

960371

Communauté Economique Européenne

BILAN HYDRIQUE DES SOLS CULTIVES
DE LA ZONE SEMI-ARIDE DE L'OUEST AFRICAIN :
ETUDE DE L'INFILTRATION
SOUS PLUIES SIMULEES


Contrat TSD A 281 F

RAPPORT SEMESTRIEL
Période du 1er juillet au 31 décembre 1986

A. CASENAVE

Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération
(ORSTOM)

Fonds Documentaire ORSTOM



010016742

ORSTOM
ORATOIRE D'HYDROLOGIE
DOCUMENTATION

Fonds Documentaire ORSTOM
Cote: B*16742 Ex:

72588

INTRODUCTION

Comme nous l'avions expliqué dans notre précédent rapport, les campagnes de pluies simulées ont lieu en saison sèche, c'est-à-dire au cours du premier semestre en Afrique de l'Ouest, afin d'éviter les perturbations engendrées par les pluies naturelles. Le second semestre est avant tout consacré à l'interprétation de ces campagnes. Toutefois un certain nombre de mesures sont également faites en saison des pluies afin :

- d'étudier l'influence du couvert végétal sur l'infiltration. Certaines parcelles testées en saison sèche, sont soumises à une nouvelle série de pluies simulées en cours de saison des pluies lorsque le couvert graminéen s'est rétabli ;
- de relier les résultats obtenus sur les parcelles à ceux des bassins versants où sont situées ces parcelles. Ces bassins ont généralement été étudiés antérieurement, de façon classique, mais, pour certains, l'évolution de l'occupation des terres, particulièrement l'augmentation des surfaces cultivées rend la comparaison à deux époques différentes impossible. Dans ce cas le bassin est réétudié de façon classique (détermination des relations pluies-débits) pendant une ou deux saisons des pluies.

I - MESURES ET RESULTATS OBTENUS AU COURS DU SEMESTRE

1-1. Côte-d'Ivoire

1-1-1 - Bassin de Varalé

Ce bassin a fait l'objet d'une campagne de pluies simulées au début de l'année 1986. Huit parcelles ont reçu une succession de 6 pluies artificielles chacune. L'interprétation des résultats montre que l'infiltration et le ruissellement sont, avant tout, sous la dépendance des états de surface (HASNAOUI, 1986). Toutefois la saturation progressive des sols joue un rôle non négligeable. On a pu constater, une fois de plus, que pour ces sols à texture très sableuse, contrairement aux idées reçues, le ruissellement est loin d'être négligeable. Les coefficients de ruissellement sont compris entre 15 et 60 % sur un sol sec, pour une forte pluie (108 mm), et atteignent 35 à 80 % pour des sols saturés. Une nette différenciation se fait entre les parcelles en fonction de la couverture végétale dont l'extension favorise nettement l'infiltration. C'est la raison principale pour laquelle les lames ruisselées reconstituées d'après les mesures sous pluies simulées (faites en saison sèche à un moment où la végétation herbacée est très faible) sont nettement supérieures à celles réellement observées. On note toutefois qu'il existe une bonne corrélation entre ces valeurs et qu'après calage le "modèle simulateur" permet une bonne reconstitution des crues de fréquence rare. Les lames ruisselées décennales déterminées à partir des mesures sous pluies simulées sont de 17,6 mm pour le grand bassin et de 20,5 mm pour le petit bassin. Les mêmes valeurs extraites de l'étude classique sont respectivement de 17,9 mm et 19,3 mm soit des différences de l'ordre de 2 et 6 %.

1-1-2 - Bassin de Booro Borotou

Une campagne de pluies simulées a été entreprise au mois d'août afin de chiffrer l'influence de la végétation, sur huit parcelles déjà testées en saison sèche. Deux autres parcelles, situées dans la zone cultivée du bassin, ont également subi une série de pluies, au mois d'octobre, juste avant la récolte. Au total sur ce petit bassin de 1,5 km², 17 parcelles représentant autant d'états de surface différents ont été étudiés grâce à une série de 6 à 12 averses simulées par parcelle.

Bien que la comparaison des résultats de saison des pluies et de saison sèche ne soit pas entièrement terminée, on doit cependant noter que, contrairement à ce qui avait été mesuré dans d'autres pays, particulièrement au Cameroun (ALBERGEL - THEBE, 1986), il semble qu'à Booro-Borotou, le ruissellement soit plus fort en saison des pluies qu'en saison sèche. Sans doute faut-il voir là, l'influence de la saturation des sols, beaucoup plus sensible dans cette zone climatique, que pour les sols du nord Cameroun où l'infiltration est uniquement conditionnée par les organisations pelliculaires de surface. Ces organisations sont fragilisées et en partie détruites au cours de la saison des pluies par l'activité faunique qui favorise ainsi l'infiltration.

1-2. Togo

Au début de l'année 86, 11 parcelles ont été étudiées sous pluies simulées sur le bassin de l'Hidenwou à Kanté. Préalablement, au cours de la saison des pluies 1985, une étude hydropluviométrique classique de ce bassin avait été effectuée. Le rapport rendant compte des résultats de ces deux études (YACOUBI, 1986) met, là encore, en évidence que l'infiltration est conditionnée par les états de surface et la bonne relation qui existe entre les lames ruisselées reconstituées à partir des résultats des pluies simulées et celles réellement observées à l'exutoire du bassin. On note cependant que la fonction de calage entre ces lames ruisselées est différente selon que l'on cale les résultats sur les crues de la période 1962-1964 ou sur celles de 1985. Ce résultat pourrait dénoter un changement du comportement hydrologique de ce bassin. Malheureusement l'échantillon de crues de l'année 1985 est trop peu abondant, du fait de la faible pluviosité de cette année, pour que la fonction de calage soit parfaitement définie. Entre autre, il n'a pas été observé de fortes crues pendant l'année 85. Le débit maximum en 1985 a été de 7,4 m³/s alors qu'il avait atteint 105,5 m³/s en 1962. Pour essayer de préciser la fonction de calage actuelle, nous avons décidé de prolonger l'étude classique pendant une saison des pluies supplémentaire, afin de disposer d'un échantillon de crues plus consistant. Pour la saison des pluies 1986, le bassin a été rééquipé d'un réseau pluviométrique comprenant 10 pluviomètres association et 3 pluviographes à augets basculeurs. La station de jaugeage, située à

l'exutoire du bassin est équipée d'un limnigraphe. Une trentaine de crues ont été enregistrées en 1986, ce qui joint aux 22 crues de l'année 85 devrait constituer un échantillon suffisant pour un calage correct des mesures sous pluies simulées. Le dépouillement de cette campagne 86 est en cours et fera l'objet d'un rapport qui paraîtra en 1987.

1-3. Niger

Le rapport rendant compte des résultats de l'étude sous pluies simulées du bassin de Kountkouzout a été rédigé (GATHELIER - GIODA, 1986). Il met en évidence l'influence prépondérante des organisations pelliculaires de surface sur l'infiltration. Ces sols qui présentent une pellicule indurée en surface sur la quasi totalité du bassin ruissellent de façon considérable. A l'exception de la parcelle 3 située sur un recouvrement sableux éolien cultivé où le coefficient de ruissellement passe de 17 % sur un sol sec à 44 % sur un sol très humecté, pour les 7 autres parcelles les coefficients de ruissellement sont compris entre 58 et 92 % sur un sol sec et 83 et 94 % pour un sol quasi saturé. Ces valeurs expliquent :

- la brutalité des crues sur ces bassins,
- le fait que ce soit en priorité les zones à recouvrement sableux éolien qui sont cultivées. Encore faut-il que les agriculteurs locaux, travaillent régulièrement leurs champs et détruisent ainsi les pellicules, pour qu'une faible partie de la pluie arrive à s'infiltrer. On doit d'ailleurs noter que cette faible infiltrabilité est à l'origine d'un mode de culture particulier à la région. Les pieds de mil sont plantés, avant la saison des pluies, au sommet de lignes de billons. Après les premières pluies, les lignes de billons sont déplacées et les pieds de mil se retrouvent dans l'interbillon qui canalise l'eau de ruissellement qui stagne en partie dans ces zones favorisant ainsi l'infiltration. Ceci n'est qu'un exemple de la remarquable adaptation de l'agriculture locale aux conditions spéciales de ce milieu. Entre 1954 et 1986, la surface cultivée sur l'ensemble du bassin est passée de 18,5 % à 43,4 % de la surface totale. Cette extension s'est effectuée grâce :

- à l'augmentation des zones sableuses qui passent de 8 à 18 % (la déflation des surfaces gravillonnaires a conduit à l'extension des pavages fins et à celle des surfaces couvertes de sable) dont nous avons vu qu'elles sont les plus favorables à l'infiltration.
- à la mise en culture de zones plus marginales qui sont celles où la présence de calcaire rend la pellicule plasmique moins continue et plus fragile.

Cette forte augmentation des surfaces cultivées nous avait incitée à refaire une étude classique du bassin pendant au moins une saison des pluies. Le chercheur responsable, gravement malade, ayant été rapatrié en France, il n'a malheureusement pas été possible de mener cette étude à bien en 1986. Nous espérons pouvoir le faire pendant la saison des pluies 1987. On doit toutefois noter que le calage des mesures sous pluies simulées sur les crues observées pendant les années 1965-1967 est très bon (coefficient de corrélation 0,918 pour 67 valeurs) et que la reconstitution des crues annuelle ou décennale est très fidèle. Il est cependant probable que l'extension des zones cultivées entraînera un changement de cette fonction de calage.

II - ANALYSE DES FACTEURS CONDITIONNELS DE L'INFILTRATION

A ce jour 141 parcelles ont été testées sous pluies simulées. A l'exemple de ce qui avait été fait pour les 48 parcelles du Burkina-Faso (cf. 1er rapport semestriel, juillet-décembre 1985) une analyse statistique détaillée a été effectuée sur l'ensemble des parcelles. Les variables sélectionnées (cf. rapport semestriel précédent) sont pour l'infiltration :

- le coefficient d'infiltration sur l'ensemble du protocole Ki
- le coefficient d'infiltration à saturation
- la pluie d'imbibition sur sol sec et sur sol saturé
- la détention superficielle récupérable à saturation

et pour l'état de surface :

- le pourcentage de couvert végétal
- la taille des constituants en surface
- le microrelief
- l'activité faunique

- les réorganisations superficielles
- l'érosion
- les fentes de retrait
- l'hydromorphie

Les principaux résultats de cette analyse sont les suivants :

C'est le coefficient d'infiltration sur l'ensemble du protocole qui semble être la variable représentant au mieux l'infiltration. C'est de plus la valeur qui semble être le mieux expliquée par les variables descriptives. Un problème apparaît cependant dès ce niveau du fait que la plupart des variables ont des distributions qui ne sont pas normales, ce qui ôte toute signification statistique aux coefficients de corrélation entre les variables. On remarque que pour la grande majorité des variables à l'exception de K_i on trouve un nombre important de parcelles dans les classes extrêmes. Il est cependant indéniable que ces distributions bimodales sont représentatives du milieu particulièrement pour les parcelles de la zone sahélienne (par exemple, les parcelles avec fortes réorganisations superficielles sont très nombreuses, de même l'activité faunique est généralement faible, les parcelles avec fentes de retrait sont rares etc...). Cette dissymétrie des distributions nous a obligé à regrouper en 4 classes les variables, chaque classe contenant 25 % de l'échantillon total.

L'analyse factorielle de correspondance (AFC) réalisée sur ces classes permet de mettre en évidence deux groupes de variables très cohérents :

- Un groupe où la faible infiltration est expliquée par l'absence de végétation, de fortes réorganisations superficielles, une activité faunique nulle et une taille importante des constituants de surface.
- Un groupe où la forte infiltration s'explique par une couverture végétale importante, l'absence de pellicule et une activité faunique moyenne ou forte.

On note une évolution parallèle des variables K_i , V (couverture végétale), P (réorganisations superficielles) et B (activité faunique). On peut noter d'autre part une opposition entre les parcelles de région sèche et celles de région humide, la limite entre ces deux zones correspondant à l'isohyète annuelle 850 mm. Cette constatation nous a amené à scinder l'échantillon en deux sous échantillons et à faire une

AFC sur chacun de ceux-ci. Sur les parcelles de région sèche, l'AFC confirme l'évolution parallèle des variables K_i , V, B et P. Sur les parcelles de région humide, l'influence de P sur K_i est moins nette, mais les influences de R (microrelief) et T (taille des constituants) ressortent un peu mieux.

L'objectif que nous nous proposons à partir de cette analyse statistique était de prévoir le coefficient d'infiltration d'une parcelle dont on ne connaîtrait que les variables descriptives de l'état de surface. Nous rappelons que ces variables sont très sommaires et résultent d'estimations visuelles et non de mesures sophistiquées, afin de garder une possibilité d'application pratique de la méthode, même par des non spécialistes, fusse au détriment de la précision. Pour atteindre cet objectif on a utilisé les corrélations multiples $K_i = f$ (variables descriptives).

. Sur l'ensemble du fichier, quatre variables expliquent significativement K_i , V, R, B et P ($R^2 = 0,67$). L'application de ce modèle montre que pour 112 des 141 parcelles, K_i serait prédit avec une erreur absolue inférieure à 20 %.

. Sur le fichier des parcelles de région sèche, trois variables (V, B et P) suffisent à expliquer significativement K_i ($R^2 = 0,84$). Dans ce cas seules 2 parcelles sur 56 ont un K_i prédit avec une erreur absolue supérieure à 20 %.

. Pour les parcelles de région humide, la reconstitution de K_i est moins bonne et nécessite l'utilisation de 4 (V, T, R, B $R^2 = 0,65$) OU 5 variables (V, T, R, B et P $R^2 = 0,66$). La regression à cinq variables explicatives conduit à une erreur absolue dans la prédiction supérieure à 20 % pour 17 des 84 parcelles. Ce résultat moins bon que pour la zone sèche était prévisible puisque aucune variable caractéristique du sol n'a été utilisée, alors que dans ces zones plus humides on sait que la nature du sol a un rôle non négligeable sur l'infiltration qui n'est pas uniquement conditionnée par les états de surface comme dans les zones sèches.

Le prédicteur obtenu par regression sur l'ensemble du fichier ;

$$K_i = 4,46 V - 9,35 B + 6,10 P - 6,84 R + 71 \quad (R^2 = 0,72)$$

permet de reconstituer le coefficient d'infiltration d'une parcelle à partir des variables représentatives des états de surface avec une erreur absolue de 20 % pour un intervalle de confiance à 80 %, et avec une erreur absolue maximum de 30 % pour un intervalle de confiance à 95 %. Ce résultat peut sembler à première vue relativement médiocre, mais il ne faut pas oublier ; que les variables descriptives sont volontairement très schématiques ; que le résultat est nettement meilleur en zone sèche où se situe le principal problème. Nous essayons toutefois, actuellement, d'améliorer ce descripteur en affinant un peu les variables pour la zone sèche et en introduisant une variable représentative de la nature du sol en zone humide.

III - TRAVAUX PREVUS AU COURS DU PREMIER SEMESTRE 87

3-1. Travaux de terrain

Il est prévue plusieurs campagnes de pluies simulées au début de l'année 87 : au Togo où sera étudié le bassin de Nadjoundi à Dapaong dont la cartographie des états de surface a déjà été faite (JANEAU, 1986), au Burkina-Faso sur les bassins expérimentaux de Bidi dont la cartographie des états de surface doit être faite en janvier 87 et enfin en Côte-d'Ivoire où des mesures destinées à étudier la variabilité spatiale de l'infiltration seront poursuivies sur le bassin de Booro-Borotou.

Une mission d'un mois, de deux pédologues spécialisés (VALENTIN - JANEAU) doit également être effectuée au Mali, afin de cartographier les états de surface des bassins versants étudiés par l'ORSTOM dans ce pays.

Un programme de simulation de pluie se met également en place au Sénégal où un simulateur de pluie devrait être construit et utilisé en 1987. Cela permettra de tester un nouveau milieu qui n'existe pas dans les pays ayant déjà fait l'objet d'études, mais qui est très représenté dans certains pays comme le Sénégal : les zones sodiques ou salines où le dynamique des sels se manifeste par des structures superficielles particulières.

3-2. Travaux de synthèse

Le résultat de l'ensemble des travaux entrepris doit être synthétisé par le répertoire des principaux états de surface de la zone sahélienne qui est actuellement en cours d'élaboration et qui sera complété par les mesures du début de l'année 87. Ce répertoire fera largement appel aux résultats de l'analyse statistique évoquée précédemment. Un exemple de calage de modèle agroclimatologique à partir de caractéristique des états de surface sera également donné.

BIBLIOGRAPHIE

- GATHELIER (R.), GIODA (A.) - 1986 - Etude des relations pluies-débits à l'aide d'un simulateur de pluie sur un petit bassin sahélien (KountKouzout - Rép. du Niger). Rapport provisoire. ORSTOM, Niamey, 24 p., 24 fig. + annexes.
- HASNAOUI (M.D.) - 1986 - Etude du rapport pluie-débit par simulation de pluie sur les bassins versants de Varalé dans la région de Bouna (Nord-Est Côte-d'Ivoire). ORSTOM, Abidjan, 84 p. + annexes.
- YACOUBI (M.) - 1986 - Simulation de pluie sur le bassin de Hidenwou (Togo). Déroulement de la campagne et analyse des résultats. ORSTOM, Lomé, 58 p. + annexes.

A N N E X E

Rapport financier

DEPENSES ENGAGEES PENDANT LE SECOND SEMESTRE 1986

en Francs Français

Personnel : Côte-d'Ivoire, Niger, Togo, France

Nom	Catégorie	Durée en mois	Tarif unitaire	Total
A. CASENAVE	Chercheur senior Outre-Mer	2	67 915,00	135 830,00
C. VALENTIN	"	1	"	67 915,00
P. CHEVALLIER	"	2	"	135 830,00
J.M. IRIS	Chercheur junior Outre-Mer	2	48 315,00	96 630,00
J.C. BADER	"	3	"	144 945,00
J. ALBERGEL	Chercheur junior France	2	19 850,00	39 700,00
P. RIBSTEIN	"	1	"	19 850,00
P. MAILHAC	Technicien Outre-Mer	3	41 425,00	124 275,00
R. GATHELIER	"	3	"	124 275,00
J.L. JANEAU	"	2	"	82 850,00
J.M. LAPETITE	"	1	"	41 425,00
J. ETIENNE	"	2	"	82 850,00
M. BERTHELOT	"	2	"	82 850,00
M. YACOUBI	Elève	1	p.m.	p.m.
D. HASNAOUI	"	1	"	"
D. MITJA	Allocataire	2	"	"
O. PLANCHON	"	3	"	"
			Total	1 179 225,00
	Personnel local	24 (4 x 3 pays x 2 mois)	1 000,00	24 000,00
	Main d'oeuvre temporaire			32 960,92
			TOTAL	1 236 185,92

Déplacements- Mission hors du pays d'affectation

Nom	Objet	Durée	Lieu	Coût
A. CASENAVE	Mise au point du programme simulation	1 au 11-12-86	Dakar	9 995,60
	Répertoire des états de surface		Abidjan	

Total: A 9 995,60

- Déplacements dans le pays d'affectation. Côte-d'Ivoire
.....

Nom	Objet	Durée	Lieu	Coût
M. CAMARA	Etude du bassin de Booro	3-07 au 12-07-86	Borotou	3 590,42
J. ETIENNE	"	7-07 au 10-07-86	"	1 228,28
M. BERTHELOT	"	7-07 au 2-08-86	"	10 676,90
D. PLANCHON	"	7-07 au 25-07-86	"	6 260,42
D. MITJA	"	13-07 au 22-07-86	"	3 521,50
K. KOUAME	"	16-07 au 3-08-86	"	880,00
J.M. LAPETITE	"	31-07 au 23-08-86	"	7 590,76
D. PLANCHON	"	31-07 au 20-08-86	"	6 651,70
P. CHEVALLIER	"	4-08 au 7-08-86	"	1 817,70
D. MITJA	"	4-08 au 18-08-86	"	4 695,32
H. TEHE	"	16-08 au 26-08-86	"	780,00
K. KOUAME	"	17-08 au 6-09-86	"	976,00
J.L. JANEAU	"	18-08 au 22-08-86	"	1 330,36
M. BERTHELOT	"	23-08 au 28-08-86	"	3 023,62
C. VALENTIN	"	27-08 au 4-09-86	"	3 528,50
E. FRITSCH	"	28-08 au 6-09-86	"	3 590,42
D. PLANCHON	"	30-08 au 21-09-86	"	6 964,72
D. BOA	"	3-09 au 11-09-86	"	3 212,48
E. DIBI	"	4-08 au 13-09-86	"	2 640,00
D. MITJA	"	5-09 au 19-09-86	"	4 695,30
T. AMANY	"	9-09 au 30-09-86	"	1 024,00
K. KOUAME	"	20-09 au 30-09-86	"	496,00
H. TEHE	"	6-09 au 30-09-86	"	1 872,00
M. KOUAKOU	"	11-07 au 30-09-86	"	4 782,40
M. BERTHELOT	"	4-09 au 1-10-86	"	10 393,34
B. YAO	"	27-08 au 2-10-86	"	1 728,00
M. BERTHELOT	"	4-10 au 8-10-86	"	1 700,72
J.M. IRIS	"	8-10 au 25-10-86	"	6 897,40

Total B 106 548,26

• Niger

Nom	Objet	Durée	Lieu	Coût
A. GIODA	Etude du bassin de KountKouzout	1-05 au 10-05-86	Tahoua	2 261,36
R. GATHELIER	"	21-05 au 23-05-86	"	595,08
G. BOUKARI	"	15-05 au 24-05-86	"	234,90
P. GNAHOUIS	"	30-04 au 31-05-86	"	896,52
Total C				3 987,86

• Togo

Nom	Objet	Durée	Lieu	Coût
J.C. BADER	Etude du bassin de Nadjoundi	18-11 au 20-11-86	Dapaong	592,50
P. MAILHAC	"	18-11 au 20-11-86	"	592,50
A. SMAOUI	"	18-11 au 20-11-86	"	531,44
P. MAILHAC	"	15-12 au 20-12-86	"	1 421,16
A. SMAOUI	"	15-12 au 17-12-86	"	531,44
Total D				3 669,04

Total déplacements A + B + C + D = 124 200,84

- Amortissement matériel durable

Type de matériel	Durée d'utilisation	Prix d'achat	Amortissement 20 % par an
Ordinateur IBM-PC	6 mois	69 880,00	6 988,00
Sondes à neutrons et tensiomètres	3 mois	84 804,96	4 240,25
Véhicules 404	2 x 4 mois	188 800,00	25 184,00
Total			36 412,25

- Matériel non durable (Côte-d'Ivoire, Niger, Togo)

Nature	Coût
Essence	96 137,80
Divers	55 604,16
Total	151 741,96