent respectivement 51 %, 28 % et 21 % de la surface, distribuées suivant la carte de la figure 1.

La fonction de production du bassin s'écrit :

$$Lrc = 0,51 Lrs_1 + 0,28 Lrs_2 + 0,21 Lrs_6$$

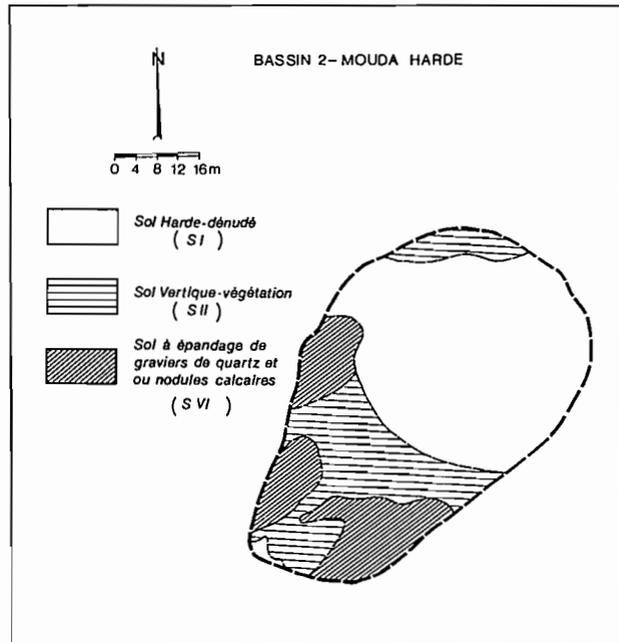
Pour toutes les pluies naturelles observées sur le bassin, ayant provoqué du ruissellement, les lames ruisselées ont été reconstituées à partir des valeurs de Pu (pluie moyenne), IK (indice des précipitations antérieures), CV (indice de couvert végétal).

Pour l'ensemble des deux campagnes 1984-1985, nous avons obtenu la fonction de calage suivante :

$$Lro = 1,01 Lrc - 0,185$$

$$R^2 = 0,96 \text{ (83 observations)}$$

FIGURE 1
Carte des états de surface et représentativité des sites de simulation de pluies



**APPORT À L'ANALYSE
DE L'HYDROGRAMME DE CRUE**

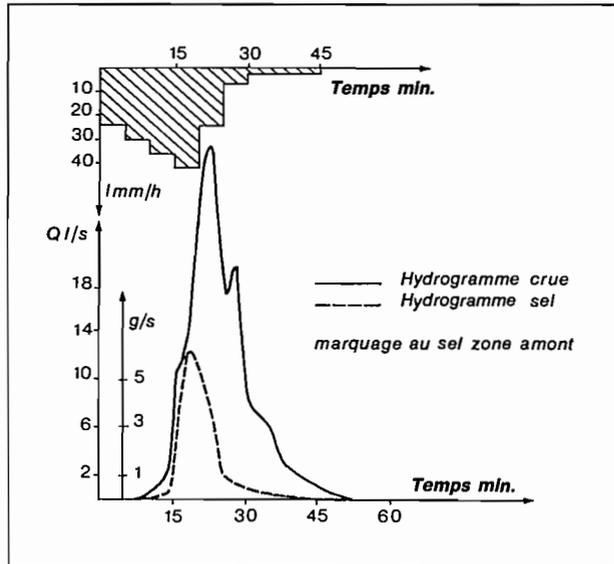
L'application des fonctions de production du ruissellement établies sur parcelles élémentaires n'autorise que le calcul des lames ruisselées. La détermination de l'hydrogramme de crue-type pour un bassin donné nécessite, par ailleurs, l'analyse des hydrogrammes de crues observées au cours d'épisodes pluvieux suffisamment nombreux.

L'un des apports importants du simulateur est la possibilité de quantifier le ruissellement potentiel des différentes aires contributives d'un bassin versant (DA COSTA DOS REIS SILVA, 1986).

Aussi nous a-t-il paru intéressant d'utiliser les fonctions de production du ruissellement établies sur parcelles pour décomposer l'hydrogramme global de crue observé à l'exutoire. Cette analyse de l'hydrogramme est d'autant plus aisée que la taille du bassin est réduite (donc présentant des temps de transfert très courts) et que la différenciation des aires contributives est nette.

L'examen des hydrogrammes et hyétogrammes, enregistrés au cours de la saison des pluies 1985, nous révèle qu'une averse à une pointe unique d'intensité engendre un hydrogramme à deux maxima (fig. 2, p. 52).

FIGURE 2
Cruie du 8 août 1986



Par ailleurs, la carte des états de surface (fig. 1) et les tests au simulateur de pluie permettent de définir deux aires contributives homogènes du point de vue du ruissellement : l'unité (1) représentée par les sites SI et SVI de simulation de pluie et l'unité (2) représentée par le site SII.

De ces observations découle l'hypothèse suivante :

- la première pointe de crue est provoquée par les eaux de ruissellement de l'unité (SI) située principalement en amont du bassin, dont les tests au simulateur ont montré la rapidité de réaction à une averse (durée de la pluie d'imbibition brève) ;
- la deuxième pointe de crue résulte de l'adjonction du ruissellement sur le reste du bassin, dont la capacité d'infiltration est supérieure en partie à cause de la végétation, analogue à l'unité (SII) de simulation de pluie.

Cette hypothèse a été vérifiée sur le terrain par une série de traçages au sel et à la fluorescéine, qui ont permis de hiérarchiser l'ordre des écoulements et de dresser la carte des rigoles de ruissellement, selon leur ordre d'apparition (fig. 3).

L'hydrogramme global de crue a été décomposé graphiquement en deux hydrogrammes élémentaires, correspondant chacun à une des deux parties du bassin selon le schéma de la figure 4.

Pour calculer les volumes de chaque hydrogramme élémentaire, chaque aire contributive du bassin s'est vu appliquer la fonction de production du ruissellement correspondante, établie sous pluie simulée.

FIGURE 3
Trace des rigoles de ruissellement

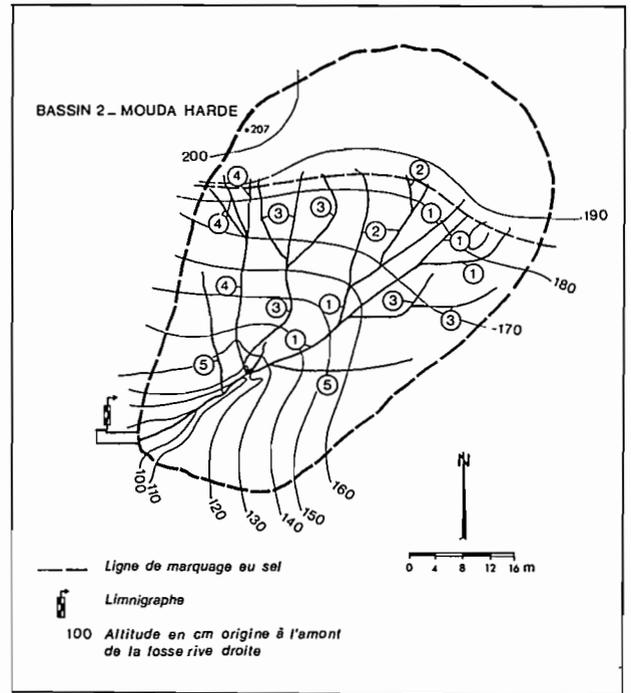
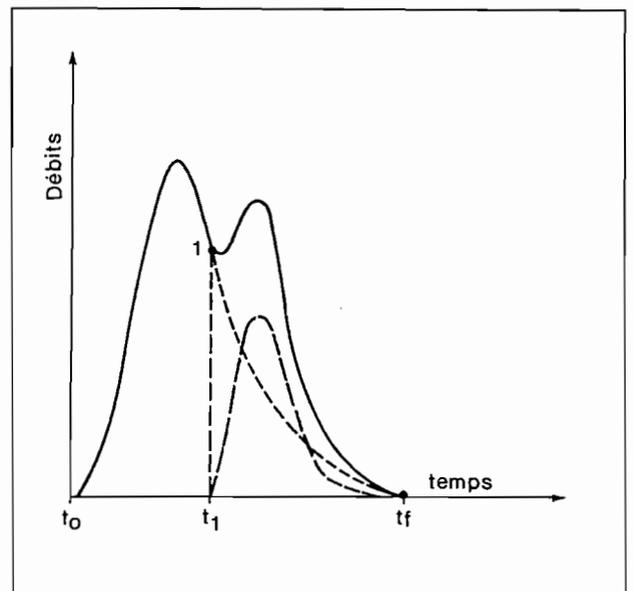


FIGURE 4
Schéma de séparation des hydrogrammes



La comparaison pour chaque hydrogramme élémentaire des volumes ruisselés, observés et calculés pour quelques crues, est présentée dans le tableau I, p. 53.

CARACTÉRISATION

TABLEAU I

**Comparaison des volumes ruisselés observés
et des volumes ruisselés calculés**

Date	Volumes observés (m ³ /s)		Volumes calculés (m ³ /s)	
	Hydrogramme n° 1	Hydrogramme n° 2	Hydrogramme n° 1	Hydrogramme n° 2
	(SI-SVI)	(SII)	(SI-SVI)	(SII)
04/05/85	38,1	9,6	39,3	13,3
14/06/85	15,5	4,2	12,7	4,3
10/07/85	24,3	4,7	20,2	7,5
14/07/85	31,2	6,9	29,0	9,9
17/07/85	39,6	9,8	32,8	11,9
21/07/85	29,5	12,1	22,7	6,7
25/07/85	27,3	3,3	15,9	3,1
14/08/85	38,4	8,3	21,1	4,3

APPROCHE DU BILAN HYDROLOGIQUE

Nous présentons, dans le tableau II, les termes du bilan annuel pour les deux campagnes de mesures en conditions naturelles sur le microbassin.

Les notations suivantes ont été utilisées :

- P = pluviométrie (mm)
- Lr = lame ruisselée (mm)
- Kr = coefficient de ruissellement (%)
- De = déficit d'écoulement = P — Lr (mm)

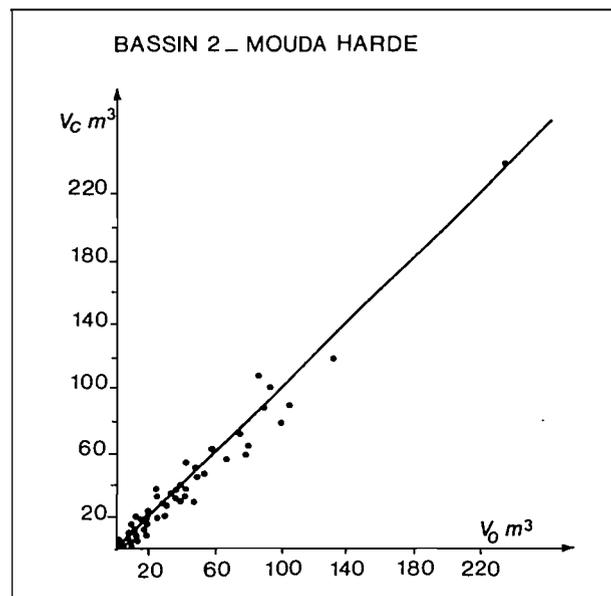
TABLEAU II

Bilan annuel du bassin versant 2 Hardé

Période	P (mm)	Lr (mm)	Kr (%)	De (mm)
1984	624	274	44	350
1985	922	497	54	425

La figure 5 compare, pour l'ensemble des crues, les volumes écoulés, observés (Vo) et calculés (Vc).

FIGURE 5
**Comparaison entre volumes écoulés observés
et volumes calculés**



CONCLUSION

La comparaison des fonctions de production du ruissellement, sur parcelles élémentaires, établies dans les deux situations de saison sèche sous pluie simulée et de saison des pluies en conditions naturelles, a permis de mettre en évidence les faits suivants :

- La fidélité du mini-simulateur dans la reproduction des averses : les fonctions de production sont sensiblement les mêmes, dans les deux cas, sur les sites dépourvus de végétation ou à couvert faible.

- L'identification d'un seuil de densité de recouvrement au sol par la végétation herbacée, au-delà duquel la prise en compte de ce paramètre devient nécessaire.

Ce seuil critique de densité du couvert herbacé,

estimé à 30 %, n'est que rarement atteint sur les sols à caractère Hardé.

Les tests réalisés sur parcelles (1 m²) ont permis de définir certaines caractéristiques hydrodynamiques de ces sols (Pi, IL, Kr) et de mieux comprendre la genèse des crues sur le microbassin à partir des fonctions de production de chaque aire contributive, en particulier sur les sols Hardé qui fournissent la majeure partie des volumes ruisselés. ■

Ndlr. L'important ruissellement sur sols hardé et la contribution très rapide de ceux-ci à la formation de crues constatés par l'auteur, sont, hélas, plusieurs fois par an vérifiés par les habitants de la ville de Maroua, dont certains quartiers sont inondés par le Mayo Kaliao, rivière d'une dizaine de kilomètres de long qui draine essentiellement des zones dénudées.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ALBERGEL (J.), THEBE (B.), 1986. — Pluie naturelle-Pluie simulée. Quelle différence sur le ruissellement ? gouttes et Splash. Vol. 3, n° 1.

BOURGES (J.), FLORET (C.), GIRARD (G.), PONTANIER (R.), 1984. - Dynamique de l'eau sur un glaciais du Sud tunisien (type Segui). ORSTOM. Tunis. CEPE/CNRS. Montpellier, multigr, 86 p.

BRABANT (P.), GAVAUD (M.), 1985. — Les sols et les ressources en terre du Nord-Cameroun. Coll. Cartes et notices explicative n° 103. MESRES-IRA Yaoundé. ORSTOM. Paris. Ed. ORSTOM, 285 p. + 6 cartes couleur hors-texte.

CASENAVE (A.), VALENTIN (C.), 1989. — Les états de surface de la zone sahélienne. Influence sur l'infiltration. Coll. Didactiques. ORSTOM. Paris. Ed. ORSTOM. 203 p. + Annexes.

CCE, 1988. — Utilisation et conservation des ressources en sol et en eau (Nord-Cameroun). Rapport final TSD/A216 CAM (5). IRA-IRGM (Cameroun); ORSTOM, CEPE/CNRS (France); CCE, Bruxelles, 232 p.

CHEVALIER (P.), 1983. — L'indice des précipitations antérieures. Evaluation de l'humectation des sols des bassins versants représentatifs. Cah. ORSTOM Sér. Hydrol., Vol. XX, n° 3 et 4 : pp. 179-189.

CHEVALIER (P.), 1986. — Note sur les écarts observés entre les pluviomètres standard et les pluviomètres au sol en Afrique de l'Ouest. Journées Hydrologiques de Montpellier. Colloques et séminaires ORSTOM : pp. 53-64.

DA COSTA DOS REIS SILVA, 1986. — Essai d'élaboration et d'utilisation d'un modèle spatialisé de simulation des crues (concept d'unités participantes). Thèse d'Université. Université des Sciences et Techniques du Languedoc. Montpellier, 206 p. + Annexes.

FLORET (C.), PONTANIER (R.), 1982. — L'aridité en Tunisie présaharienne. Trav. et Doc. ORSTOM, n° 150, Paris, 544 p.

THEBE (B.), 1987. — Hydrodynamique de quelques sols du Nord— Cameroun. Bassins versants de Mouda. Contribution à l'étude des facteurs d'échelle. Thèse d'université. Université des Sciences et Techniques du Languedoc. Montpellier, 238 p. + Annexes.

Bernard THÉBÉ
ORSTOM, avenue du Val de Montferrand
BP 5045, 34032 Montpellier Cedex 01 (France)

CAHIERS SCIENTIFIQUES N° 11
Supplément de Bois et Forêts des Tropiques
MÉMOIRES ET TRAVAUX DE L'IRA N° 6

LES TERRES HARDÉ

CARACTÉRISATION ET RÉHABILITATION DANS LE BASSIN DU LAC TCHAD



ORSTOM

