

## **Les bassins versants de recherche tropicaux: historique des études menées par l'Orstom**

**P. CHEVALLIER**

*Orstom, Département des Eaux Continentales, 911, avenue Agropolis,  
F-34032 Montpellier Cedex, France*

**J. RODIER**

**Résumé** Près de 350 petits bassins versants ont été étudiés par les hydrologues de l'Orstom depuis le tout début des années 1950 dans la zone intertropicale. Les premières recherches ont surtout été orientées vers le développement et dès 1965, Rodier & Auvray proposaient des abaques permettant de calculer des caractéristiques de projets pour des petits bassins versants de l'Afrique tropicale. A partir des années 1970, la préoccupation de l'évaluation des « bilans hydrologiques » est devenue importante avec l'apparition des premiers modèles mathématiques qui permettaient d'exploiter des jeux de données de plus en plus complets et de qualité qui s'améliorait. Avec l'étude du bassin versant de Korhogo (Côte d'Ivoire, 1962-1972), l'intervention d'équipes de recherche multidisciplinaires a démontré sa richesse scientifique et, progressivement, l'identification des processus qui régissent les « chemins de l'eau » est devenue un objectif prioritaire. Parallèlement, on a pris conscience de l'importance des déséquilibres provoqués dans les régimes hydriques par l'intervention soudainement accrue de l'action humaine sur un milieu tropical fragilisé par des périodes de sécheresse prononcée. Enfin, l'émergence dans les années 1980 de préoccupations environnementalistes à l'échelle planétaire, la perspective alarmante de « changements climatiques » diagnostiqués par les atmosphériciens et la généralisation de moyens puissants d'acquisition et de traitement des données a favorisé la mise en place de très grandes expériences, elles-aussi utilisant largement les petits bassins versants de recherche, destinées à paramétriser la contribution hydrique tropicale dans les modèles planétaires de circulation atmosphérique. En moins de quatre décades, l'étude des petits bassins versants tropicaux est ainsi passée du rang de *technique statistique* à celui d'une *géoscience*.

### **Tropical research basins: a history of the Orstom studies**

**Abstract** About 350 small representative basins were studied by Orstom hydrologists during the early 1950s in the intertropical area. The first research was mainly oriented to development, but in 1965 Rodier & Auvray put forward graphs permitting the calculation of the design characteristics for small basins in tropical Africa. In the 1970s, evaluating the « water balance » became important with the appearance of the first mathematical models allowing the management of data sets

which were more and more complete and of better quality. With the study of the representative basin of Korhogo (Ivory Coast, 1962-1972) and the intervention of multidisciplinary research teams demonstrating its scientific value, progressively the objective became the identification of the processes managing the « water pathways ». Concurrently, consciousness of the impact of human activities on the hydrological regime due to human intervention was growing, particularly because of the differences caused by severe drought periods. Finally, the emergence of « climate change » diagnosed by atmospheric scientists and the generalization of powerful data acquisition and management methods favoured the setting up of broad scenarios using the small representative research basins to parameterize the tropical water contribution to global atmospheric circulation models. In less than four decades, the study of small tropical representative basins has risen from the status of a statistical technique to a geoscience.

## INTRODUCTION

L'étude des petits bassins versants tropicaux a été une importante activité scientifique des hydrologues de l'Orstom depuis plusieurs décades. Dans les années 1970, lorsque j'ai été recruté à l'Orstom, le seul document scientifique d'information générale que le Comité Technique d'Hydrologie distribuait aux candidats hydrologues était une plaquette expliquant que la *méthode hydrologique orstomienne* passait par l'étude d'un grand nombre de petits bassins versants, *représentatifs* des conditions de milieu et de climat les plus exhaustives possible. C'était la meilleure approche de la compréhension des mécanismes du cycle de l'eau continental dans les régions tropicales.

Jean Rodier y a consacré une large partie de sa carrière. Début 1989, il m'avait écrit une très longue lettre en réponse aux critiques, sans doute un peu rapides et exagérées, que j'avais exprimées dans ma thèse (Chevallier, 1988) contre *cette méthode hydrologique orstomienne* qui me semblait accorder trop d'importance à l'approche statistique et pas assez à la description des mécanismes. Ce texte, que je lui avais demandé de remanier un peu, a finalement été publié en postface (Rodier, 1990) à l'édition définitive de ma thèse. La présente communication en reprend certains traits et c'est pour cette raison que j'associe Jean Rodier à ma présentation en espérant ne pas trop trahir sa pensée. Les textes entre guillemets et en italiques sont de sa plume et extraits de ses travaux.

## LES ORIGINES ET LA CRUE DECENNALE

Les premiers résultats d'observation sur des petits bassins versants de l'Orstom ont été publiés dans quatre articles contenu dans l'Annuaire Hydrologique de la France d'Outre-Mer de l'année 1953 (Rodier, 1955; Dubreuil, 1955; Tixier, 1955; Service Hydrologique de l'AEF, 1955). Ces articles portent sur les bassins versants du Bouloré (Cameroun), de Ngola (Centre-afrique) et de Brazzaville (Congo) observés dès 1952 et sérieusement équipés à partir de 1953.

En 1958 lors de l'assemblée générale de l'Association Internationale des Sciences Hydrologiques à Toronto, Jean Rodier présentait une première synthèse intitulée: « Emploi systématique des bassins versants élémentaires pour les études hydrologiques dans les territoires sous-développés ». A cette époque une vingtaine de bassins situés dans les pays de l'AOF, de l'AEF, du Cameroun et de Madagascar étaient étudiés. L'objectif avoué de ces études était:

*« d'obtenir des renseignements précis sur les crues d'ordre décennal, des recoupements précieux pour les crues de fréquence plus rare et des données très nombreuses sur des questions mal connues dans ces régions telles que: influence de la couverture végétale ou de l'extension des terres cultivées, variation du ruissellement suivant la nature du sol, décroissance du ruissellement au cours de la saison des pluies, ordre de grandeur des transports solides et de l'évapo-transpiration, alimentation des nappes souterraines » (Rodier, 1958; Fig. 1).*

On le voit: les grandes lignes de l'hydrologie physique moderne étaient déjà tracées.

Les difficultés d'équipement, de mesures et de traitement de la donnée étaient cependant très grandes.

*Crues Décennales sur Quelques Bassins Types d'A.O.F. (Superficie 25-50 km<sup>2</sup>)*

Régime Hydrologique	Pente	Sous-Sol	Sol	Végétation	Préci. an. mm	Crue déc. l/sec/km <sup>2</sup>
Sahélien	assez forte	grès imperméable	pratiquement inexistant	clairsemée	600	8 à 10.000
Sahélien	forte	grès ferrugineux	argileux imperméable	clairsemée culture	500	7 à 8.000
Sahélien (1)	assez forte	grès ferrugineux	m. terrain + latérite	clairsemée	500	4.000
Sahélien	faible	granitique	argileux très imperméable	graminées	450	1.600 à 1.700
Sahélien	assez forte	granitique	légèrement perméable	clairsemée	450	1.500
Tropical (2)	très forte	andésite	imperméable	clairsemée	800	8 à 10.000
Tropical	forte	grès imperméable	latéritique très perméable	savane claire	1.000	1.500 à 1.800
Tropical transition	modérée	gneiss	latérite assez perméable	savane claire	1.350	300 à 400
Tropical transition	forte	quartzite	perméable sablonneux	savane boisée assez dense	1.600	400 à 500
Tropical transition	forte	grès	perméabilité moyenne	savane boisée	2.100	2.000
Equatorial	modérée	granito-gneiss	assez perméable	forêt	1.300	400 à 600
Equatorial	assez forte	sable	imperméable (3)	citée africaine	1.500	4 à 6.000

(1) Bassin mixte constitué en partie par des terrains du type précédent.

(2) Tendances sahéliennes.

(3) Sable argileux damé par piétinement.

**Fig. 1** Fac-similé d'un tableau synthétique au symposium de Toronto (Rodier, 1958).

Sous la pression des services de la France d'Outre-Mer, puis des jeunes états indépendants, qui avaient un besoin urgent et colossal d'informations pour les aménagements hydrauliques et le développement de leurs territoires, la technique du petit bassin versant s'est généralisée sur près de 300 sites différents.

Mais en quoi consistait cette technique? Rodier (1990) écrit:

*« Pour l'aménagement des ressources en eau, on peut retenir quatre caractéristiques hydrologiques: le débit moyen annuel et sa distribution temporelle, les fortes crues, le débit minimum quand il y en a un et les transports solides susceptibles de combler le réservoir. Les caractéristiques les plus difficiles à bien estimer sont celles concernant les fortes crues et, pour diverses raisons, on avait caractérisé ces crues par le débit dont la fréquence au dépassement aurait été de 0,1.*

*Le bilan hydrologique nous intéressait peu, car l'étude de l'évapotranspiration réelle posait de gros problèmes.*

*Pourquoi avoir attribué le qualificatif de statistique (à cette méthode)? Si c'est au sens strict, il faut une population suffisante donc suffisamment de couples pluies-débits, ce qui n'était pas le cas. Pour la fonction de production, il a fallu attendre que Roche ose employer la méthode des résidus, et encore, nous le trouvions bien hardi.*

*Il n'y a pas de vraie statistique ici. Tout ceci faisait largement appel au jugement et à l'expérience de l'hydrologue: cela ne nous choque pas ».*

En 1965, paraît la fameuse note Orstom-CIEH sur l'« estimation des débits de crues décennales pour les bassins versants de superficie inférieure à 200 km<sup>2</sup> » (Rodier & Auvray, 1965). Ce document, qui sera réimprimé en 1972, est la version aboutie d'une première présentation faite par Claude Auvray à la conférence de Monrovia en janvier 1962 et à la première réunion du CIEH à Cotonou (Auvray, 1961) (Figs 2 et 3). Cette note et la méthode qui s'y trouve proposée seront utilisés jusqu'au milieu des années 1980 – et même au delà – dans toute l'Afrique Tropicale pour le dimensionnement des petits ouvrages hydrauliques.

## LA PERIODE DE TRANSITION: BILAN HYDROLOGIQUES ET APPROCHES MULTIDISCIPLINAIRES

Un catalogue des bassins versants exploités par l'Orstom entre 1951 et 1969 a été établi en 1972 (Dubreuil *et al.*, 1972). La présentation standardisée, forcément réductrice, permet déjà un analyse plus fine des mécanismes hydrologiques, au-delà des événements de projet (Fig. 4).

Pour une approche scientifique des bassins versants, il fallait préciser l'interprétation des observations de terrain. On s'est donc attaché à partir de la fin des années 1960 à:

- mettre au point de nouvelles méthodes et techniques de mesures concernant les paramètres du cycle hydrologique tropical autres que celles qui concernaient la pluie et les écoulements: les travaux de synthèse menés sur l'évaporation (Riou, 1975; puis Pouyaud, 1986), et la mise en oeuvre de la simulation de pluie (Lafforgue, 1977; Asseline & Valentin, 1978) ont, parmi d'autres approches, ouvert la route;
- acquérir de bonnes informations sur le milieu (sol, relief, végétation);
- profiter du développement rapide des moyens de calculs et de traitement de la donnée.

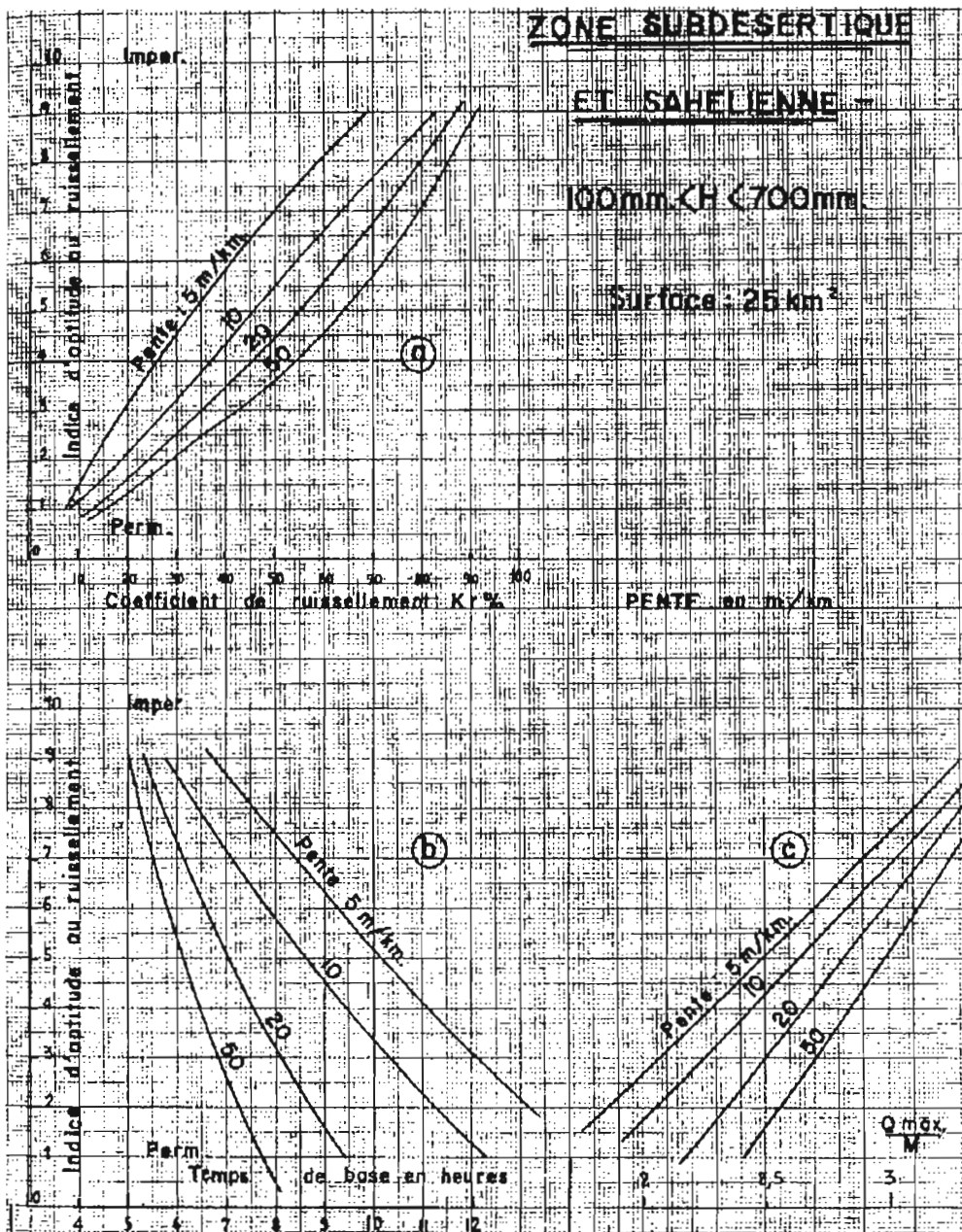


Fig. 2 Fac-similé d'un abaque de calcul de la méthode Auvray (1961).

Parallèlement, c'est à cette époque que la communauté hydrologique internationale a commencé à comprendre l'importance d'une analyse fine des mécanismes hydrologiques sur les petits bassins versants, encouragée par le Programme Hydrologique International de l'UNESCO (Toebes & Ouryvaev, 1970).

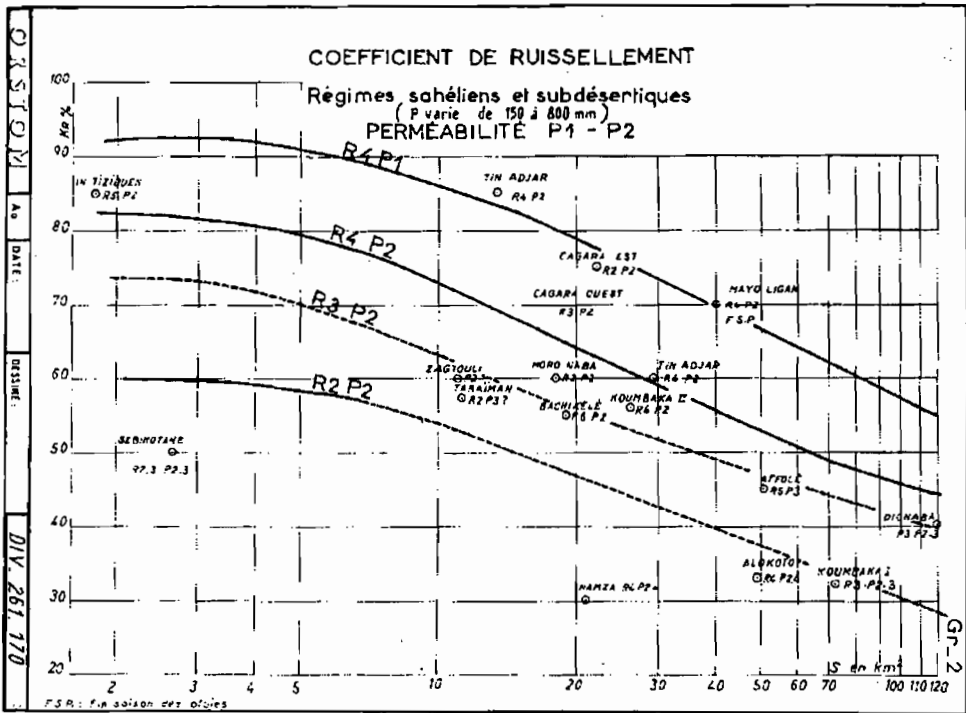


Fig. 3 Fac-similé d'un abaque de calcul de la méthode Rodier & Auvray (1965).

Toute une série de bassins versants de l'Orstom a alors été étudiée de manière plus approfondie et a fait l'objet de rapports scientifiques de synthèse conséquents, ce qui était rarement le cas dans la période précédente. Parmi les principaux, on peut citer le rapport sur les bassins de Korhogo (Camus *et al.*, 1976), qui a inauguré le genre, puis les rapports sur les bassins de Sanguéré (Casenave, 1978) au Cameroun, de la Comba (Molinier, 1981) au Congo, de Sakassou (Lafforgue, 1982) en Côte d'Ivoire, de la Mare d'Oursi (Chevallier *et al.*, 1985) au Burkina Faso et de Mouda (Thébé, 1987) au Cameroun. Un réseau de bassins versants était également mis en place selon une première – et unique à l'Orstom – expérience de planification rationnelle dans le nord-est aride du Brésil (Nouvelot, 1974; Cadier, 1991).

Après une première revue, Dubreuil (1975) proposait une synthèse générale de cette nouvelle approche scientifique sur des petits bassins versants tropicaux (1985; 1986).

Ce qui caractérise ces nouvelles études, c'est surtout les trois points suivants:

- l'établissement de bilans hydrologiques qui mettent en évidence l'importance considérable et prépondérante des processus d'évaporation dans les régions tropicales;
- une analyse fine des précipitations, de leur variabilité spatiale et temporelle;
- une large prise en compte de l'étude du milieu récepteur des bassins versants à travers une collaboration étroite avec d'autres spécialistes: pédologues, géologues, agronomes, écologues, etc.

En même temps que cet élargissement de l'exploitation des petits bassins versants tropicaux, des modélisations mathématiques de leur fonctionnement sont progressivement mises au point (Girard *et al.*, 1972; puis Girard, 1975).

**BASSIN REPRÉSENTATIF** du ..... N. I. O. M. .... N° de Code : IVO 04  
 Etat : COTE D'IVOIRE Bassin hydrographique : SASSANDRA Coordonnées } 7° 22' N ...  
 Région : NAN Sous-bassin : BZO géographiques } 7° 33' W  
 Période de fonctionnement : 1957-59

**1 - OBSERVATIONS ET MESURES EFFECTUÉES**

<p><b>1-1 - MÉTÉO-HYDROLOGIE</b></p> <p>Pluviomètres 11 J                  Pluviographes 2 J. A. + 1 MAN                  Echelles 2                  Limnigraphes 2 J. F.                  Stations hydrométriques 2 N. (EG).                  Stations météorologiques 1 Tr. In. PS. EP.                  Bacs d'évaporation 1 ONSTOM                  Pléziomètres</p>	<p><b>1-2 - GÉOMORPHOLOGIE - DIVERS</b></p> <p>Parcelles d'érosion                  Fosses à sédiments                  Stations de débits en suspension                  Granulométrie des lits                  Infiltration                  Humidité des sols</p>
---	---

**2 - CARACTÈRES PHYSIQUES ET MORPHOLOGIQUES**

Superficie en km <sup>2</sup> 75,0	Altitudes en m. 530 - 650
Indice de compacité 1,29	Orientation aux vents dominants (Rz. AV)
Longueur du rectangle équivalent en km 15,2	Aspect du réseau hydrographique OR. TECT. LAM
Indice de pente Ip 0,152	Rapport de confluence 5,04
Indice de pente global Ig en m.km <sup>-1</sup> 19,7	Rapport de longueur 3,06
Classe de relief R 5	
Densité de drainage 2,37	

**BASSINS EMBOÎTÉS, ADJACENTS ou VOISINS**

Nom	NION St 2
N° de code	IVO 04 A
Période de fonctionnement	1957-59
Superficie en km <sup>2</sup>	12,1
Indice de compacité	1,40
Long. du rectangle équivalent en km	7,0
Indice de pente Ip	0,284
Indice de pente global Ig en m.km <sup>-1</sup>	71,5
Altitudes en m.	575 - 875
Orientation aux vents dominants	Ex. AV.
Aspect du réseau hydrographique	ARÊTE - LAM (RAP)
Rapport de confluence	4,20
Rapport de longueur	2,10
Densité de drainage	2,18
Classe de relief	R 5 (R 6)

Fig. 4 Fac-similé d'une présentation de bassin versant dans la synthèse de Dubreuil *et al.* (1972).

A partir de la fin des années 1970, un grand simulateur de pluies, du type Swanson, puis le petit simulateur de pluies mis au point à l'Orstom (Asseline & Valentin, 1978) sont utilisés sur un large échantillon de bassins versants déjà étudiés dans les années

1950 et 1960, d'abord dans la zone forestière (Casenave, 1982), puis dans la zone sahélienne (Chevallier, 1982; Albergel, 1987; et enfin Casenave & Valentin, 1989). Initialement mené dans une optique de révision des paramètres de perméabilité de la méthode d'évaluation de la crue décennale (Rodier & Auvray, 1965), cette opération a conduit à réviser les méthodes de description du milieu récepteur en prenant en compte l'organisation toposéquentielle des sols. Elle a permis la mise en place d'une collaboration – qui n'a cessé de se poursuivre depuis – avec les pédologues et a tracé les premières ébauches d'une approche physique des mécanismes de versants par les hydrologues de l'Orstom.

L'apport de l'imagerie satellitaire a également commencé à être exploité pour la cartographie des petits bassins versants au début des années 1980 (Chevallier *et al.*, 1986; Albergel *et al.*, 1987).

### Les bassins versants de recherche

Depuis une quinzaine d'années, la plupart des problèmes techniques qui nous handicapaient ont trouvé des solutions. On s'aperçoit même assez souvent maintenant que les propositions d'outils et de méthodes précèdent les questions et les problèmes scientifiques!

Mais la préoccupation mondiale sur les problèmes environnementaux liés à l'explosion démographique des pays en développement, à l'identification de déséquilibres climatiques et, plus récemment, à la chute du bloc socialiste a relancé le besoin d'une recherche d'excellence dans le domaine des géosciences et en particulier dans celles qui concernent la quantification et l'usage de la ressource hydrique. La déclaration de Rio de Janeiro sur l'environnement et le développement (CNUED, 1992) précise dans son principe neuf:

*« Les Etats doivent coopérer ou intensifier le renforcement des capacités endogènes en matière de développement durable en améliorant la compréhension scientifique par des échanges de connaissances scientifiques et techniques et en facilitant la mise au point, l'adaptation, la diffusion et le transfert de techniques, y compris de techniques nouvelles et novatrices ».*

Les recherches menées sur les bassins versants tropicaux avaient mis en évidence la complexité des mécanismes sans que ceux-ci soient réellement identifiés. De nouveaux ensembles de recherche ont donc été mis en place sur lesquels on prétendait étudier non seulement ces mécanismes, mais aussi leur évolution en cas de modifications des conditions de milieu. Ils ont été implantés dans les principales régions tropicales:

- *la forêt*: Taï en Côte d'Ivoire (Collinet *et al.*, 1984), Ecerex en Guyane (Fritsch, 1992);
- *la savane*: Booro Borotou en Côte d'Ivoire (Equipe Hyperbav, 1990); et
- *les régions semi-arides*: Thysse-Kaymor au Sénégal et Bidi au Burkina Faso (Albergel *et al.*, 1993).

Les études menées sur ces bassins – qui sont tous de très petite taille – sont caractérisées par les points suivants:

- un équipement très complet et des expérimentations spécifiques pour suivre tous les mécanismes du cycle de l'eau avec la participation de nombreuses équipes scientifiques;



- une description très fine des caractéristiques du milieu et de ses variations spatiales et temporelles (sol, végétation, relief), parfois intégrées dans un système d'information géographique;
- une prise en compte systématique de l'impact de l'action humaine sur le milieu pouvant aller jusqu'à des propositions concrètes d'actions de développement; et
- l'identification de tous les mécanismes du cycle de l'eau, leur description et assez souvent des propositions de modélisation.

Deux de ces ensembles de bassins sont de véritables observatoires à long terme (Ecerex et Thyse Kaymor) et correspondent aux critères définis pour le Réseau Européen de Bassins Versants (Ecerex) en faisait partie à part entière puisqu'il se situe sur le territoire national français, mais, en perte de vitesse depuis plusieurs années, il a été fermé en 1995 (Ambroise, 1994).

Depuis 1990, plusieurs grands programmes internationaux sur l'étude des effets du climat sur l'environnement se sont intéressés à cette approche. La zone tropicale se trouve en effet à l'origine de la plus grande part de l'humidité atmosphérique planétaire et les modèles météorologiques de circulation générale nécessitent une meilleure prise en compte des paramètres hydrologiques tropicaux. Il faut donc en préciser encore mieux la connaissance aux échelles moyennes. Dans ce cadre: deux programmes sont actuellement menés par les hydrologues de l'Orstom et un troisième se trouve en préparation, chacun accordant une part importante à l'étude complète des mécanismes du cycle continent-atmosphère sur les petits bassins versants:

- l'expérience Hapex-Sahel au Niger, dans un milieu tropical sec (Peugeot *et al.*, à paraître);
- le programme « Neige et glaciers tropicaux, ressource en eau des Andes tropicales », dans un milieu de haute montagne (Pourrut, 1994; Ribstein *et al.*, 1995); et
- le projet de programme Gewex-Catch (Global Energy and Water Cycle Experiment – Couplage atmosphérique tropical avec le cycle hydrologique), dans un milieu de savane humide, en Afrique de l'Ouest.

## CONCLUSION

A travers ces quarante-cinq ans d'histoire, les petits bassins versants tropicaux n'ont cessé d'être le fer de lance de la recherche environnementale dans les régions tropicales, répondant d'abord, avec une vocation très appliquée, au dimensionnement d'ouvrages hydrauliques, puis évoluant vers un outil de recherche, et s'orientant enfin vers un observatoire privilégié des changements climatiques et environnementaux. Cette démarche est caractéristique d'une science jeune qui cherche et trouve petit à petit sa voie: initialement, on a un besoin technique et des méthodes d'ingénieurs sont développées pour répondre à des questions opérationnelles; plus tard on découvre la complexité des processus abordés et leur dépendances étroites avec de nombreuses autres approches scientifiques aux échelles locales, régionales, voire planétaire. Cette évolution – qui n'est certes pas aboutie – assez générale dans l'univers scientifique, a été particulièrement rapide dans le domaine de l'hydrologie puisqu'elle s'est déroulée sur une trentaine d'années. On peut penser que, à l'initiative de Jean Rodier, la contribution des hydrologues de l'Orstom a été essentielle dans les régions tropicales.

## REFERENCES

- Albergel, J. (1987) Genèse et prédétermination des crues au Burkina Faso. Du m<sup>2</sup> au km<sup>2</sup>, étude des paramètres hydrologiques et de leur évolution. Thèse, Université Paris 6.
- Albergel, J., Chevallier, P. & Lortic, B. (1987) D'Oursi à Gagara: transposition d'un modèle de ruissellement dans le Sahel (Burkina Faso). *Hydrol. Continent.* 2(2), 77-86.
- Albergel, J., Lamachère, J. M., Lidon, B., Mokadem, A. I. & Van Driel, W. (1993) *Mise en valeur agricole des bas-fonds au Sahel: typologie, fonctionnement hydrologique, potentialités agricoles*. CIEH, Ouagadougou.
- Ambroise, B. (1994) Du BVRE, bassin versant représentatif et expérimental, au BVR, bassin versant de recherche. In: *Du concept de BVRE à celui de zone atelier dans les recherches menées en eaux continentales* (ed. par D. Houi & J. L. Verrel) (Séminaire national, Paris, organisé par le GIP Hydrosystèmes), 11-24. Cemagref, Paris.
- Asseline, J. & Valentin, C. (1978) Construction et mise au point d'un infiltromètre à aspersion. *Cah. Orstom, sér. Hydrol.* 15(4), 321-350.
- Auvray, C. (1961) *Estimation des débits de crues décennaux en régime tropical*. CIEH, Paris.
- Cadier, E. (1991) Hydrologie des petits bassins du nord-est brésilien semi-aride. Thèse, Université Montpellier II.
- Camus, H., Chaperon, P., Girard, G. & Molinier, M. (1976) *Analyse et modélisation de l'écoulement superficiel d'un bassin tropical. Influence de la mise en culture*. Côte d'Ivoire, Korhogo, 1962-1972. Orstom, Paris.
- Casenave, A. (1978) Etude hydrologique des bassins de Sanguéré. *Cah. Orstom, sér. Hydrol.* 15(1-2), 3-209.
- Casenave, A. (1982) Le mini-simulateur de pluies. Condition d'utilisation et principes de l'interprétation des mesures. *Cah. Orstom, sér. Hydrol.* 19(4), 229-252.
- Casenave, A. & Valentin, C. (1989) *Les états de surfaces de la zone sahélienne. Influences sur l'infiltration*. Orstom, Paris.
- Chevallier, P. (1982) Simulation de pluie sur deux bassins versants sahéliens (Mare d'Oursi - Haute Volta). *Cah. Orstom, sér. Hydrol.* 19(4), 253-297.
- Chevallier, P. (1988) Complexité hydrologique du petit bassin versant. Exemple en savane humide: Booro-Borotou (Côte d'Ivoire). Thèse Doctorat, Université Montpellier II.
- Chevallier, P., Claude, J., Pouyaud, B. & Bernard, A. (1985) *Pluies et crues au Sahel. Hydrologie de la Mare d'Oursi - Burkina Faso*. Orstom, Paris.
- Chevallier, P., Lointier, M. & Lortic, B. (1986) Water levels of a sahelian lake (Mare d'Oursi - Burkina Faso). In: *International Workshop on Hydrologic Applications of Space Technology* (ed. par A. I. Johnson) (Cocoa Beach Workshop, Florida, USA), 99-107. IAHS Publ. no. 160.
- CNUED (1992) Déclaration de Rio sur l'environnement et le développement. In: *Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement* (Rio de Janeiro, Brésil); en français dans *Savoir - Le Monde Diplomatique 2: une terre en renaissance*, 1993, 111-112.
- Collinet, J., Monteny, B. A. & Pouyaud, B. (1984) Le milieu physique. In: *Recherche et aménagement en milieu forestier tropical humide: le projet Tai en Côte d'Ivoire* (ed. par J. L. Guillaumet, G. Couturier & H. Dosso), 35-68. Orstom, Paris.
- Dubreuil, P. L. (1955) Etudes de crues sur un petit bassin de la région de Maroua (Nord-Cameroun). In: *Annuaire hydrologique de la France d'Outre-Mer: année 1953*, 15-27. Orstom, Paris.
- Dubreuil, P. L. (1985) Review of field observations of runoff generation in the tropics. *J. Hydrol.* 80, 237-264.
- Dubreuil, P. L. (1986) Review of relationships between geophysical factors and hydrological characteristics in the tropics. *J. Hydrol.* 87, 201-222.
- Dubreuil, P. L., Chaperon, P., Guiscafré, J. & Herbaud, J. (1972) *Recueil des données de base des bassins représentatifs et expérimentaux: années 1951-1969*. Orstom, Paris.
- Dubreuil, P. L., Morell, M. & Sechet, P. (1975) Comportement et interactions des paramètres physiques des petits bassins versants semi-arides et intertropicaux. *Cah. Orstom, sér. Hydrol.* 13(1), 13-36.
- Equipe Hyperbav (1990) *Structure et fonctionnement hydro-pédologique d'un petit bassin versant de savane humide*. Orstom, Paris.
- Fritsch, J. M. (1992) *Les effets du défrichement de la forêt amazonienne et de la mise en culture sur l'hydrologie de petits bassins versants; opération Ecerex en Guyane française*. Orstom, Paris.
- Girard, G. (1975) Application du modèle à discrétisation spatiale au bassin versant de l'Oued Ghorfa (Mauritanie). *Cah. Orstom, sér. Hydrol.* 12(3), 167-188.
- Girard, G., Morin, G. & Charbonneau, R. (1972) Modèle précipitations-débits à discrétisation spatiale. *Cah. Orstom, sér. Hydrol.* 9(4).
- Lafforgue, A. (1977) Inventaire et examen des processus élémentaires de ruissellement et d'infiltration sur parcelles. Application à une exploitation méthodique des données obtenues sous pluies simulées. *Cah. Orstom, sér. Hydrol.* 14(4), 299-344.
- Lafforgue, A. (1982) *Etude hydrologique des bassins versants de Sakassou. Côte d'Ivoire, 1972-1977*. Orstom, Paris.
- Molinier, M. (1981) Etude hydrologique des bassins de la Comba. République Populaire du Congo. *Cah. Orstom, sér. Hydrol.* 18(2-3), 75-90.
- Nouvelot, J. F. (1974) Planification de l'implantation de bassins versants représentatifs (Convênio Sudene/Orstom, Recife). Sudene.

- Peugeot, C., Estèves, M., Rajot, J. L., Vandervaere, J. P. & Galle, S. (1995) Runoff generation processes: results and analysis of field data collected at the East Central Supersite of the Hapex-Sahel Experiment. *J Hydrol.* (à paraître).
- Pourrut, P. (1994) High mountain basins in northern Chile: water balance problems in volcanic complex. In: *Conference on Assessment of Hydrological Temporal Variability and Changes* (ed. par F. Galart & P. Llorens) (ERB Assembly, Barcelona, Spain).
- Pouyaud, B. (1986) *Contribution à l'évaluation de l'évaporation de nappes d'eau libre en climat tropical sec. Exemples du Lac de Bam et de la Mare d'Oursi (Burkina Faso), de Lac Tchad et d'açudes du Nordeste brésilien.* Orstom, Paris.
- Ribstein, P., Tiriau, E., Francou, B. & Saravia, R. (1995) Tropical climate and glacier hydrology: a case study in Bolivia. *J. Hydrol.* **165**, 221-234.
- Riou, C. (1975) *La détermination pratique de l'évaporation. Application à l'Afrique Centrale.* Orstom, Paris.
- Rodier, J. (1955) Etudes de crues sur les petits bassins versants de l'AEF et du Cameroun. In: *Annuaire hydrologique de la France d'outre-mer: année 1953*, 11-14. Orstom, Paris.
- Rodier, J. (1958) Emploi systématique des bassins versants élémentaires pour les études hydrologiques dans les territoires sous-développés. In: *Groundwater, Symposium on Vegetation, Symposium on Dew* (General Assembly of Toronto), 133-143. IAHS Publ. no. 44.
- Rodier, J. (1990) Postface. In: *Complexité hydrologique du petit bassin versant. Exemple en savane humide – Booro-Borotou (Côte d'Ivoire)* (ed. par P. Chevallier), 271-282. Orstom, Paris.
- Rodier, J. & Auvray, C. (1965) *Estimation des débits de crues décennales pour les bassins versants de superficie inférieure à 200 km<sup>2</sup> en Afrique Occidentale.* Orstom-CIEH, Paris.
- Service Hydrologique de l'AEF (1955) Etude des petits bassins de l'agglomération de Brazzaville. In: *Annuaire Hydrologique de la France d'Outre-Mer: année 1953*, 49-65. Orstom, Paris.
- Thébé, B. (1987) Hydrodynamique de quelques sols du nord Cameroun. Bassins versants de Mouda. Contribution à l'étude des transferts d'échelle. Thèse, Université des Sciences et Technique du Languedoc, Montpellier.
- Tixier, J. (1955) Etudes de crues sur un petit bassin versant de la région de Bangui (Oubangui). In: *Annuaire hydrologique de la France d'outre-mer: année 1953*, 29-47. Orstom, Paris.
- Toebes, C. & Ouryvaev, V. (1970) *Les bassins représentatifs et expérimentaux. Guide international des pratiques en matière de recherche.* UNESCO, Paris.