

# L'apport de la simulation de pluie dans l'analyse des phénomènes de ruissellement et d'infiltration : quelques exemples d'applications hydrologiques

par

A. Casenave

ORSTOM  
Hydrologue UR B 12  
Coordonnateur des programmes  
de simulation de pluie  
BP 375 LOME (TOGO)

## Résumé

Après avoir fait un bref historique du développement de la technique des pluies simulées à l'ORSTOM, l'auteur expose les motivations scientifiques qui sont à la base de l'utilisation de cette nouvelle technique. Il montre ensuite à partir de quelques exemples d'études menées par les hydrologues et les pédologues au cours de la dernière décennie :

- Etude des crues décennales en zone forestière tropicale
  - Modélisation du ruissellement en zone soudano-sahélienne
  - Hiérarchisation des facteurs conditionnels du ruissellement en fonction de la zone géographique
- quel a été l'apport de la simulation de pluie dans la résolution de problèmes hydrologiques.

Mots clefs : Simulation de pluie, ruissellement, infiltration, crues décennales.

29 JUIN 1993

## I - INTRODUCTION

Les études menées actuellement sous pluies simulées sont l'aboutissement d'une évolution progressive des techniques d'étude de l'hydrodynamique des sols. Depuis fort longtemps, les hydrologues se heurtaient lors de l'interprétation de leurs mesures, particulièrement celles des bassins versants représentatifs et expérimentaux (BRE), à l'impossibilité de chiffrer l'aptitude des différents types de sols au ruissellement. Les renseignements tirés des cartes pédologiques s'avéraient peu pertinents, la classification pédologique basée sur des critères morphogénétiques ne reflétant pas les caractéristiques hydrodynamiques des sols. Pour tester de façon plus précise ces caractéristiques, de nombreuses parcelles de ruissellement, d'érosion, de drainage vertical ou oblique ont été installées par les pédologues et les hydrologues de l'ORSTOM, sous différentes latitudes (Côte d'Ivoire, Burkina Faso, Niger, Togo, Benin, Tchad, Tunisie, Madagascar etc..). Il est ensuite apparu qu'un progrès pouvait être obtenu en s'affranchissant des aléas des précipitations naturelles par la technique de simulation de pluie. Un premier appareil, dérivé du simulateur de type SWANSON, a été utilisé, de 1974 à 1980, par une équipe multidisciplinaire de l'ORSTOM, sur des sites échelonnés de la zone tropicale humide à la zone sahélienne, dans 3 pays : Côte d'Ivoire, Burkina Faso et Niger. En 1977, dans le cadre d'une étude des crues décennales des petits bassins versants de la zone forestière tropicale, est utilisé un minisimulateur de pluie mis au point par l'ORSTOM (ASSELINE, VALENTIN 1978) pour tester les caractéristiques hydrodynamiques des différents sols forestiers. En 1980, une première tentative d'utilisation du minisimulateur, en zone sahélienne, à des fins hydrologiques, est faite dans le cadre de l'étude de la Mare d'Oursi (Burkina Faso). Au vu des résultats de ces deux premières études, le Comité Technique d'hydrologie de l'ORSTOM décide d'étendre cette nouvelle technique à d'autres pays. Des programmes de mesure sont progressivement développés au Cameroun (1982), au Congo, au Togo, en Tunisie (1983) et enfin au Niger et au Brésil (1984). C'est principalement les résultats obtenus, depuis 10 ans, par l'utilisation de ce minisimulateur de pluies, qui vont être exposés dans cet article.

## II - INTERET DES ETUDES SOUS PLUIES SIMULEES

Les nombreuses études réalisées jusqu'à présent dans le domaine des relations eau-sol (bassins versants, case d'érosion ou de ruissellement, bilans hydriques des sols etc..) se heurtent à quatre problèmes :

- un problème d'analyse des paramètres entrant en jeu dans les processus d'infiltration et de ruissellement. Du fait de leur nombre et de leurs interactions,

## HYDROLOGIE

il est difficile, sous pluies naturelles, de mettre en évidence le rôle respectif de ces différents paramètres. Le simulateur de pluie, qui permet de fixer à volonté les caractéristiques des averses, l'état d'humectation du sol par des arrosages successifs, de tester différents types de sols, d'états de surface, de couvertures végétales ou de pentes, autorise une analyse beaucoup plus fine des phénomènes.

- un problème de durée des études. Pour obtenir un résultat fiable sous pluies naturelles, il est nécessaire de prolonger les mesures sur plusieurs années, surtout en zone sahélienne où les pluies sont rares et irrégulières. Les mesures sous pluies simulées permettent de réduire de façon très sensible la durée des études pour un résultat d'une précision sensiblement égale, sinon supérieure dans certains domaines, à celle des mesures classiques.
- un problème d'extension spatiale des résultats. Du fait de leur durée, les mesures classiques ne sont effectuées que sur un petit nombre de sites. Les mesures sous pluies simulées, beaucoup plus rapides, permettent pour un même investissement de tester un nombre de sites bien plus élevé.
- un problème d'expérimentation. Les mesures d'infiltration ont pratiquement toujours été réalisées à l'aide de techniques interdisant le ruissellement (Müntz, Pioger...) qui ne tiennent pas compte des réorganisations superficielles et sont donc très éloignées de la réalité physique des phénomènes. Les études sous pluies simulées ont déjà montré que les valeurs d'intensité d'infiltration ne peuvent être déduites de tests infiltrométriques de types Müntz. En effet, non seulement les valeurs ne sont pas du même ordre de grandeur, mais elles ne correspondent même pas au même classement.

### III - QUELQUES EXEMPLES D'APPLICATION DE LA TECHNIQUE DES PLUIES SIMULEES.

#### 3.1. Détermination des crues décennales des petits bassins versants en zone forestière tropicale.

Les études de l'ORSTOM en zone forestière avaient montré qu'il était impossible de classer un bassin dans une catégorie d'aptitude au ruissellement à partir de critères pédologiques classiques. Des campagnes de mesures sous pluies simulées ont donc été entreprises de 1977 à 1984, en Côte d'Ivoire, puis au Cameroun et au Congo, afin de mieux définir les caractéristiques hydrodynamiques des différents sols forestiers. Les mesures ont été faites sur les bassins antérieurement étudiés par l'ORSTOM, afin de mettre en évidence une éventuelle liaison entre les résultats obtenus sous pluies simulées et ceux des études classiques

de BRE.

Pour la majeure partie de ces bassins, les mesures ont été effectuées sur 3 sites généralement installés le long d'un versant : un site au sommet, le second vers la mi-pente, le dernier en bas de versant. Ce dispositif correspond à la toposéquence la plus couramment observée dans toute la zone forestière tropicale avec des sols ferrallitiques rouges à horizon gravillonnaire en surface ou à faible profondeur sur les positions hautes du modelé, qui passent à des sols ferrallitiques rouges puis jaunes à horizon gravillonnaire profond surmonté de colluvions, généralement à partir du tiers supérieur du versant, puis à des sols hydromorphes en bas de pente. Afin de diffuser l'hétérogénéité du sol, chaque site comporte 4 parcelles. Une série de pluies simulées, séparées de temps de ressuyage variables, permet de définir la fonction de production du ruissellement de chaque type de sol qui s'exprime par une relation  $L_r = f(P_u, I_K)$  où  $L_r$  est la lame ruisselée en mm,  $P_u$  la hauteur de pluie en mm et  $I_K$  un indice des pluies antérieures permettant de chiffrer l'état d'humectation du sol au début de la pluie (CASENAVE 1982 a).

On a montré (CASENAVE 1982 b, CASENAVE et al 1986) que la valeur de la lame ruisselée pour une pluie de 100 mm et un état d'humectation du sol correspondant à un indice  $I_K$  de 50, déterminée sous pluie simulée, était bien corrélée avec le coefficient de ruissellement de la crue décennale de chaque bassin étudié. Cette liaison s'exprime par la relation

$$K_r 120 = 55 \log (\sum L_r.S) - 159$$

où  $K_r 120$  = coefficient de ruissellement d'une crue correspondant à une pluie de 120 mm.

Cette valeur a été utilisée pour éliminer les variations de régime pluviométrique entre les différents bassins (RODIER 1976)

$\sum L_r.S = (L_{r_1} \times S_1) + (L_{r_2} \times S_2) + \dots + (L_{r_n} \times S_n)$  où  $L_{r_n}$  = lame ruisselée du site n pour une pluie de 100 mm et un indice  $I_K$  de 50.

$S_n$  = pourcentage de la superficie du bassin occupé par le sol du site n.

Cette relation est valable pour tous les bassins forestiers ayant un  $K_r 120 > 5\%$  (Fig. 1).

### 3.2. Modélisation du ruissellement en zone soudano-sahélienne.

Un des principaux résultats des études sous pluies simulées a été de montrer qu'en zone soudano-sahélienne, ce ne sont pas tant les organisations internes de la couverture pédologique qui conditionnent l'infiltration et le ruissellement que les états de surface (COLLINET-VALENTIN 1979). Ce terme d'état de surface recouvre deux composantes : le couvert végétal et les organisations pédologiques superficielles. Une nouvelle méthode cartographique développée à l'occasion des études sous pluies simulées dans cette zone distingue deux niveaux d'organisation (VALENTIN 1986) :

HYDROLOGIE

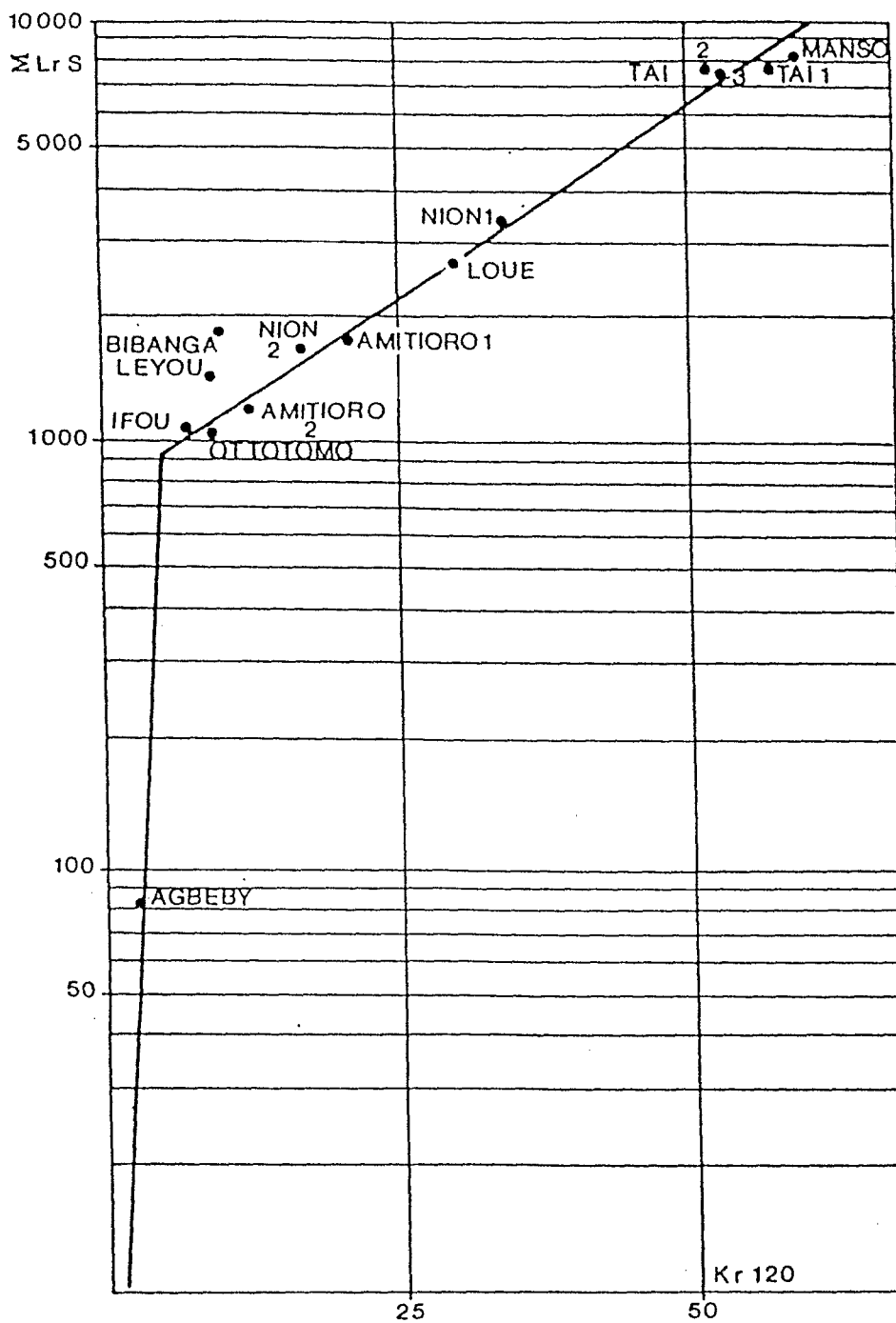


Fig. 1 Relation entre lame ruisselée et Kr d'une pluie de 120 mm.

## HYDROLOGIE

- La surface élémentaire, caractéristique d'un état de surface, et considérée comme homogène quant à son comportement hydro-dynamique.

- L'unité cartographique qui correspond soit à une seule surface élémentaire, soit à l'association de plusieurs et dont les limites peuvent être tracées à partir des relevés de terrain et des photographies aériennes.

Lors des mesures sous pluies simulées, chaque parcelle permet de tester le comportement d'une surface élémentaire. Un site expérimental regroupe généralement plusieurs parcelles. Il correspond alors à une unité cartographique.

Pour une parcelle donnée, une série de 4 à 6 pluies simulées permet de déterminer la fonction de production qui caractérise l'aptitude au ruissellement d'une surface élémentaire. Cette fonction s'exprime par une équation de type :

$$Lr = a Pu + b IK + c Pu IK + d$$

(ALBERGEL et al 1986)

Chaque unité cartographique regroupe un nombre variable de surfaces élémentaires. On détermine, à partir des photos aériennes, le pourcentage de chacune de ces surfaces dans l'ensemble de l'unité. En combinant au prorata de ce pourcentage les fonctions de production des surfaces élémentaires, on obtient la fonction de production de l'unité cartographique. De même, la fonction de production du bassin résulte de la somme pondérée des fonctions des unités cartographiques. Cette fonction de production du bassin s'exprime par l'équation :

$$Lr B = \sum x_i Lr_i$$

$x_i$  = pourcentage de la surface du bassin occupé par l'unité cartographique  $i$

$Lr_i$  = fonction de production du ruissellement de l'unité  $i$ .

### 3.2.1. Utilisation du modèle

#### 3.2.1.1. Reconstitution de la lame ruisselée de récurrence décennale

Si le bassin avait un comportement identique à celui des parcelles, la reconstitution des lames du bassin dériverait directement de la fonction de production du bassin. La différence d'échelle entre des parcelles de  $1m^2$  et des bassins de plusieurs  $km^2$  oblige à passer par une phase de calage des lames reconstituées à partir des résultats de la simulation de pluie sur celles réellement observées. Pour toutes les pluies naturelles ayant donné lieu à ruissellement, on reconstitue à partir des valeurs de  $Pu$  (pluie moyenne sur le bassin),  $Ik$  (indice calculé à partir de la série des pluies moyennes) et  $LrB$  (fonction de production du bassin) les lames ruisselées calculées  $Lrc$ . On corréle ces valeurs avec les lames réellement observées  $Lro$  (Fig.2) La droite de régression est la fonction de calage propre à chaque bassin. Les études actuelles visent à expliciter les facteurs physiographiques des bassins qui déterminent ces différentes fonctions de calage.

La reconstitution des lames ruisselées correspondant aux crues décennales peut se faire soit :

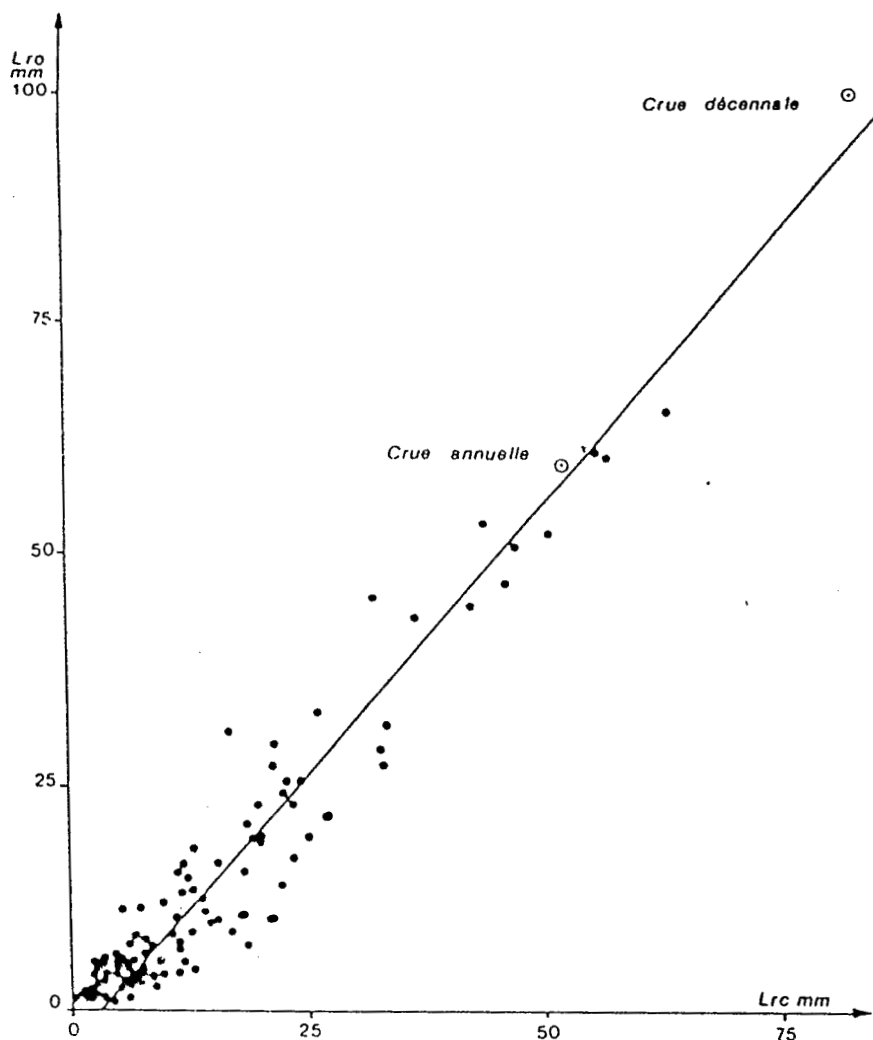


Fig. 2 Bassin versant de la COMBA - Fonction de calage.

- Directement en appliquant le modèle développé ci-dessus à une pluie décennale tombant dans des conditions d'humectation des sols moyennes ;

- Indirectement en générant à partir d'une série pluviométrique de longue durée une série de crues à laquelle on ajuste une loi statistique.

Dans le tableau ci-après sont reportées les valeurs des lames ruisselées de récurrence décennales déterminées à partir du modèle simulateur de celles calculées à partir des observations classiques sur les bassins.

HYDROLOGIE

Bassin	Lame ruisselée décennale étude classique du bassin (en mm)	Lame ruisselée décennale modèle simu- lateur (en mm)
Jalafanka (Burkina Faso)	42,1	45,4
Polaka (Burkina Faso)	22,2	20,8
Binnde (Burkina Faso)	32,1	33,1
Kazanga (Burkina Faso)	33,2	28,4
Kuo (Burkina Faso)	28,0	26,6
Korhogo (Côte d'Ivoire)	29,0	30,1
Varale 1 (Côte d'Ivoire)	17,9	17,6
Varale 2 (Côte d'Ivoire)	19,3	20,5
Comba (Congo)	98,8	95,7
Kountkouzout (Niger)	24,0	28,2
Banigorou (Niger)	5,5	3,9

3.2.1.2. Utilisation des fonctions de production  
dans les modèles mathématiques

Les bassins versants de la Mare d'Oursi, situés au Nord du Burkina Faso, ont fait l'objet d'observations hydropluviométriques classiques pendant six années (CHEVALLIER et al 1985). Une campagne de pluies simulées a été faite sur deux de ces bassins (CHEVALLIER 1982) dont les états de surface avaient été préalablement cartographiés (VALENTIN 1981 a). Il a paru intéressant d'associer à la simulation de pluie deux autres outils récents de l'hydrologie :

- La télédétection spatiale pour l'extension à l'ensemble du bassin de la cartographie fine des états de surface.
- Le modèle à discrétisation spatiale ORSTOM - Ecole des Mines.

A partir de la cartographie du bassin de Polaka (9,14 km<sup>2</sup>) qui sert de "vérité terrain", une extension géographique à l'ensemble du bassin de la Mare d'Oursi (263 km<sup>2</sup>) a été faite à partir d'une image LANDSAT (LOINTIER-LORTIC 1984). Le modèle à discrétisation spatiale (GIRARD et al 1981) utilise cinq fonctions interconnectées qui modélisent le cycle de l'eau. Parmi celles-ci, la fonction de production, pour un état de surface donné, définit les termes du bilan hydrique, c'est-à-dire la répartition des apports entre l'évapotranspiration, le ruissellement et l'infiltration. Pour l'étude de la Mare d'Oursi, les fonctions de production sont entièrement définies par les résultats de la simulation de pluie.

Le modèle a été testé pour le calcul de la limnimétrie de la Mare d'Oursi en 1978, 1979 et 1980 (CHEVALLIER 1986). On peut constater sur la Fig.3 la remarquable adéquation



NIVEAUX DE LA MARE D'OURSIS (1978-1980)

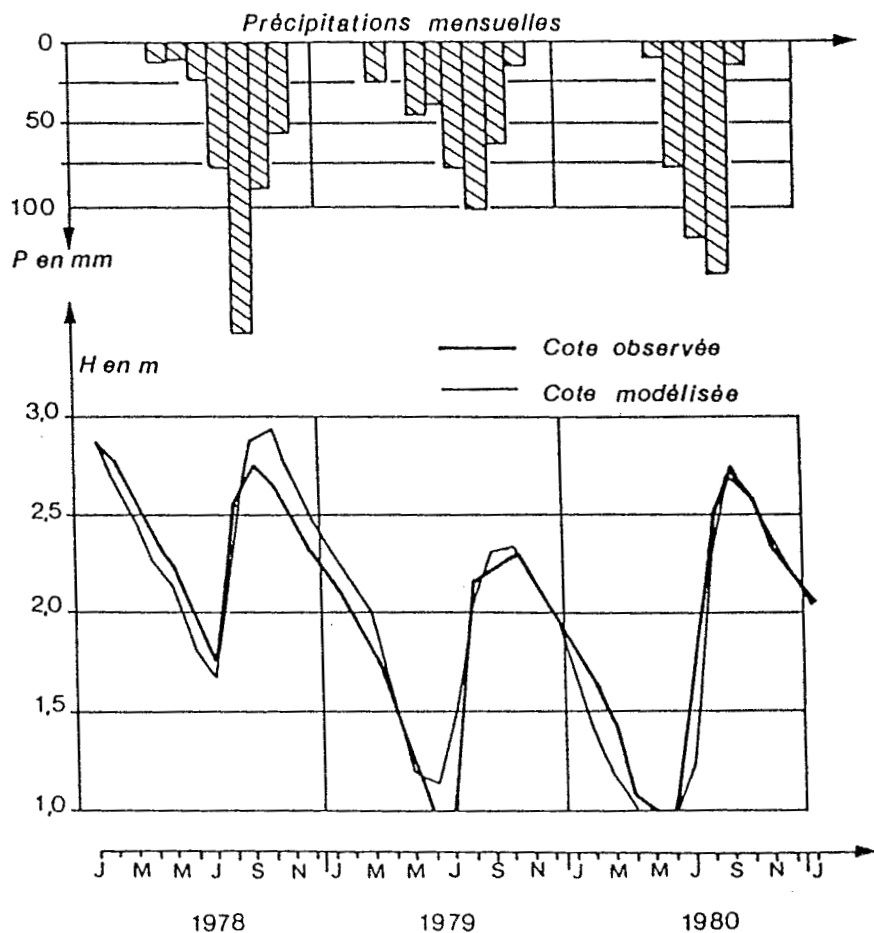


Fig. 3 Comparaison de l'observation et du résultat de la modélisation

du modèle.

3.3. Hiérarchisation des facteurs conditionnels du ruissellement

Les résultats acquis au cours de ces dix dernières années sous pluies simulées, le long d'un transect climatique allant de la forêt tropicale humide au Sahara, ont permis de mettre en évidence une hiérarchie des facteurs intervenant sur l'hydrodynamique superficielle (VALENTIN 1986).

. En zone de forêt tropicale

Les différents travaux (CASNAVE et al 1982, COLLINET

## HYDROLOGIE

1984) montrent l'influence prépondérante des organisations internes de la couverture pédologique sur les écoulements. La relative uniformité du couvert végétal et le faible développement des réorganisations pelliculaires en surface favorisent la pleine expression des propriétés hydrodynamiques internes sur le ruissellement. Celui-ci résulte, le plus souvent, de phénomènes d'engorgement à plus ou moins grande profondeur, d'où l'importance des zones de bas fonds, généralement complètement saturées en saison des pluies et d'où provient une grande partie du ruissellement du bassin.

### . En zone de savane humide

L'influence de la couverture pédologique reste sensible mais s'exprime surtout par l'intermédiaire des propriétés de l'horizon humifère et de la surface. On constate également que l'infiltrabilité dépend largement de l'importance du couvert herbacé (POSS, VALENTIN 1983). Cette zone est la plus complexe puisque l'infiltration dépend à la fois des organisations pédologiques internes et des états de surface qui sont sujets à des variations saisonnières importantes.

### . En zone de savane sèche

Dès 1979 COLLINET et LAFFORGUE montrent qu'il n'existe pas de relation nette entre l'aptitude au ruissellement et les organisations pédologiques internes. Par contre, les états de surface semblent déterminants pour l'hydrodynamique superficielle. Ces résultats ont été confirmés par les travaux de GIODA (1983), ALBERGEL et BERNARD (1984 a, 1984 b), PONTANIER et al (1986). L'analyse des résultats acquis sur 48 parcelles testées au Burkina Faso est venue confirmer que le pourcentage de couverture végétale, associé à l'activité mésofaunique, est le principal facteur explicatif de l'infiltration sous végétation naturelle (ALBERGEL et al 1986). Une analyse similaire, non encore publiée, effectuée sur 83 parcelles de la zone sahélienne, montre que 3 variables (pourcentage de couvert végétal, activité faunique et réorganisations de surface) suffisent à expliquer significativement ( $R^2 = 0,84$ ) le coefficient d'infiltration mesuré sous pluie simulée.

### . En zone sahélienne

Les différents travaux (COLLINET et al 1980, CHEVALLIER 1982, CHEVALLIER-VALENTIN 1985, GATHELIER et al 1986, VALENTIN 1981 a) montrent que ce sont les caractères d'états de surface qui conditionnent l'hydrodynamique. Toutefois contrairement à la zone précédente ce sont les organisations pédologiques superficielles qui ont un rôle prépondérant, le couvert végétal étant beaucoup moins dense et beaucoup plus fugitif.

### . En zone subdésertique

Le couvert graminéen tend à disparaître et ce sont les seules réorganisations superficielles qui conditionnent le ruissellement (VALENTIN 1981 b, BRICQUET et al 1985).

L'ensemble de ces résultats est synthétisé dans le

## HYDROLOGIE

tableau ci-après où sont indiqués les facteurs principaux (\*\*) et importants (\*) qui régissent l'hydrodynamique, selon la zone climatique (VALENTIN 1986).

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

### IV - CONCLUSIONS

Les exemples développés dans cet article montrent que la technique des pluies simulées peut être utilisée pour résoudre de nombreux problèmes en hydrologie. Elle peut être non seulement un substitut des études classiques où elle s'avère souvent comme plus rapide et nettement moins onéreuse, mais surtout un complément aux études traditionnelles en permettant une analyse beaucoup plus fine des phénomènes. Elle devrait permettre, entre autres, d'isoler la participation de chaque zone contributive, de mieux cerner les processus de composition des écoulements sur un bassin.

Bien que nous n'ayons pas abordé ces aspects dans cet article, la simulation de pluie peut également servir de test à l'érodibilité des sols ou à l'étude de la recharge en eau des réserves hydriques du sol. Elle permet ainsi de classer les terres en vue d'une localisation optimale, dans le temps et l'espace, des spéculations en aridoculture.

La simulation de pluie nous paraît être un outil privilégié des recherches en vue de développement, tant ses applications hydrologiques, pédologiques ou agronomiques sont nombreuses et variées.

HYDROLOGIE

- BIBLIOGRAPHIE -

- ASSELIN (J), VALENTIN (C) - 1978 - Construction et mise au point d'un infiltromètre à aspersion .  
Cah. ORSTOM, ser. Hydrol., 15(4) pp 321-349.
- ALBERGEL (J), BERNARD (A) - 1984a - Calage du modèle simulateur. Prévision de la crue décennale sur le bassin de Binnde.  
ORSTOM Ouagadougou, 63 p.
- ALBERGEL (J), BERNARD (A) - 1984b - Etude des paramètres hydrodynamiques des sols sous pluies simulées. Estimation du ruissellement sur le bassin versant de Kazanga.  
ORSTOM Ouagadougou, 100p.
- ALBERGEL (J), RIBSTEIN (P), VALENTIN (C) - 1986 - L'infiltration : quels facteurs explicatifs ?  
ORSTOM Colloques et séminaires. Journées hydrologiques de l'ORSTOM à Montpellier 1985. pp25-48.
- ALBERGEL (J), CASENAVE (A), VALENTIN (C) - 1986 - Modélisation du ruissellement en zone soudano-sahélienne. Simulation de pluie et cartographie des états de surface.  
ORSTOM Colloques et séminaires. Journées hydrologiques de l'ORSTOM à Montpellier 1985, pp 75-89.
- CASENAVE (A) - 1982a - Le minisimulateur de pluie : conditions d'utilisation et principes de l'interprétation des mesures.  
Cah. ORSTOM, série Hydrol., 19(4), pp 207-227.
- CASENAVE (A) 1982b - Etude des crues décennales des petits bassins versants forestiers en Afrique tropicale.  
Cah. ORSTOM, série Hydrol., 19(4), pp 229-252.
- CASENAVE (A), CHEVALLIER (P), KONG (J.) - 1986 - Etude des crues décennales des petits bassins forestiers. Bassin du Leyou et de la Bibanga (Congo).  
ORSTOM Abidjan-Brazzaville, 25 p.
- CHEVALLIER (P) - 1982 - Simulation de pluie sur deux bassins sahéliens (Mare d'Oursi, Burkina-Faso).  
Cah. ORSTOM, Série Hydrol., 19(4), pp 253-297.
- CHEVALLIER (P), VALENTIN (C) - 1985 - Influence des micro-organisations pelliculaires superficielles sur l'infiltrabilité d'un type de sol sahélien.  
Bulletin du GFHN, N°17, pp 9-22.
- CHEVALLIER (P), CLAUDE (J.), POUYAUD (B), BERNARD (A) -1985- Pluies et crues au Sahel. Hydrologie de la Mare d'Oursi - Burkina Faso.  
Trav. et documents de l'ORSTOM N°190, Paris.
- CHEVALLIER (P) - 1986 - Simulation de pluie, télédétection, modélisation. Exemple de la Mare d'Oursi - Burkina Faso.  
ORSTOM Colloques et séminaires. Journées hydrologiques de l'ORSTOM à Montpellier, 1985, pp 90-104.

## HYDROLOGIE

- COLLINET (J) - 1984 - Hydrodynamique superficielle et érosion comparées de quelques sols ferrallitiques sur défriches forestières traditionnelles (Côte d'Ivoire) in : challenges in African Hydrology and water Resources. IASH Publ. N°144, pp 499-516.
- COLLINET (J), LAFFORGUE (A) - 1979 - Mesures de ruissellement et d'érosion sous pluies simulées pour quelques types de sols de Haute-Volta. ORSTOM Abidjan, 129 p.
- COLLINET (J), VALENTIN (C) - 1979 - Analyse des différents facteurs intervenant sur l'hydrodynamique superficielle. Nouvelles perspectives. Applications agronomiques. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., 17(4), pp 283-328.
- COLLINET (J), VALENTIN (C), ASSELINE (J), HOEPPFNER (M), HARANG (P), PEPIN (Y) - 1980 - Ruissellement, infiltration et érosion en zones sahéliennes et subdésertiques. Bassin versant de Galmi et cuvette d'Agadez. ORSTOM Abidjan, 38p.
- GATHELIER (R), GIODA (A) - 1986 - Etude des relations pluies-débits à l'aide d'un simulateur de pluie sur un petit bassin sahélien (Kountkouzout, Niger). ORSTOM Niamey, 48p.
- GIODA (A) - 1983 - Etude du rapport pluie-débit sur un petit bassin de savane à l'aide d'un infiltromètre à aspersion (Korhogo-Côte d'Ivoire). ORSTOM Abidjan, 84 p.
- GIRARD (G), LEDOUX (E), VILLENEUVE (J.P.) - 1981 - Le modèle couplé. Simulation conjointe des écoulements de surface et des écoulements souterrains dans un système hydrologique. Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., 18(4), pp 195-280.
- LOINTIER (M), LORTIC (B) - 1984 - Mare d'Oursi. Traitement numérique de la vue LANDSAT du 4 février 1976. ORSTOM Cayenne.
- PONTANIER (R), MOUKOURI-KUOH (H), SAYOL (R), SEYNI-BOUKAR (L) THEBE (B) - 1986 - Apport de l'infiltromètre à aspersion pour l'évaluation des ressources en sol des zones soudano-sahéliennes du Cameroun. ORSTOM Colloques et séminaires journées hydrol. de l'ORSTOM à Montpellier 1985, pp 165-189.
- POSS (R), VALENTIN (C) - 1983 - Structure et fonctionnement d'un système eau-sol-végétation : une toposéquence ferrallitique de savane (Katiola- Côte d'Ivoire). Cah. ORSTOM, sér. Pédol. 20(4), pp 341-360.
- RODIER (J.A.) - 1976 - Estimation des débits de crues décennales pour les petits bassins forestiers en Afrique tropicale. Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., 13(4), pp 243-267.
- VALENTIN (C) - 1981a - Esquisse au 1/25000 des différenciations morphostructurales de la surface des sols d'un petit bassin versant sahélien (Pola-



*HYDROLOGIE*

- ka-Oursi- Nord Haute-Volta).  
ORSTOM Abidjan, 11p.
- VALENTIN (C) - 1981b - Organisations pelliculaires: superficielles de quelques sols de région subdésertique (Agadez-Niger). Dynamique et conséquences sur l'économie en eau.  
Thèse 3ème Cycle. Université Paris VII, 229 p.
- VALENTIN (C) - 1986 - Différencier les milieux selon leur aptitude au ruissellement : une cartographie adaptée aux besoins hydrologiques.  
ORSTOM, Colloques et séminaires, journées hydrologiques de l'ORSTOM à Montpellier 1985, pp 50-74.