

**Extension des surfaces agricoles et modification de l'écoulement
Analyse sur deux bassins de la savane africaine**

Jean ALBERGEL, Alain GIODA

Hydrologie/U.R.B. 12 - Orstom, Montpellier

RESUME

Les modifications des états de surface et des paramètres de l'écoulement sous l'impact de l'accroissement de l'emprise anthropique sont étudiées à partir de 1960. A chaque stade du travail, les acquis de la simulation de pluie sur parcelles sont utilisés. Des résultats divergents sont obtenus : diminution de la lame de base et de celle ruisselée à Korhogo-Waraniéné et augmentation très forte de la lame ruisselée à Kogneré-Boulsa. Le rôle des pratiques culturales très différentes est avancé pour expliquer ces divergences à l'échelle des bassins. L'agriculture très intensive, avec billonnage manuel, de Korhogo-Waraniéné favorise l'infiltration à l'inverse des semis de mil très espacés de Kogneré-Boulsa où la dégradation structurale est favorisée.

ABSTRACT

Soil surfaces and flow modifications have been studied since 1960 on two dry savannah small watersheds. These last are both characterised by an important increase of cultivated areas. All the study stages use the simulated rainfall data collected on 19 plots (1m²) in the 80's. In Korhogo-Waraniéné (Ivory Coast), surface runoffs and base flows decreased between 1962-67 and 1968-72. During the 80's, this trend is not reversed. In Kogneré-Boulsa (Burkina Faso, previously Upper-Volta), the surface runoffs were multiplied by two between the 60's and the 80's while the annual rainfall decreased. The part played by agricultural techniques is set up to explain these different results. Intensive mixed farming is done in Korhogo-Waraniéné by traditional methods. Contiguous heads rows are cut off by deep and irregular furrows. Upkeep never stops all year long preserving a good surfacial soil porosity. After a quick weeding, an extensive millet crop is sowed in Kogneré-Boulsa. Between the heads, bare soil surfaces are susceptible to erosion. In some areas, the landscape becomes a Sahelian thorny scrub.

08 JUL. 1993

O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire
N° : 41595
Cpte : B

INTRODUCTION

Entre 1951 et 1969, des observations hydro-pluviométriques ont été faites par l'ORSTOM sur 91 bassins représentatifs de l'Afrique centrale et occidentale /12/. Les buts essentiels sont d'établir les relations pluie-débit de différentes fréquences et de fixer les coefficients d'écoulement et de tarissement sur des petits bassins de pays où le manque de données fiables est un handicap à tout développement.

Le programme de simulation de pluie sur parcelles, installées sur les bassins représentatifs /1/ /7/ /15/, utilise aussi les observations hydro-pluviométriques antérieures /12/. Son objectif est la reconstitution des crues observées à l'échelle du bassin à partir des données recueillies sur parcelles. Des pluies simulées ont été faites sur 30 bassins jusqu'en 1985. La bonne marche du programme a nécessité la reprise des observations hydro-pluviométriques dès 1982 sur 7 bassins du Burkina Faso et de la République de Côte d'Ivoire. Entre les deux périodes de mesures, l'anthropisation croissante des bassins entraîne des modifications des états de surface, terme qui recouvre le couvert végétal et les organisations pelliculaires superficielles /10/ /11/. Elle conduit à la modification du rapport pluie-débit.

Les premiers résultats obtenus sur les bassins de Korhogo-Waraniéné et de Kogneré-Boulsa sont présentés ici en y intégrant ceux recueillis sur parcelles.

1. LES TERRAINS D'ETUDE

Les deux bassins étudiés sont situés dans la savane sèche définie, non seulement, par des critères pluviométriques mais aussi par un ensemble de caractères associant couvert végétal, importance des organisations pelliculaires superficielles et organisations internes des sols /18/. Les bassins de Korhogo-Waraniéné et de Kogneré-Boulsa sont situés, respectivement, aux marges méridionales et septentrionales de la savane sèche.

◊ Le bassin de Korhogo est situé à 5 km au sud-ouest de la ville homonyme, la grande cité du nord de la République de Côte d'Ivoire. Le bassin étudié en 1983 et 1984 /13/ est plus petit que celui observé entre 1962 et 1972 /5/. Une nouvelle route et des aménagements rizi-coles ont amené le déplacement en amont de la station de contrôle. Le sous-bassin est dit de Waraniéné.

◊ Le bassin de Kogneré-Boulsa se trouve à 6 km au nord-ouest de Boulsa, préfecture du Burkina Faso (ex - Haute-Volta). Il est situé sur le plateau Mossi et à 110 km au nord-est de Ouagadougou. En 1984, lors de la simulation de pluie et de la reprise des obser-

vations hydro-pluviométriques, le bassin présente de nombreux traits sahéliens /3/. Ces derniers obligent à distinguer cette nouvelle période de celle de 1960-1962 /17/.

◊ Les principales caractéristiques morphométriques des bassins étudiés sont présentées dans le tableau suivant.

Bassin	KORHOGO	WARANIENE	KOGNERE BOULSA
Coordonnées N	9°25'-26'		12°41'-44'
géographiques W	5°39'-40'		0°34'-39'
Superficie (km ²).....	3,63	2,31	19,8
Indice de compacité	1,13	1,11	1,07
Longueur du rectangle équivalent (km)	2,15	1,52	4,7
Indice de pente global (m.km ⁻¹)	15,4	21	4,26
Altitudes (m)	390	400	325
Classe de relief	R3	R3	R3 (R2)

2. METHODES ET MOYENS

◊ Sur les bassins, l'analyse hydrologique est faite à partir de données recueillies avec les appareils habituels (pluviomètres, pluviographes, échelles limnimétriques, limnigraphes, moulinets pour les jaugeages).

◊ Les méthodes employées pour reconstituer les crues sur les bassins à partir des données des parcelles, par l'application du modèle "SIMULATEUR" sont codifiées /1/ /6/. Cinq étapes peuvent se distinguer.

2.1. La cartographie des états de surface est nécessaire pour fixer le poids de chaque parcelle dans le modèle.

Sur le bassin de Korhogo-Waraniéné, les cartes d'occupation du sol dressées en 1962, 1964 et 1969 ont servi de documents de base. Déjà, pendant la première période d'observations hydro-pluviométriques (1962-1972), l'influence de la mise en culture croissante du bassin et donc des modifications des états de surface avait obligé à séparer les périodes 1962-1967 et 1968-1971 dans l'analyse hydrologique /5/. Pendant la saison sèche 1982-1983, un levé au topofil a été fait, définissant des mailles de 100 m x 100 m, pour mettre à jour la cartographie /13/ /18/.

Sur le bassin de Kogneré-Boulsa, l'interprétation des photographies aériennes de 1956 et 1980 a été faite pour comparer les périodes de suivi hydrologique 1960-1962 et 1984 /3/.

RAPPORT I.9

2.2. Le choix des sites d'implantation des parcelles suit la cartographie. Les parcelles choisies, de 1m² de surface, doivent représenter les principaux états de surface rencontrés sur le bassin. Le nombre de parcelles testées ne dépasse pas la douzaine par bassin.

2.3. Le protocole des pluies simulées reproduit les précipitations de fréquence annuelle et décennale humide. La succession des pluies simulées est faite de manière à avoir des indices des pluies antérieures différents avant chaque expérimentation /9/. Avec 7 pluies au maximum, une large gamme de valeurs d'indices est balayée. Le protocole est identique pour toutes les parcelles d'un même bassin. Il varie en fonction de critères pluviométriques selon la région étudiée.

2.4. La campagne de pluies simulées a lieu en saison sèche afin d'avoir avant la première précipitation un état d'humectation du sol minimum. Les mini-simulateurs de pluie utilisés à Korhogo-Waraniéné et à Kogneré-Boulsa sont identiques et dérivent d'un prototype mis au point en 1977 en République de Côte d'Ivoire /4/. L'état d'humectation des sols est connu par des mesures d'humidité pondérale. Des échantillons sont prélevés, avant chaque pluie simulée, dans l'anneau de garde de chacune des parcelles. Ces mesures assurent un contrôle des valeurs des indices des pluies antérieures. Le dépouillement et l'interprétation de l'ensemble des données recueillies sont codifiés /2/ /6/ /14/.

2.5. La fonction de calage du modèle "SIMULATEUR" est la corrélation entre les crues reconstituées à partir des mesures sous pluies simulées et celles réellement observées sur le terrain.

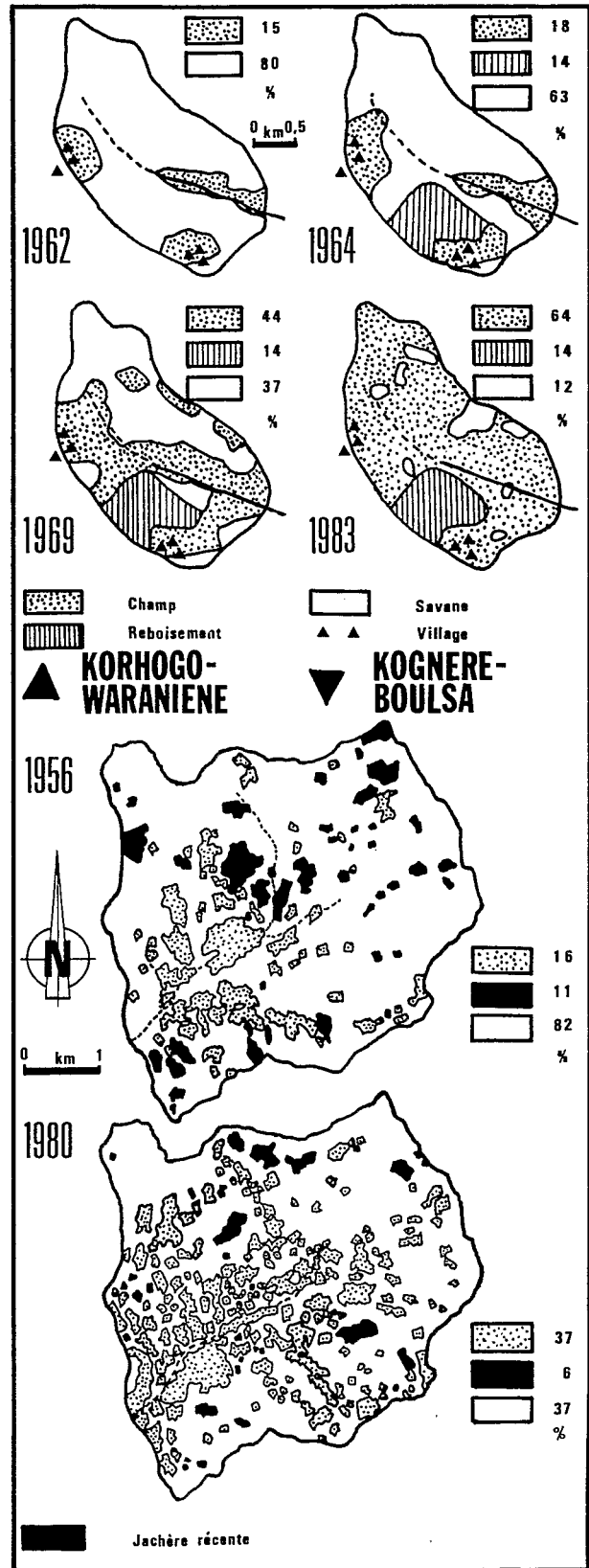
3. RESULTATS

Les modifications des états de surface et des paramètres de l'écoulement avec la mise en cultures croissante des bassins sont successivement examinées en bénéficiant des acquis de la simulation de pluie.

3.1. L'évolution des états de surface est une conséquence directe de celle de l'occupation des sols illustrée par les figures 1. Les pourcentages de la surface totale du bassin qu'occupent les champs, les jachères récentes, les reboisements et la savane arbustive du climax sont présentés à droite des figures.

◊ Sur le bassin de Korhogo, les principales cultures sont les suivantes : mil, maïs, riz, igname, arachide. Les jachères, non cartographiées dans les années soixante, sont en 1983 rares et durent quelques années au maximum.

Fig 1. EVOLUTION SPATIO-TEMPORELLE DE L'OCCUPATION DU SOL.



Les tecks constituent l'essentiel de la zone reboisée avec 80 % de la surface totale. Le reste est occupé par des anacardiés.

◊ Sur le bassin de Kogneré-Boulsa, le mil est quasiment la seule culture. Entre 1956 et 1980, les jachères récentes voient leurs surfaces diminuées environ par 2 tandis que les zones érodées, impropres à l'agriculture, sont presque multipliées par 20 ! Elles passent de 1,2 %, avec une distribution spatiale ponctuelle, à 20,4 % (Fig. 2).

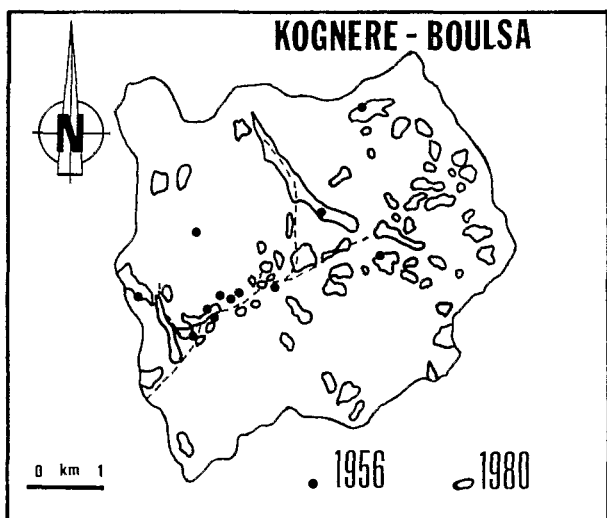


Fig2. EVOLUTION SPATIO-TEMPORELLE DES ZONES ERODEES

Les résultats de la simulation de pluie, effectuée sur 8 parcelles à Korhogo-Waraniéné et sur 11 à Kogneré-Boulsa, montrent l'importance sur le ruissellement du facteur états de surface. Ce terme recouvre le couvert végétal et les organisations superficielles du sol /2/. Seule, la forme de la présentation des résultats est différente car les protocoles adoptés sur les deux bassins ne sont pas identiques.

◊ Sur le bassin de Korhogo-Waraniéné, la somme des lames précipitées (ΣP) et celle des lames ruisselées (ΣLr) sont confrontées dans le tableau suivant. La gamme des valeurs de l'indice des pluies antérieures adopté (IK) /6/ /9/ est fournie. L'aptitude au ruissellement est donnée par le coefficient de ruissellement moyen (Krm) à savoir :

$$Krm = (\Sigma Lr / \Sigma P) \cdot 100 \quad (1)$$

Année hydrologique	1962 - 1963	1963 - 1964	1964 - 1965	1965 - 1966	1966 - 1967
$k \cdot 10^{-3}$	(8,5)	8,96	(8,5)	9,97	9,40
Année hydrologique	1967 - 1968	1968 - 1969	1969 - 1970	1970 - 1971	1971 - 1972
$k \cdot 10^{-3}$	9,73	9,74	10,5	11,1	10,6

◊ Sur le bassin de Kogneré-Boulsa, la relation linéaire entre les termes P et Lr est tracée pour les différentes parcelles (Fig. 3). Cette relation s'observe quand un régime permanent de ruissellement s'établit à partir d'un certain seuil de hauteur de pluie /14/. L'aptitude au ruissellement est jugée sur la première pluie simulée de fréquence décennale (96,7 mm).

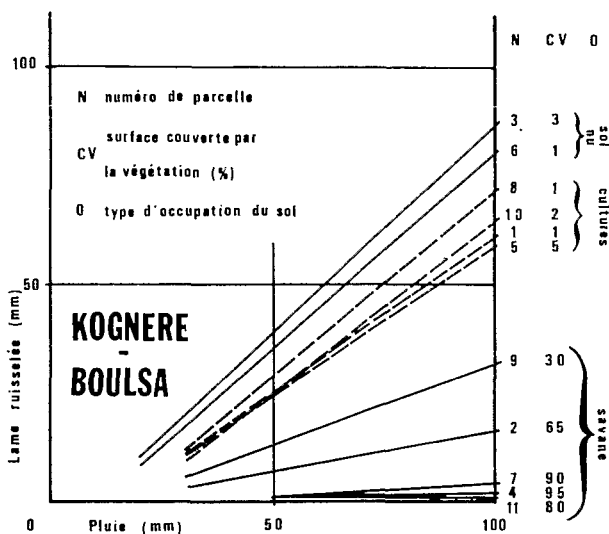


Fig3. LAME RUISSLEE EN FONCTION DE LA LAME PRECIPITEE POUR LA PREMIERE PLUIE SIMULEE

3.2. L'évolution de l'écoulement, à l'échelle des bassins, distingue la lame de base (Lb) de la lame ruisselée (Lr).

◊ Sur le bassin de Korhogo (3,63 km²), cette évolution est d'abord présentée entre 1962 et 1972. La reprise des observations hydro-pluviométriques sur le sous-bassin de Waraniéné en 1983 et 1984 ne permet plus de comparer les écoulements de base avec ceux de la période de suivi antérieure. Il n'y a plus de concordance entre le bassin topographique (2,31 km²) et le bassin hydrogéologique (env. 3,5 km²). Entre les bassins de Korhogo et de Waraniéné, seules les lames ruisselées spécifiques sont comparables.

* L'évolution de lame de base est appréhendée par le biais du coefficient de tarissement (k) présenté dans le tableau suivant.

PARCELLE	3	4	5	6	7	8	9	10
ΣP	500	503	530	492	498	499	594	555
ΣLr	232	210	38	218	336	283	291	253
Krm	46	42	7	44	67	57	49	46
IK	0/86	0/87	0/91	0/91	0/86	0/82	0/87	0/80
OCCUPATION DU SOL	cultures		friche	cultu.		sol nu		friche

RAPPORT I.9

L'accroissement assez régulier du coefficient k correspond à une accélération du déstockage de la nappe sous l'impact de l'augmentation des zones cultivées /5/.

* L'évolution de la lame ruisselée montre une diminution variant entre 12 et 14 % pour les crues de récurrence 2, 10, 20, 50 et 100 ans. La lame décennale, pour une pluie de 104 mm, est estimée à 33 mm (1962-1967) et à 29 mm (1968-1971) /5/.

Afin de passer des lames relevées à Korhogo à celles de Waraniéné, une homogénéisation des données est nécessaire pour les raisons suivantes :

- différence de superficie entre les deux bassins ;
- évolution de la répartition spatiale et temporelle des états de surface sur les deux bassins.

La méthode RODIER-AUVRAY pour le calcul des lames décennales /15/, datée de 1965, est actualisée /16/. Le coefficient de ruissellement (K_r) pour une averse de 100 mm, proche de celle de récurrence décennale à Korhogo (104 mm), varie peu sur les bassins dont la surface est d'environ 3 km². Ces derniers sont de mêmes classes de pente et de perméabilité. Adopter une valeur maximale de 32 % pour K_r est conseillé sur les deux bassins /J.A. RODIER, comm. écrite /. Rappelons que tout abattement spatial des précipitations avait été écarté entre la station de référence, Korhogo-Aéroport (ASECNA-ANAM), et le bassin de Korhogo (3,63 km²) /5/. Sur le bassin de Waraniéné, encore de plus petite taille, nous écartons aussi cet abattement.

L'apport du modèle "SIMULATEUR" (cf. § 2.), est utilisé pour résoudre le problème de l'évolution des états de surface.

◇ Sur le bassin de Waraniéné, nous avons cherché, comme à la Mare d'Oursi /8/, la simultanéité des mesures hydrologiques et de la cartographie des états de surface faites en 1983 et 1984 /13/. La lame décennale calculée (L_{rc}) sur le bassin de Waraniéné (41 mm) a une valeur très proche de celle équivalente à Korhogo (40,6 mm). Dans les deux cas, la hauteur de pluie et la valeur de l'indice des précipitations antérieures entrées dans le modèle sont identiques. Les principaux états de surface du bassin de Korhogo se rencontrent sur celui de Waraniéné /13/.

Selon le modèle "SIMULATEUR", bien que la superficie du bassin de Waraniéné ne représente que les deux-tiers de celui de Korhogo, la lame ruisselée décennale n'augmente pas de façon significative.

◇ Sur le bassin de Kogneré-Boulsa, le coefficient de ruissellement (K_r) de chaque crue est ramené à un indice des précipitations antérieures /17/. En ramenant cet indice à la valeur médiane de 35, observée en 1960-1962,

les coefficients de 1984 sont environ 2 fois inférieurs à ceux de la période de suivi antérieure /3/ (Fig. 4). Il est à noter que l'indice des pluies antérieures de 1984 n'atteint que la valeur médiane de 17.

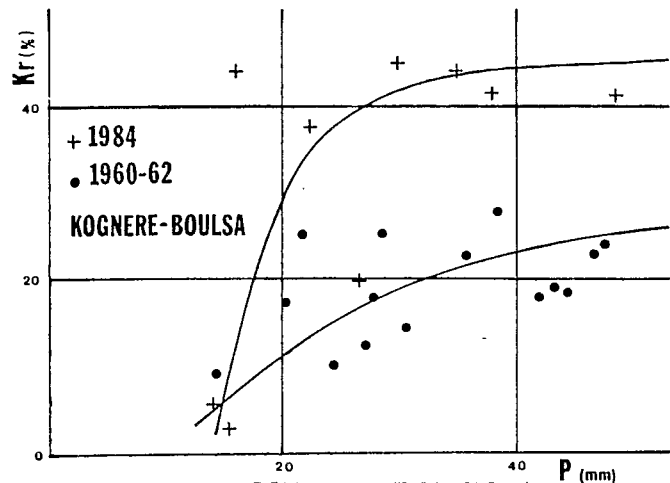


Fig. 4. COEFFICIENTS DE RUISSellement RAMENÉS A UN INDICE D'HUMIDITÉ $I_{H=35}$ EN FONCTION DE LA PLUIE MOYENNE.

4. DISCUSSION

◇ Sur le bassin de Korhogo-Waraniéné, les paramètres de l'écoulement sont marqués par une diminution assez faible entre 1962 et 1972, voire, par une stabilisation ces dernières années.

L'agriculture pratiquée par les Sénoufos est l'une des plus intensives de l'Afrique de l'ouest. Les billons, faits à la "daba" (grande houe mesurant jusqu'à 40 cm de large) peuvent atteindre près de 1 m de hauteur. Ces dimensions maximales s'observent dans les champs d'igname et de riz qui sont parmi les cultures les plus répandues. Les billons ne sont toutefois pas parfaitement alignés et les lignes inter-billons présentent un micro-relief accusé provoqué par le caractère manuel de leur creusement. Le sarclage, poursuivi même en saison des pluies, détruit les pellicules de battance qui se développent entre les pieds. Le couvert dense existant entre ces derniers favorise, d'autre part, l'interception des gouttes de pluie par le feuillage et constitue donc un obstacle à la grande extension spatiale des pellicules de battance.

◇ Sur le bassin de Kogneré-Boulsa, la lame ruisselée double entre les deux périodes de suivi hydrologique.

L'augmentation démographique très forte (2,6 % par an) et une pluviométrie régionale déficitaire depuis 1972-73 poussent les Mossis à adapter leur stratégie. Les paysans étendent les zones cultivées pour lutter contre la faiblesse des rendements. Des zones érodées, impropres à toute agriculture, apparaissent

surtout dans les régions du raccord versants-marigot (chanfreins). Les sols de ces zones voient un décapage de leur horizon humifère, une mise à nu de l'horizon minéral B qui s'indure et se couvre de pellicules. La zone la plus cultivée, caractérisée par des surfaces pelliculaires sans sables grossiers ni gravillons, est plus résistante à l'érosion hydrique. Les cultures y deviennent encore plus extensives favorisant le développement de grandes zones dénudées à pellicules de battance entre les pieds de mil. Après sarclage, un simple travail superficiel de type binage est effectué avant les semis. L'augmentation du ruissellement des zones cultivées du plateau se combine à une érosion laminaire remontante du bas-fond, visible sur les clichés de 1980.

Dans les zones de vieilles jachères, la végétation de la savane arbustive ne se reconstitue pas. Ces jachères présentent de vastes zones nues pelliculaires, semblables aux surfaces sahéliennes, où le recrû ne paraît constitué que d'épineux (*Balanites aegyptiaca* sp.). L'érosion en nappes y est marquée, formant des micro-dénivelées en forme de marches /3/.

CONCLUSION

Les études antérieures au programme de simulation de pluie considèrent généralement les relations précipitation-débit comme immuables sur chacun des bassins de la savane africaine et du Sahel. Ceci s'observe si les conditions d'humectation du sol sont "moyennes", au sens de caractéristiques du milieu de la saison des pluies.

Les bouleversements provoqués par l'explosion démographique en milieu rural et des déficits pluviométriques prolongés dans certaines régions, obligent à reprendre l'étude d'anciens bassins représentatifs ; il n'est pas possible d'affirmer a priori que la mise en culture entraîne une diminution ou une augmentation des paramètres de l'écoulement et de se contenter d'appliquer un coefficient correcteur systématique aux relations pluie-débit.

L'utilisation du mini-simulateur de pluie permettra d'étendre aux zones non observées par les appareils hydrologiques classiques les données actualisées recueillies sur les bassins versants représentatifs.

BIBLIOGRAPHIE

J.H.M. : Abréviation utilisée pour les Journées Hydrologiques de Montpellier, Colloques et Séminaires, ORSTOM, Paris, septembre, sous presse.

/1/ ALBERGEL J., CASENAVE A., VALENTIN C. (1985). "Modélisation du ruissellement en zone soudano-sahélienne. Simulation de pluie et cartographie des états de surface", J.H.M.

/2/ ALBERGEL J., RIBSTEIN P., VALENTIN C. (1985). "L'infiltration : quels facteurs explicatifs ? Analyse des résultats acquis sur 48 parcelles soumises à des simulations de pluies au Burkina Faso", J.H.M.

/3/ ALBERGEL J., VALENTIN C. (1986). "Sahélisation d'un

petit bassin versant soudanien : Kogneré-Boulsa au Burkina Faso", Colloque : Nordeste-Sahel, Institut des Hautes Etudes de l'Amérique Latine, Paris, janvier, sous presse.

/4/ ASSELINE J., VALENTIN C. (1978). "Construction et mise au point d'un iniltromètre à aspersion", Cah. ORSTOM, Sér. Hydrol., XV, n° 4, 321-349.

/5/ 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", Travaux et Documents n° 52, ORSTOM, Paris, 81 p.

/6/ CASENAVE A. (1982). "Le mini-simulateur de pluie. Conditions d'utilisation et principes de l'interprétation des mesures", Cah. ORSTOM, Sér. Hydrol., XIX, n°4, 207-227.

/7/ CASENAVE A., GUIGUEN N., SIMON J.M. (1982). "Etudes des crues décennales des petits bassins forestiers en Afrique tropicale", Cah. ORSTOM, Sér. Hydrol., XIX, n° 4, 229-252.

/8/ CHEVALLIER P. (1982). "Simulation de pluie sur deux bassins versants sahéliens (Mare d'Oursi, Haute-Volta)", Cah. ORSTOM, Sér. Hydrol., XIX, n°4, 253-297.

/9/ CHEVALLIER P. (1983). "L'indice des précipitations antérieures. Evaluation de l'humectation des sols des bassins versants représentatifs", Cah. ORSTOM, Sér. Hydrol. XX, n°3-4, 179-189.

/10/ COLLINET J., LAFFORGUE A. (1978). "Mesures de ruissellement et d'érosion sous pluies simulées pour quelques types de sol de Haute-Volta", ORSTOM, Abidjan, 2 Vol., 129 + 123 p.

/11/ COLLINET J., VALENTIN C. (1979). "Analyse des différents facteurs intervenant sur l'hydrodynamique superficielle. Nouvelles perspectives. Applications agronomiques". Cah. ORSTOM, Sér. Pédol., XVII, n°4, 283-328.

/12/ DUBREUIL P., CHAPERON P., GUISCAFRE J., HERBAUD J. (1972). "Recueil des données de base des bassins représentatifs et expérimentaux. Années 1951-1969", ORSTOM, Paris, 916 p.

/13/ GIOA A., SIMON J.M., ETIENNE J. (1985). "Comparaison entre les relations précipitations-débits déduites de la simulation de pluies sur parcelles (1983) et celles observées à l'échelle du bassin (1968-71 et 1983-84). Waraniéné-Korhogo - Côte d'Ivoire", ORSTOM, Abidjan, 68 p.

/14/ LAFFORGUE A., CASENAVE A. (1980). "Derniers résultats obtenus en zone tropicale sur les modalités de transferts pluie-débit par l'emploi de simulateurs de pluie", La Houille Blanche, n°4-5, 243-249.

/15/ RODIER J., MEUNIER M., PUECH C. (1984) "Le point sur les méthodes de calcul des débits de crues décennales en Afrique de l'ouest et Afrique centrale", Bulletin de liaison du CIEH, Ouagadougou, n°58, octobre, 2-9.

/16/ RODIER J.A. (1985). "Caractéristiques des crues des petits bassins versants représentatifs au Sahel", Cah. ORSTOM, Sér. Hydrol., XXI, 1984-85, n°2, sous presse.

/17/ SIRCOULON J., KLEIN J.C. (1964). "Etude hydrologique des bassins expérimentaux de l'Est-Volta", ORSTOM, Paris, 77 p.

/18/ VALENTIN C. (1985). "Différencier les milieux selon leur aptitude au ruissellement : une cartographie adaptée aux besoins hydrologiques.", J.H.M.