



INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE POUR LE DEVELOPPEMENT EN COOPERATION

CONSEIL GENERAL
DE LA GUADELOUPE

INSTITUT FRANCAIS
DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE POUR
LE DEVELOPPEMENT EN COOPERATION

--- * * * ---

COLLOQUE DES 18, 19 ET 20 AVRIL 1989

GESTION RATIONNELLE DES RESSOURCES NATURELLES
ET PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT : RECHERCHE - FORMATION

Fonctionnements hydrologiques élémentaires
Expérience acquise récemment par l'ORSTOM en Afrique de l'Ouest

par

Pierre Chevallier

Chargé de Recherches - Laboratoire d'hydrologie de Montpellier

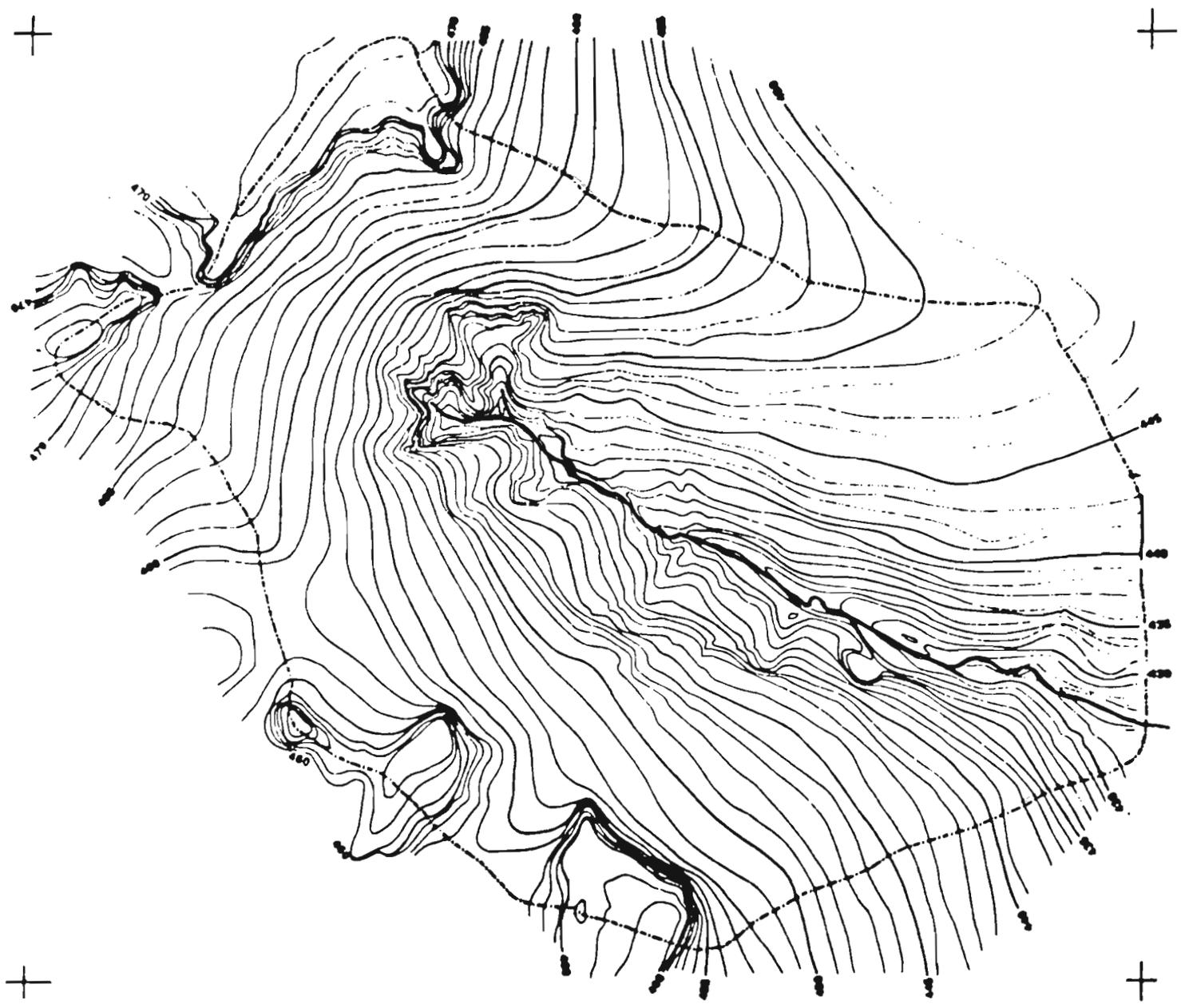
--- * * * ---

ORSTOM - BP 1020 - 97178 - POINTE A PITRE
TEL : (590) 82 05 49
TELEX : 919 231
TELECOPIE : (590) 91 73 94

Pointe à Pitre, avril 1989

BASSIN VERSANT DE BOORO-BOROTOU PRINCIPAL
Fond hypsométrique

T3



Niveauement Général de l'Agence de l'Ouest
Échelle des courbes : 1 m

Programme Hyperbor
© ORSTOM 1988

Fonctionnements hydrologiques élémentaires.

Expérience acquise récemment par l'ORSTOM en Afrique de l'Ouest

Pierre Chevallier¹

Introduction

Depuis une dizaine d'années une équipe d'hydrologues et de pédologues de l'ORSTOM travaillent en Afrique de l'Ouest pour tenter de caractériser les comportements hydrodynamiques des sols depuis la zone subdésertique jusqu'à la forêt dense. L'emploi d'outils nouveaux (simulateur de pluie, télédétection satellitaire, base de données géographiques, modèles numériques de terrain, modèles mathématiques pluie-débit) a permis d'identifier sur des petits bassins versants les fonctionnements hydrologiques en fonction des contraintes liées à l'action humaine.

Un document de compilation de ces résultats a été mis au point pour la zone sahélienne dans le cadre d'un contrat avec la Communauté Economique Européenne (Casenave et Valentin, 1988). On peut considérer qu'une grande partie des résultats exposés et pratiquement toutes les méthodes sont applicables de façon beaucoup large que dans la stricte région du Sahel Africain.

Nous nous proposons d'exposer de façon très sommaire ici la méthode d'étude, les outils employés et quelques conclusions obtenues dans cette étude des fonctionnements hydrologiques élémentaires.

1. Méthode : étude de bassins versants élémentaires

L'étude des différents termes du cycle de l'eau (précipitation, évaporation, écoulement, infiltration) est menée par la plupart des équipes de recherche à travers le monde sur de petits bassins versants considérés comme représentatifs du milieu étudié. Le terme représentatif se rapporte :

- au climat ;
- à la géologie ;
- au modelé (formes du relief) ;
- à l'occupation du sol (végétation naturelle, cultures, urbanisation)

La notion de bassin versant élémentaire

Le terme bassin versant (Roche, 1986) recouvre, d'une part, la notion topographique de zone limitée par une ligne de partage des eaux, et, d'autre part, la notion de surface d'interception des précipitations.

On entend par bassin versant élémentaire la plus petite unité (en surface) du paysage intégrant la totalité des processus simples du cycle de l'eau. Ce bassin élémentaire comporte en général des versants et un tributaire de premier ordre au réseau hydrographique (présentant sauf dans les régions très sèches un écoulement de base). On tente de faire en sorte sur le terrain étudié que les bassins topographiques et hydrologiques coïncident. La superficie de ces bassins élémentaires se situe entre quelques hectares et quelques dizaines de km².

Variabilité spatiale et problèmes d'échelle

Même sur de petites surfaces, la variabilité spatiale, d'une part, des paramètres décrivant le milieu naturel et, d'autre part, des précipitations, est très grande. Nous n'insisterons pas ici sur le second point déjà abordé par Morell (1989).

1. Chargé de Recherches, Laboratoire d'Hydrologie,
2051, avenue du Val de Montferrand,
B.P. 5045, 34032 Montpellier Cédex, France

Suivant le problème étudié, il faudra l'aborder en tenant compte avec une plus ou moins grande finesse de la variabilité spatiale du milieu. Prenons un exemple : si l'on étudie la façon dont le ruissellement superficiel se concentre sous une averse violente, il faudra tenir compte du micro-relief, des flaques dans les petites dépressions, des touffes d'herbes, des cailloux, etc... ; mais il est clair qu'il ne sera pas nécessaire d'analyser l'effet de ces éléments pour évaluer l'écoulement de la crue résultante à l'exutoire du bassin versant.

On parlera de problèmes d'échelle spatiale. C'est actuellement une des principale difficulté de la recherche dans le milieu naturel et, en particulier dans le cas du passage d'une échelle d'observation à une autre : de la micro-porosité d'une pellicule superficielle de sol à la parcelle expérimentale de quelques m², au versant ou au bassin dans son ensemble.

Variabilité temporelle et problèmes d'échelle

Il existe de même une variabilité dans le temps des phénomènes et du milieu. Et les problèmes d'échelle se posent d'une façon peut-être encore plus spectaculaire que dans l'espace :

- quelques secondes à quelques minutes pour l'intensité des averses et leur énergie cinétique ;
- un cycle journalier pour l'évapotranspiration ;
- un cycle saisonnier pour l'évolution du couvert végétal, le travail du sol, ou les modifications dues à la faune du sol ;
- un cycle de quelques années, voire dizaines d'années pour la variabilité climatique ou les aménagements liés à l'activité humaine ;
- un cycle supérieur à plusieurs milliers, voire millions, d'années pour la variabilité morphologique.

La notion de bilan hydrologique

Pour bien comprendre les phénomènes mis en jeu et le fonctionnement hydrologique d'un bassin versant, il est primordial d'établir un bilan qui doit équilibrer la quantité d'eau qui entre dans le bassin (sous forme de précipitations ou d'apports souterrains), et celle qui en sort (sous forme d'évapotranspiration, d'écoulement à l'exutoire, ou d'écoulement souterrain). Ce bilan est établi pour une durée donnée et fait donc intervenir les problèmes d'échelle dans le temps.

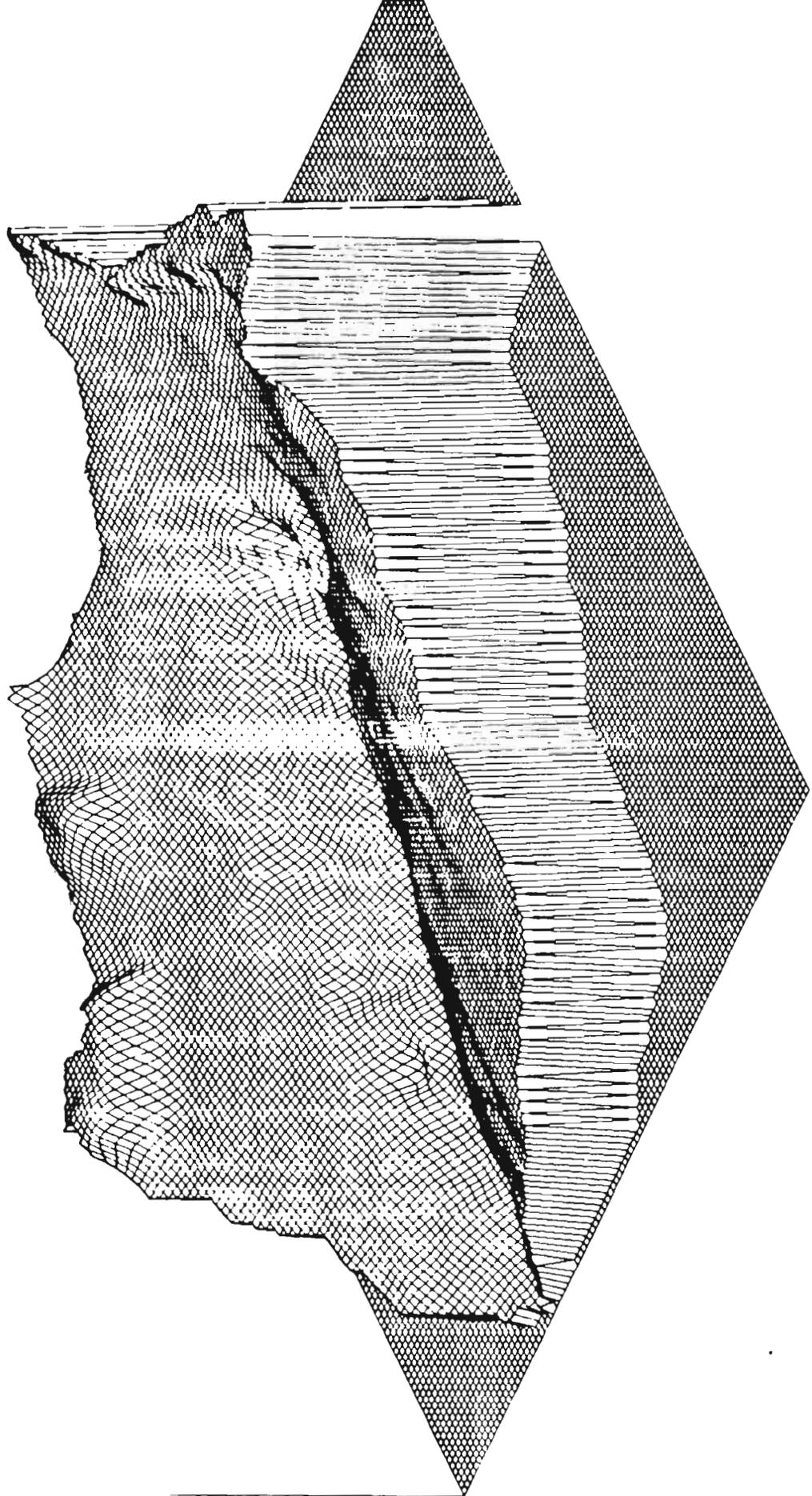
2. Outils

La simulation de pluies

Elle est réalisée avec un appareil dérivé d'un modèle américain et mis au point par l'ORSTOM (Asseline et Valentin, 1977). Le dispositif permet de reproduire des averses sur une parcelle de sol de 1 m² délimitée par un cadre métallique, en respectant les conditions naturelles de dimension et d'énergie cinétique des gouttes de pluie. Les intensités sont parfaitement reproductibles par paliers constants compris entre 30 et 150 mm/h, réglables sans interruption de l'arrosage. L'enregistrement en continu par un limnigraphe de grande précision du volume ruisselé sur la parcelle permet d'obtenir les principaux paramètres du comportement hydrodynamique de la parcelle.

La représentation géographique

Pour représenter la variabilité spatiale du milieu (Chevallier, 1988 ; Planchon, 1989), on fait généralement appel à des cartes thématiques établies avec la plus grande précision possible. Elles sont le plus souvent établies manuellement sur le terrain ou par photo-interprétation, mais on utilise parfois l'imagerie satellitaire (Landsat ou Spot) qui permet par traitement numérique de la réponse spectrale, d'isoler un thème ou un groupe de thèmes. Ces cartes thématiques se présentent sous forme de zonages ; de nouveaux outils informatiques permettent de les archiver et de les confronter ou de les superposer (par exemple le logiciel américain Arcinfo). La carte des altitudes (donc du relief) revêt une importance particulière. Se présentant généralement sous forme de courbes de niveau, on en déduit par interpolation une représentation informatique sous forme de grille régulière (à chaque noeud de la grille est affectée une altitude). Le résultat est appelé Modèle Numérique de Terrain et constitue un outil de calcul extrêmement utile.



Altitudes (m)
425 445 465

MNT Booro-Borotou (pas de 12,5 m)

Les modèles mathématiques pluies-débits

Les modèles mathématiques pluies-débits consistent à représenter la relation entre la précipitation et le débit qui en résulte, sous forme d'un ensemble d'algorithmes de calcul de complexité variable.

L'application de modèles aux observations et aux expérimentations hydrologiques sur de petits bassins versants est le complément logique et nécessaire à l'interprétation de leur fonctionnement.

Un modèle est :

- déterministe (par opposition à stochastique), lorsque les variables employées ne sont pas aléatoires ;
- conceptuel (par opposition à empirique), si les algorithmes qui constituent le modèle s'essayeront à représenter de façon plus ou moins précise les phénomènes physiques que l'on cherche à décrire ;
- global, si la modélisation concerne l'entité géographique complète étudiée, sans modulation selon les particularités locales ;
- distribué (par opposition à global), si le modèle résulte de la composition de fonctions ponctuelles ou locales pour l'obtention d'un résultat concernant l'entité géographique totale.

3. Résultat : les facteurs conditionnels des fonctionnements hydrologiques élémentaires en Afrique de l'Ouest (d'après Valentin, 1986)

La forêt tropicale

Pluviométrie annuelle : supérieure à 1 600 mm.

Casenave et al. (1982), et Collinet (1984) montrent l'influence prépondérante des organisations internes de la couverture pédologique sur l'infiltration. La relative uniformité du couvert végétal et le faible développement des réorganisations pelliculaires en surface favorisent la pleine expression des propriétés hydrodynamiques internes sur l'infiltration.

La savane humide

Pluviométrie annuelle : comprise entre 800 mm et 1 600 mm

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 et Valentin, 1983). Cette zone est la plus complexe puisque l'infiltration y dépend à la fois des organisations pédologiques internes et des états de surface, lesquels sont sujets à des variations saisonnières importantes (Planchon et al., 1987 ; Chevallier, 1988).

La savane sèche

Pluviométrie annuelle : comprise entre 400 mm et 800 mm

Dès 1989, Collinet et Lafforgue montrent qu'il n'existe pas de relation nette entre l'aptitude au ruissellement et les organisations pédologiques internes. En revanche les états de surface semblent déterminants pour l'hydrodynamique superficielle. Albergel et al. (1986) confirment que le pourcentage de couverture végétale, auquel est liée l'activité mésofaunique, est le principal facteur explicatif de l'infiltration.

La zone sahélienne

Pluviométrie annuelle : comprise entre 200 mm et 400 mm

Les différents travaux montrent que ce sont les caractères d'état de surface qui conditionnent l'hydrodynamique (Collinet et al., 1980, Chevallier, 1982 ; Chevallier et Valentin, 1984 ; Gathelier et al., 1987). Toutefois, contrairement à la zone précédente, ce sont les organisations pédologiques superficielles qui ont le rôle prépondérant, le couvert végétal étant moins dense et beaucoup plus fugace.

La zone subdésertique

Pluviométrie annuelle : inférieure à 200 mm

Sous ces climats très arides, le couvert graminéen tend à se réduire dans l'espace et à n'occuper que peu de temps dans l'année une part limitée de la surface du sol. Ce sont les seules réorganisations superficielles qui conditionnent l'infiltrabilité (Valentin, 1981 ; Bricquet et al., 1987).

Conclusion : influence de l'homme sur les comportements hydrologiques

L'influence de l'homme se manifeste de multiples manières dans le milieu naturel. Certaines de ces influences sont indirectes et difficilement mesurables directement sur le terrain à l'échelle de nos fonctionnements hydrologiques élémentaires ; on a par exemple beaucoup parlé ces derniers temps des conséquences sur le climat mondial du défrichage à grande échelle de la forêt amazonienne où des atteintes portées à la couche d'ozone de l'atmosphère.

Cependant il est facile de se représenter à partir des résultats décrits dans le paragraphe précédent que des changements profonds sur la végétation, sur les organisations de surface ou sur les couvertures pédologiques ont des conséquences immédiates sur le bilan hydrologique.

Prenons l'exemple d'une zone cultivée de savane humide (cas le plus complexe) :

- après défrichage et avant tout travail du sol, des organisations pelliculaires peuvent apparaître favorisant un ruissellement de surface important ;
- le travail du sol, puis la couverture végétale, au contraire favoriseront une infiltration plus ou moins profonde ;
- mais la remontée des nappes accélérée par cette infiltration est à son tour susceptible de saturer les sols près de la surface et de créer à nouveau du ruissellement.

Tous les agriculteurs ou les aménagistes ruraux connaissent ces problèmes. La question est de les contrôler et, surtout, de savoir évaluer les risques (positifs ou négatifs) en fonction du milieu physique sur lequel on intervient.

Références bibliographiques

- Albergel J. Ribstein P., Valentin C., 1986. L'infiltration : quels facteurs explicatifs. Analyse des résultats acquis sur 48 parcelles soumises à des simulations de pluies au Burkina Faso. Premières Journées hydrologiques de l'ORSTOM à Montpellier. ORSTOM, Colloques et Séminaires, pp 25-48.
- Asseline J., Valentin C., 1978, Construction et mise au point d'un infiltromètre à aspersion. Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., XV, 4:321-349.
- Bricquet J.P., Casenave A., Delfieu J.M., Gathelier R., 1987. Etude du rapport pluie-débit sous pluies simulées. Estimation du ruissellement sur le bassin d'Agassaghas. Multigr. ORSTOM Niamey
- Casenave A., Guiguen N., Simon J.M., 1982. Etude des crues décennales des petits bassins versants forestiers en Afrique tropicale. Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., XIX, 4:229-252.
- Casenave A., Valentin C., 1988. Les états de surface de la zone sahéenne. Influence sur l'infiltration. ORSTOM, CEE, 202 p. + ann. + photos couleurs.
- Chevallier P., 1982. Simulation de pluies sur deux bassins versants sahéens (Mare d'Oursi, Haute-Volta). Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., XIX, 4:253-297.
- Chevallier P., 1988. Complexité hydrologique du petit bassin versant. Exemple en savane humide : Booro-Borotou (Côte d'Ivoire). Thèse USTL Montpellier, 332 p. + cartes.
- Chevallier P., Valentin C., 1984. Influence des micro-organisations pelliculaires superficielles sur l'infiltrabilité d'un type de sol sahéen. Bull. du GFHN, 17:9-22.
- Collinet J., 1984. Hydrodynamique superficielle et érosion comparée de quelques sols ferrallitiques sur défriches forestières traditionnelles (Côte d'Ivoire). Challenges in African Hydrology and Water Resources, IAHS, Publ. 144:499-516.
- Collinet J., Lafforgue A., 1979. Mesures du ruissellement et de l'érosion sous pluies simulées pour quelques types de sols de Haute-Volta. Multigr. ORSTOM, Abidjan, 129 p. + fig.
- Collinet J., Valentin C., Asseline J., Chevallier P., Sicot M., 1980. Ruissellement, infiltration et érosion en zones sahéennes et sub désertiques. Rapport de terrain sur la première opération "Mare d'Oursi". Multigr. ORSTOM, Abidjan, 14 p.
- Gathelier R., Casenave A., Bricquet J.P., Delfieu (J.M.), 1987. Etude des relations pluies-débits à l'aide d'un simulateur de pluies sur un petit bassin sahéen (Banigorou, Niger). Multigr. ORSTOM, Niamey, 26 p.
- Planchon O., 1989. Relief, paysages et formes d'érosion : leur importance dans les fonctionnements d'un bassin versant de savane humide. Thèse USTL Montpellier. A paraître.
- Planchon O., Fritsch E., Valentin C., 1987. Rill development in a wet savanah environment. CATENA Supl., 8 : 55-70
- Roche M. F., 1986. Dictionnaire français d'hydrologie de surface. Masson, 288 p.
- Valentin C., 1981. Organisations pelliculaires superficielles de quelques sols de région subdésertiques (Agadez, Niger). Dynamique et conséquences sur l'économie en eau. Thèse 3ème cycle, Univ. Paris VII. Etudes et Theses, ORSTOM, 259 p.
- Valentin C., 1986. Différencier les milieux selon leur aptitude au ruissellement : une cartographie adaptée aux besoins hydrologiques. Premières Journées hydrologiques de l'ORSTOM à Montpellier. ORSTOM, Colloques et Séminaires, pp 50-74.

Elementary hydrologic mechanisms

ORSTOM recent experience in West Africa

Pierre Chevallier¹

Introduction

For 10 years a group of ORSTOM hydrologists and soil scientists have been working in West Africa trying to characterize hydrodynamic behaviour of the soils from the subdesert area to the dense forest. The use of new tools (rainfall simulator, remote sensing, geographical data base, digital terrain models, rainfall-runoff mathematical models) has permitted to identify the hydrological processes depending on constraints linked to human action on small catchments.

A document of compilation for these results was achieved for the sahel area within the framework of a contract with the European Economic Community (Casenave and Valentin, 1988). We can consider that an important part of the exposed results and most of the methods can apply to a other areas outside the strict African Sahel region.

We intend to expose briefly here the study methods, the tools used and several conclusions obtained from this approach of the elementary hydrological processes.

1. Method : study of elementary catchments

The study of the different water cycle terms (rainfall, evapotranspiration, runoff, infiltration) is done by most of the research teams around the world on small catchments considered as representing the studied area. The word *representativ* take into account :

- climate ;
- geology ;
- topography ;
- soil occupation (natural vegetation, cultivation, urbanization) ;

Notion of elementary catchments

The word *catchment* (Roche, 1986) covers on one side the topographic notion of an area limited by a line of water division, and on the other side, the notion of interception surface of rainfalls.

The elementary catchment is the smallest unit (in terms of surface) in the scenery containing the totality of simple process of water cycle. Generally this catchment includes hillslopes and a first rate flow for the drainage pattern (showing a base flow except for very dry regions). On the field we try to connect topographic and hydrologic catchments. The surface of these elementary catchments goes from some hectares to around 10 km².

Spatial variability and scale problems

Even on small surfaces, a very large spatial variability is observed for the parameters describing the natural environment and the precipitations. We will not insist on the second point which has already been developed by M. Morell (1989).

According to the studied problem, it is necessary to start knowing that we deal with a more or less five spatial variability of the environment. For instance : if we study the manner the surface runoff concentrates under violent showers, we will have to take into account the microrelief, small ponds, bushes, stones, etc... ; but it is

1. Chargé de Recherches, Laboratoire d'Hydrologie,
2051, avenue du Val de Montferland,
B.P. 5045, 34032 Montpellier Cédex, France

obvious that we will not have to analyse the effect of these elements to predict the resulting flood released on the catchment.

It is a problem of *spatial scale*. Today it is one of the main difficulty for research in the natural environment and, particularly in the case of a the change from an observation scale to the next : from the micro-porosity of surface thin layer of the soil to the experimental plot measuring a few m^2 , to the slope or to the catchment in its whole.

Time variability and scale problems

A variability in time of phenomena and environment also appears. The scale problems may be even more spectacular than in space.

- from some seconds to a few minutes for the rainfall intensity and their kinetic energy ;
- a daily cycle for evapotranspiration ;
- a seasonal cycle for the plant evolution, soil transformation, or modifications due to the soil fauna ;
- a cycle on many years for the climatic variability or transformations linked to human activities ;
- a cycle longer than thousands or even millions of years for the morphologic variability.

Notion of water balance

In order to understand the phenomena used and the hydrological processes of a catchment, it is of first importance to establish a result that has to balance the quantity of water which enter the catchment (coming from precipitation or groundwater), and the quantity which comes out of it (such as evapotranspiration, outlet flow, groundwater flow). This result is established for a specific duration and therefore the problems of time scale interfere.

2. Tools

Rainfall simulation

It is done with machine derived from an american model and made by ORSTOM (Asseline and Valentin, 1977). The device helps to reproduce rainfalls on a $1 m^2$ plot delimited by a metallic frame, respecting the natural conditions for dimension and kinetic energy of raindrops. Intensities can be perfectly reproduced by constant stages going from 30 to 150 mm/h, adjustable without interrupting the rainfall. The continuous recording is done by a gauge of high precision for the flow volume on the parcel permits to obtain the main parameters of the hydrodynamic behaviour of the plot.

Geographic representation

In order to represent the spatial variability of the environment (Chevallier, 1988 ; Planchon, 1989), we mainly use thematic list established with the highest precision possible. There are made manually on the field or through photo-interpretation, but we can also use imagery by satellite (Landsat or Spot) which allows numerical processing of the spectral response to isolate a theme or a group of themes. These thematic lists show zonings ; new programs allow to archive, compare and pile them (for instance the Arcinfo american program). The elevation map has a special importance. Usually it shows contours ; then we can deduct from it and through interpolation (like spline fonction) a computer representation indicating a regular grid (at each cross an altitude is represented). The result is called *digital terrain model* (DTM) and constitute a computation tool extremely useful.

The mathematical rainfall-runoff models;

The mathematic rainfall-runoff models contribute to representing the relation between rainfall and its resulted discharges using algorithms of a variable complexity.

The application of models to hydrologic observations and experimentations on small catchments is the logical and necessary complement for the interpretation of their functioning.

A model is :

- *determinist* (as opposed to *stochastic*), when the variables used are not uncertain.
- *conceptual* (as opposed to *empiric*), if algorithms which constitute the model try at representing more or less precisely the physical phenomena we attempt to describe.
- *lumped*, if modelisation concerns the complete geographic entity studied, without any modulation according to local particularities.
- *distributed* (as opposed to *lumped*), if the model results from the composition of local or punctual functions to obtain a results concerning the total geographical entity.

3. Result : conditional factors of elementary hydrologic processes in West Africa (according to Valentin, 1986)

The tropical forest

Annual rainfall : above 1600 mm

Casenave and *al.* (1982) and Collinet (1984) show the dominating influence of internal organisations of soil on infiltration. The relative uniformity of the vegetal cover and the slow development of surface layer reorganisation favours the full expression of internal hydrodynamic properties on infiltration.

The humid savannah

Annual rainfall : from 800 mm to 1600 mm

The influence of soil remains sensitive, but mainly expresses it self through properties of the first horizon and of the surface. We also notice that infiltration mainly depends on the importance of herbaceous cover (Poss and Valentin, 1983). This area is the most complex since infiltration both depends of internal soil organisations and surface features, which are subjects to important seasonal variations (Planchon and *al.*, 1987, Chevallier, 1988).

The dry savannah

Annual rainfall : from 400 mm to 800 mm

In 1979 Collinet and Lafforgue show that no clear relation exists between the surface runoff aptitude and the internal soil organisations. It owever the surface features seem to be determinant to superficial hydrodynamics. Albergel *et al.* (1986) confirm that the percentage of vegetal cover, to which is linked the mesofauna activities, is the main explicative factor of infiltration.

The sahel area

Annual rainfall : from 200 mm to 400 mm

The various works show that hydrodynamics are conditioned by the characteristics of surface features (Collinet *et al.*, 1980, Chevallier, 1982 ; Chevallier and Valentin, 1984 ; Gathelier *et al.*, 1987). However as opposed to the previous area the superficial organisations have the dominating role, the vegetal cover being less dense and much more fleeting.

The subdesert area

Annual rainfall : below 200 mm

Under the influence of such arid climates, the grass cover tends to reduce it self in space and for a short time in a year only occupies a limited part of the ground surface. There are the only superficial reorganisations which condition possible infiltration (Valentin, 1981 ; Bricquet *et al.*, 1987).

Conclusion : men's influence on hydrological processes

Men's influence shows itself in various manners in a natural environment. Some influences are indirect and we can hardly measure them on the field at the scale of our elementary hydrological processes; for exemple for the last few weeks the medias have talked much about the consequences on the world climate coming from the large clearing of the Amazon forest, and also about the partial destruction of the ozone layer of the atmosphere.

However we can easily imagine from the described results in the previous paragraph that deep changes on vegetation, on surface organisations or on soil covers have immediate consequences on the water balance.

We take the exemple of a farming area in the humid savannah (the most complex case) :

- after clearing and before any farming, thin layer organisations can appear favouring an important surface runoff ;
- farming, then vegetal cover on the contrary will favour a more or less deep infiltration ;
- but the rise of ground water accelerated by this infiltration is now susceptible to soils saturation near the surface and to creation of new surface runoff.

All farmers or rural administrators are aware of these problems. The question is to control them and especially to predict the risks (positive or negative) according to the physical environment we work on.

References

- Albergel J., Ribstein P., Valentin C., 1986. L'infiltration : quels facteurs explicatifs. Analyse des résultats acquis sur 48 parcelles soumises à des simulations de pluies au Burkina Faso. Premières Journées hydrologiques de l'ORSTOM à Montpellier. ORSTOM, Colloques et Séminaires, pp 25-48.
- Asseline J., Valentin C., 1978, Construction et mise au point d'un infiltromètre à aspersion. Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., XV, 4:321-349.
- Bricquet J.P., Casenave A., Delfieu J.M., Gathelier R., 1987. Etude du rapport pluie-débit sous pluies simulées. Estimation du ruissellement sur le bassin d'Agassaghas. Multigr. ORSTOM Niamey
- Casenave A., Guiguen N., Simon J.M., 1982. Etude des crues décennales des petits bassins versants forestiers en Afrique tropicale. Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., XIX, 4:229-252.
- Casenave A., Valentin C., 1988. Les états de surface de la zone sahéenne. Influence sur l'infiltration. ORSTOM, CEE, 202 p. + ann. + photos couleurs.
- Chevallier P., 1982. Simulation de pluies sur deux bassins versants sahéens (Mare d'Oursi, Haute-Volta). Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., XIX, 4:253-297.
- Chevallier P., 1988. Complexité hydrologique du petit bassin versant. Exemple en savane humide : Booro-Borotou (Côte d'Ivoire). Thèse USTL Montpellier, 332 p. + cartes.
- Chevallier P., Valentin C., 1984. Influence des micro-organisations pelliculaires superficielles sur l'infiltrabilité d'un type de sol sahéen. Bull. du GFHN, 17:9-22.
- Collinet J., 1984. Hydrodynamique superficielle et érosion comparée de quelques sols ferrallitiques sur défriches forestières traditionnelles (Côte d'Ivoire). Challenges in African Hydrology and Water Ressources, IAHS, Publ. 144:499-516.
- Collinet J., Lafforgue A., 1979. Mesures du ruissellement et de l'érosion sous pluies simulées pour quelques types de sols de Haute-Volta. Multigr. ORSTOM, Abidjan, 129 p. + fig.

- Collinet J., Valentin C., Asseline J., Chevallier P., Sicot M., 1980. Ruissellement, infiltration et érosion en zones sahéliennes et sub désertiques. Rapport de terrain sur la première opération "Mare d'Oursi". Multigr. ORSTOM, Abidjan, 14 p.
- Gathelier R., Casenave A., Bricquet J.P., Delfieu (J.M.), 1987. Etude des relations pluies-débits à l'aide d'un simulateur de pluies sur un petit bassin sahélien (Banigorou, Niger). Multigr. ORSTOM, Niamey, 26 p.
- Planchon O., 1989. Relief, paysages et formes d'érosion : leur importance dans les fonctionnements d'un bassin versant de savane humide. Thèse USTL Montpellier. A paraître.
- Planchon O., Fritsch E., Valentin C., 1987. Rill development in a wet savannah environment. CATENA Supl., 8 : 55-70
- Roche M. F., 1986. Dictionnaire français d'hydrologie de surface. Masson, 288 p.
- Valentin C., 1981. Organisations pelliculaires superficielles de quelques sols de région subdésertiques (Agadez, Niger). Dynamique et conséquences sur l'économie en eau. Thèse 3ème cycle, Univ. Paris VII. Etudes et Theses, ORSTOM, 259 p.
- Valentin C., 1986. Différencier les milieux selon leur aptitude au ruissellement : une cartographie adaptée aux besoins hydrologiques. Premières Journées hydrologiques de l'ORSTOM à Montpellier. ORSTOM, Colloques et Séminaires, pp 50-74.