

**INFLUENCE DES MICRO-ORGANISATIONS PELLICULAIRES
SUPERFICIELLES SUR L'INFILTRABILITÉ D'UN TYPE
DE SOL SAHÉLIENS**

P. CHEVALLIER¹, C. VALENTIN²

¹ *Hydrologue, Laboratoire d'Hydrologie d'Adiopodoumé*

² *Pédologue, Laboratoire de Pédologie d'Adiopodoumé*

*Institut Français de Recherche Scientifique
pour le Développement en Coopération (ORSTOM),
B.P. V51 ABIDJAN, Côte d'Ivoire*

Mots clés : micro-organisations pelliculaires, superficielles,
infiltration, simulation de pluie, Sahel.

O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire
N° : 28789, ex 1
Cote : B

RÉSUMÉ

Une série de pluies simulées sur parcelles de un mètre carré a été réalisée en région sahélienne (Mare d'Oursi, Burkina Faso, anciennement Haute-Volta sur un même sol présentant deux types de surfaces: un recouvrement sableux et une surface nue pelliculaire. Trois traitements de sol ont été testés: la surface non remaniée, un sarclage traditionnel et une culture de mil. Les auteurs présentent les différences de comportement dans les six cas pour les lames infiltrées, les pluies d'initiation au ruissellement et les intensités d'infiltration

ABSTRACT: INFILTRABILITY OF A SAHELIAN SOIL AS AFFECTED BY SURFACE CRUSTING

Rainfall simulation tests were conducted in the sahelian (Burkina Faso, previously Upper-Volta) zone on 12 m²-plots. The selected soil presented lateral surface differentiation which consisted in sealed bare spots encompassed with small sandy hummocks. The effects of three treatments on water infiltration into soil were studied. The first was the natural reference with undisturbed surface, the second consisted in weeding the plot traditionally whereas the third treatment was the crop of millet. Results have shown great differences among the six plots (2 surface types x 3 treatments) in terms of water intake, infiltration rate, and runoff initiation rainfall. Such dissimilarity was ascribed to the major control exerted by soil surface differentiation on infiltrability.

1. INTRODUCTION

De nombreux chercheurs ont attiré l'attention sur l'hétérogénéité très marquée de la surface du sol en zone sahélienne (LEPRUN - 1978, BOUGERE - 1979, COLLINET et VALENTIN - 1982, VALENTIN - 1983). Celle-ci se manifeste par la juxtaposition de zones dépourvues de végétation, de quelques dizaines à quelques centaines de mètres carrés, qui présentent des micro-organisations pelliculaires superficielles et des micro-buttes enherbées. Très fréquemment on observe sur un même type de sol des morphologies de surfaces différentes se présentant soit sous forme de zones nues pelliculaires formées sous l'action de la pluie et du ruissellement en nappe, soit sous forme de recouvrements sableux déposés le plus souvent sous l'action éolienne.

2. MÉTHODES

2.1. Le site d'étude

La Mare d'Oursi située dans le Nord du Burkina Faso (ex. Haute-Volta) et sous l'influence climatique sahélienne (pluviométrie inter-annuelle de 450 mm) est au centre d'une zone qui a fait l'objet de 1976 à 1982 d'une étude pluridisciplinaire de plusieurs instituts de

recherche français (ORSTOM, Université Paris-VII, CEPE Montpellier, GERDAT). Cette région est peuplée par une majorité de paysans éleveurs et cultivateurs à la limite entre l'habitat sédentaire et les parcours nomades.

Le site retenu pour l'étude occupe le piémont d'un massif altéré de gabbro (Kolel, PION - 1959) partiellement cultivé en mil (*Pennisetum typhoides*) pendant les trois mois de saison des pluies (juillet-septembre).

Le sol y est brun rouge, puis discrètement tacheté de jaune et sablo-argileux en profondeur (tableau n° 1). Il s'est développé sur des sables éoliens anciens qui recouvrent des matériaux d'altération des roches basiques. L'incorporation de composés humiques est nette sur 60 cm, profondeur qui est celle de l'enracinement moyen. LEPRUN (1977) l'a identifié comme *sol ferrugineux tropical peu lessivé, à drainage interne limité en profondeur*, tout en signalant qu'il pouvait constituer un terme de passage vers les sols subarides.

Tableau n° 1: Taux de matière organique et composition granulométrique du sol de Kolel-piémont

Désignation de l'horizon	Profondeur de l'échantillon (cm)	M.O. (%)	A (%)	Lf (%)	Lg (%)	Sf (%)	Sg (%)
A11 (R.S.)	+ 0 — 5	0.4	4.0	1.5	2.9	57.3	33.4
A12	— 5 — 10	0.3	6.5	1.8	2.0	57.5	32.7
B21	— 30 — 40	0.1	9.5	2.0	1.1	52.2	35.7
B22	— 75 — 85		9.8	1.5	1.2	55.7	31.6
B23	— 115 — 125		12.0	1.3	2.2	54.2	30.8
B24	— 165 — 180		9.3	1.3	2.5	53.8	33.6

R.S. : recouvrement sableux
M.O. : matière organique
A. : argile

Lf : limon fin
Lg : limon grossier
Sf : sable fin
Sg : sable grossier

2.2. Les parcelles

Six parcelles de un mètre carré ont été implantées. Sur chacun des deux types de surface (recouvrement sableux et surface nue pelliculaire) trois traitements différents ont été entrepris:

1. Surface non remaniée

2. *Sarclage traditionnel*, à l'aide d'une houe constituée d'une lame métallique en demi-lune munie d'ailerons (iler) ajoutée à un manche d'environ deux mètres de long. Cette opération est destinée à

détruire les mauvaises herbes. Elle s'exerce en enfonçant obliquement la lame à très faible profondeur (moins de cinq centimètres) et en lui imprimant de vigoureux mouvements de va et vient. Cela a pour effet non seulement de trancher le système racinaire des adventices, mais également de détruire les organisations pelliculaires superficielles. Il est d'ailleurs significatif que le terme vernaculaire utilisé pour ce travail est synonyme de *rupture de croûte*.

3. *Culture de mil*. Les cultivateurs installent le plus souvent leurs parcelles sur des zones qui présentent peu de taches nues pelliculaires. Il arrive néanmoins que certaines d'entre elles se trouvent mises en culture. Le mil est semé en poquets séparés d'un pas (60 à 80 cm). Le semis est recommencé autant de fois que l'exigent les conditions climatiques. Lors de l'expérimentation (mois de novembre), les champs étaient récoltés, mais les chaumes encore érigés atteignaient plus d'un mètre de hauteur.

Avant les essais les parcelles ont été décrites:

1. Parcelles non remaniées

— *Sur zone nue pelliculaire*: un réseau de fentes de 10 mm de profondeur et de 2 mm de large délimitent des polygones de 20 à 30 cm de côté. Ces polygones sont couverts d'une pellicule dure épaisse de 1 à 2 mm solidaire du matériau sous-jacent. L'enfoncement du cadre de la parcelle a provoqué sur la bordure une rupture de 1 cm de large de la pellicule. Du goudron a été coulé dans les zones fragmentées afin d'éviter cet effet de bordure.

— *Sur recouvrement sableux*: 85 % de la surface est couverte par des pailles couchées de graminées spontanées. Le matériau sableux superficiel présente une différenciation pelliculaire très fragile épaisse d'un demi-millimètre. D'autres pellicules du même type, discontinues, se retrouvent au moins sur trois niveaux au sein de ce recouvrement sableux épais de 2 cm. Dessous, en transition brutale, le matériau présente les mêmes caractéristiques que celui situé directement sous la pellicule de la parcelle précédente.

2. Parcelles sarclées

— *Sur zone nue pelliculaire*: la pellicule a été détruite et décapée sur une profondeur de 2 cm.

— *Sur recouvrement sableux*: 45 % de la surface est couverte par des pailles couchées. Le sarclage a brisé la pellicule sableuse très fragile et a remanié le recouvrement sableux sur une épaisseur de 3 cm. A une profondeur de 5 cm apparaît une pellicule plus épaisse,

dure, constituée d'éléments fins et qui présente une porosité vésiculaire assez analogue à celle qui couvre la première parcelle décrite. Ce caractère, maintes fois observé en zone sahélienne et notamment au Sénégal (VALENTIN - 1983) permet d'affirmer que ces matériaux sableux superficiels résultent bien d'un apport.

3. Parcelles cultivées

— *Sur zone nue pelliculaire*: les deux poquets de mil ainsi que les pailles couchées couvrent 20 % de la surface. Sous ces débris végétaux, un micro-horizon discontinu sableux épais de 4 mm présente une porosité vésiculaire très marquée. Dessous et sur l'ensemble de la parcelle, une pellicule semblable à celle de la première parcelle couvre la surface du sol.

— *Sur recouvrement sableux*: 57 % de la surface (mesurés par la méthode des points quadrats) sont recouverts par deux poquets de mil et des pailles couchées. Le recouvrement sableux n'est épais que de 3 cm. Il contient de nombreux fragments de pellicule sableuse fragile à porosité vésiculaire. Dessous apparaît une pellicule dure constituée d'éléments fins, semblable à celle décrite pour la première parcelle.

Tableau n° 2 : Principales caractéristiques des parcelles expérimentales

Type	Désignation	Pente (%)	Couvert (%)	Épaisseur du recouvrement sableux (cm)
<i>par. non remaniées</i>				
zone nue pelliculaire	1P	4.4	0	0
recouvr. sableux	1S	4.2	85	2
<i>parcelles sarclées</i>				
zone nue pelliculaire	2P	4.1	0	0
recouvr. sableux	2S	4.7	45	5
<i>parcelles cultivées</i>				
zone nue pelliculaire	3P	2.3	20	0
recouvr. sableux	3S	4.6	57	3

2.3. Les appareils

Pour tenir compte de l'impact des gouttes de pluies sur la réorganisation superficielle, l'infiltration a été mesurée, non pas sous double anneau, mais sous pluies simulées en utilisant le minisimulateur de pluie (infiltromètre à aspersion) construit par l'ORSTOM (ASSELIN et VALENTIN - 1978; fig. n° 1). Cet appareil permet de simuler

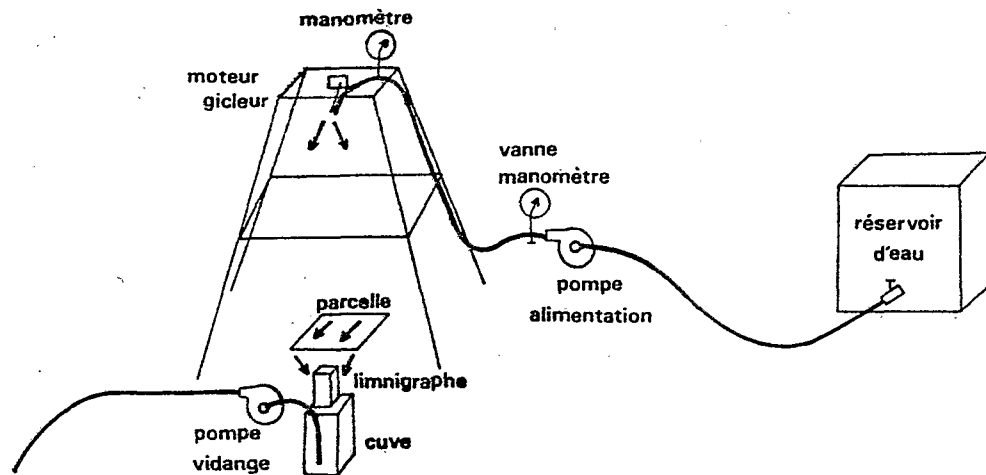


Fig.n°1 : Schéma de principe de l'infiltromètre à aspersion

des pluies dont les intensités, qui peuvent être modifiées en cours d'averse, varient entre 30 et 140 mm/h. Les énergies cinétiques au sol ainsi obtenues sont peu différentes de celles mesurées sous pluies naturelles (fig. n° 2).

2.4. Les protocoles

Les protocoles ont été établis en respectant le plus possible les données climatiques régionales. Il a été décidé que le hyétogramme de l'averse simulée devait ressembler à celui d'une averse de récurrence décennale de la région d'étude. Les conditions de hauteur-durée-fréquence (BRUNET-MORET - 1963) doivent être respectées. Le total cumulé sur chaque parcelle doit rester inférieur à la moyenne interannuelle de la région.

Chaque pluie de 90 mm commence avec une intensité d'imbibition de 60 mm/h pour passer aussitôt après à un pic maximum de 120 mm/h; les intensités décroissent ensuite régulièrement pour former la traîne de l'averse. La quatrième et dernière pluie du protocole est effectuée en commençant par les faibles intensités de façon à terminer sur les fortes intensités qui interviennent sur un sol saturé superficiellement et provoquent un ruissellement maximal (fig. n° 3).

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1. Les lames infiltrées

Bien que les essais aient été menés en novembre, deux mois environ après les dernières pluies, le profil hydrique initial (fig. n° 4) montre que les réserves sont très faibles: un peu moins de 65 mm sur 150 cm, alors que la porosité totale cumulée pour une même profondeur correspond à 590 mm. Il faut voir dans cette sécheresse du sol non seulement l'effet d'un drainage profond important pour ce type de couverture pédologique, mais surtout l'influence d'une évapotranspiration intense (7,1 mm/jour d'ETP calculée par la formule de PENMAN pour une albédo de 0,15) en novembre.

Les lames d'eau infiltrées lors de chaque pluie simulée varient considérablement d'une parcelle à l'autre (tableau n° 3):

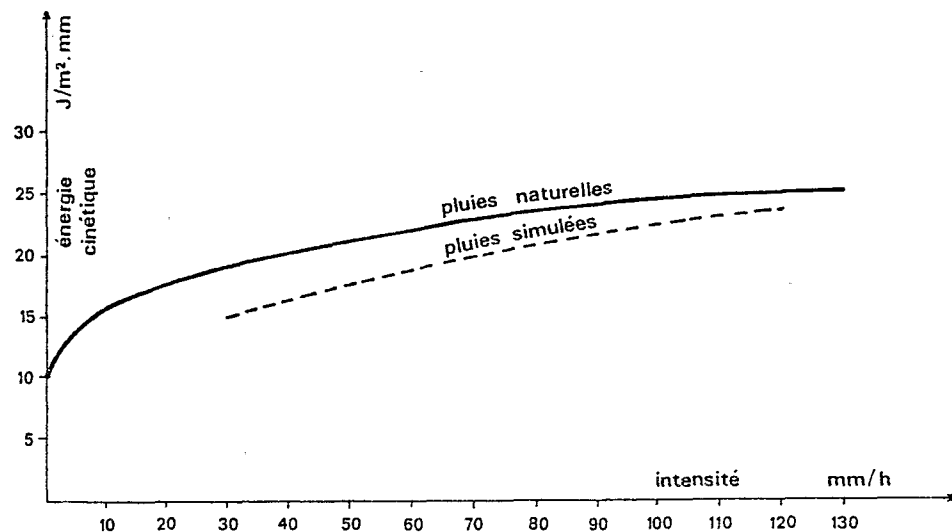


Fig.n°2 : Comparaison des énergies cinétiques des pluies simulées et des pluies naturelles déterminées à Abidjan (ASSELINE et VALENTIN - 1984)

Tableau n° 3: Lames d'eau infiltrées au cours des pluies

Parcelle	Lame infiltrées (mm) pour des hauteurs de 90 mm				Total pour une haut. cumulée de 360 mm	Kf (%)
	pluie 1	pluie 2	pluie 3	pluie 4		
1P	14.6	24.4	12.9	23.1	75.0	20.8
1S	73.0	43.6	57.5	24.3	198.4	51.1
2P	22.3	5.9	13.8	11.6	53.6	14.9
2S	89.9	63.4	37.4	18.9	209.6	58.2
3P	28.7	26.4	39.3	24.5	118.9	33.0
3S	89.7	84.9	84.5	70.8	329.9	91.6

Kf: coefficient d'infiltration: somme des lames infiltrées pluie cumulée x 100.

Ce tableau appelle quelques remarques:

1. Alors que les parcelles 1P et 1S se distinguent essentiellement par des caractères de surface (recouvrement sableux de 2 cm et couverture de résidus végétaux), les lames d'eau infiltrées diffèrent largement: les quantités infiltrées en 1S représentent plus du double de 1P.

2. Il n'est guère aisé d'expliquer ces variations par une éventuelle hétérogénéité de la couverture pédologique dans la mesure où l'écart des résultats obtenus sur les parcelles à recouvrement sableux est systématique par rapport aux parcelles sur zones nues pelliculaires. Ces différences s'accroissent même lorsque la surface est soumise au sarclage et lorsque la parcelle est cultivée.

3. Dans le cas du sarclage, l'examen de la surface des parcelles après les pluies montre que les pellicules se sont reconstituées très rapidement: fragile et sableuse pour le recouvrement sableux, dure et constituée d'éléments fins pour la surface nue pelliculaire. Il ne semble pas par conséquent que le sarclage favorise grandement l'infiltration au moins pour les intensités de pluies utilisées lors de l'expérimentation. Pour la parcelle 2P on assiste même à une péjoration par rapport au témoin 1P.

4. Même si son effet est surtout sensible dans le cas du recouvrement sableux la mise en culture favorise l'infiltration pour les deux types de surfaces. Il faut y voir surtout l'influence de l'interception par la végétation et la transmission de l'eau par l'intermédiaire des tiges. En effet malgré un recouvrement sableux peu épais (2 cm) et un couvert bien inférieur à celui de la parcelle 1S, l'infiltration est presque totale sur la parcelle 3S.

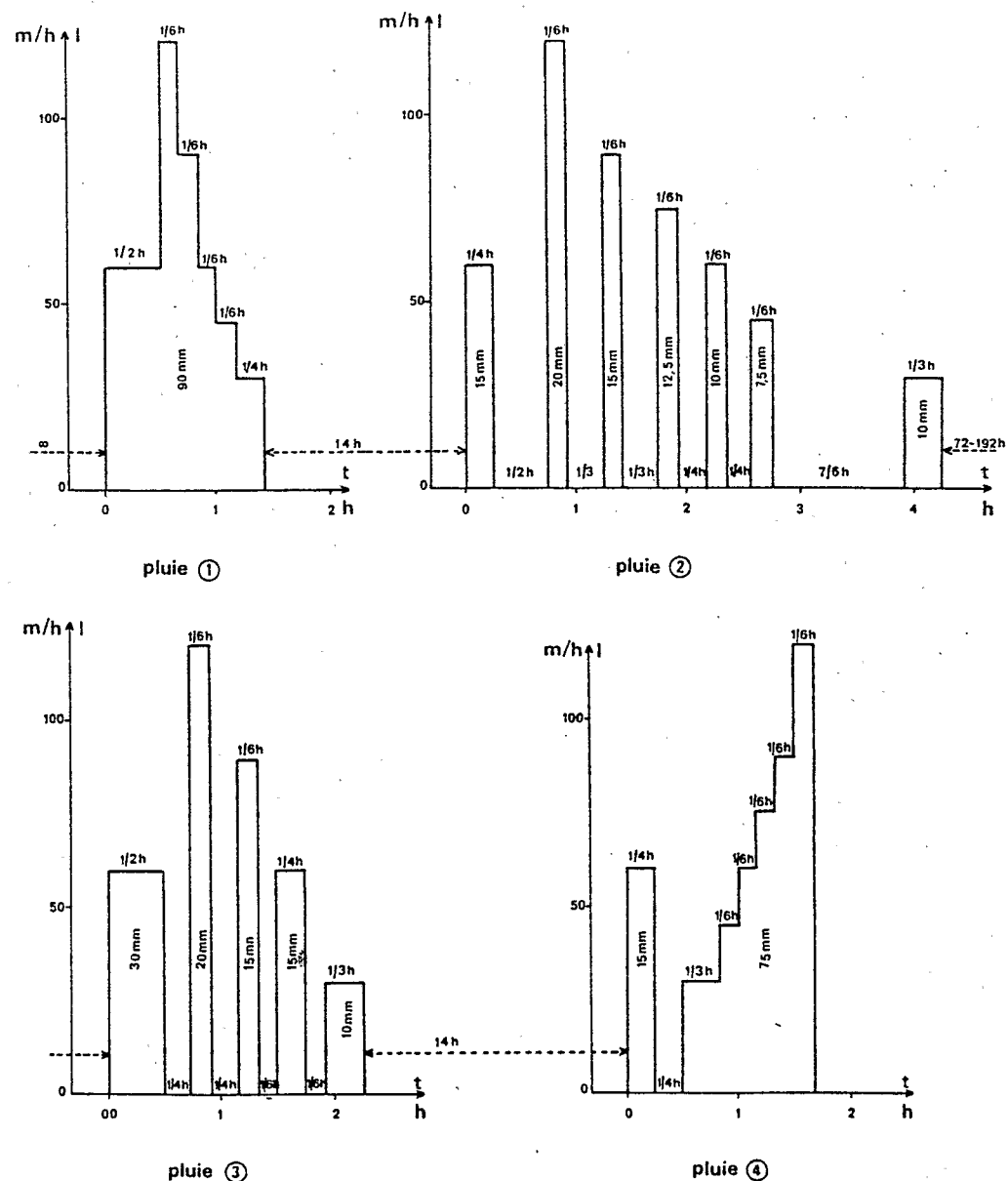


Fig. n°3 : Hyetogrammes du protocole de simulation de pluies

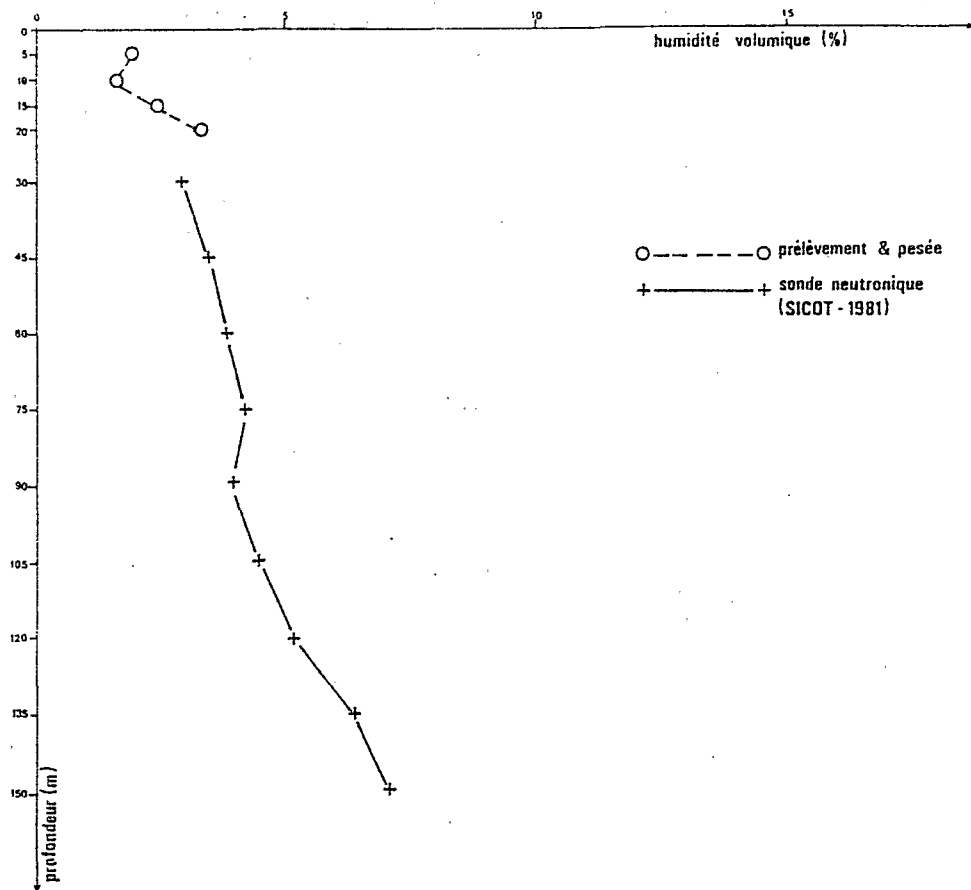


Fig. n° 4 : Kolel-piemont, profil hydrique avant les pluies

5. L'étude de l'évolution des lames infiltrées au cours des quatre pluies met également en évidence la grande différence de comportement entre les parcelles installées sur recouvrement sableux et celles sur zones nues pelliculaires. Pour ces dernières, les quantités d'eau infiltrées semblent indépendantes de l'état hydrique initial. C'est même pour les états les plus humides (qui correspondent aux pluies n° 2 et 4) que l'infiltration est la plus marquée pour la parcelle 1P. Les parcelles sur recouvrement sableux présentent par contre une évolution des lames infiltrées qui semblent davantage reliées à l'état hydrique de la parcelle (lame infiltrée cumulée et durée de ressuyage). Une telle différence peut s'interpréter par le rôle qu'exerce la pellicule sur l'infiltration. Sa porosité réduite ne permet pas l'infiltration qui serait fonction du degré de désaturation des horizons plus profonds.

3.2. Les pluies d'imbibition

Une composante des lames infiltrées mérite d'être analysée avec plus d'attention: la *pluie d'imbibition* ou *pluie d'initiation au ruissellement*. Cette phase de l'averse correspond à la partie qui précède l'apparition du ruissellement. Il est nécessaire en effet, avant que la parcelle ruisselle, que d'une part l'intensité de précipitation devienne supérieure à l'intensité d'infiltration et que d'autre part une certaine quantité de pluie humecte une certaine épaisseur de sol.

Avant l'apparition du ruissellement, l'infiltration est totale, alors qu'ensuite elle peut se retrouver considérablement réduite. Le tableau n° 4 présente les pluies d'imbibition pour chaque parcelle et pour les quatre pluies de 60 mm/h situées au début de chaque train d'averses.

Tableau n° 4: Pluies d'imbibition
(intensité de précipitation: 60 mm/h)

Parcelle	Pluie d'imbibition (mm)				Total (mm)	T (%)
	pluie 1 (ta=∞)	pluie 2 (ta=14h)	pluie 3 (ta=72-12h)	pluie 4 (ta=14h)		
1P	1.0	0.8	0.7	0.7	3.2	4
1S	31.0	1.7	10.5	2.9	46.1	23
2P	4.8	0.8	1.7	1.3	8.6	16
2S	36.2	8.8	8.9	3.1	57.0	27
3P	6.3	1.1	5.3	2.1	14.8	12
3S	31.8	12.2	10.7	2.9	57.6	17

T: somme des pluies d'imbibition x 100/lames infiltrées cumulées.
ta: temps écoulé entre l'averse précédente et l'averse étudiée.

Le ruissellement apparaît sur sol sec après des quantités de pluies très faibles pour les parcelles sur sol nu pelliculaire: 1 mm pour la parcelle 1P; cela signifie, compte-tenu de l'artefact introduit par le dispositif de mesure dû à la longueur du canal d'écoulement, que la parcelle commence à ruisseler quasi instantanément. Il est clair qu'un tel comportement est fort éloigné des modèles pour lesquels le ruissellement n'apparaît qu'à saturation du profil.

Le travail du sol ou même la présence de poquets de mil ne retardent que très peu l'apparition du ruissellement sur les autres parcelles dont la surface est nue pelliculaire. En effet la pellicule se reconstitue très vite, dès les premières gouttes pour la parcelle 2P.

Il en va autrement pour les parcelles installées sur recouvrement sableux pour lesquelles l'apparition du ruissellement paraît davantage liée au degré de saturation du profil. Pour un sol sec, l'infiltration

est totale jusqu'à une trentaine de millimètres de pluie, ce qui correspond sensiblement à un front d'humectation situé à une dizaine de centimètres, soit à une profondeur nettement supérieure à celle du recouvrement sableux (cette propriété est utilisée traditionnellement par les paysans pour décider de l'aptitude au semis). Celui-ci permet une communication de la surface vers les horizons profonds, et donc un contrôle des caractères de profondeur sur le régime d'infiltration.

Il faut remarquer qu'une pluie de plus de 30 mm est déjà un événement exceptionnel qui ne se reproduit statistiquement que trois à quatre fois chaque année. L'infiltration reste donc le plus souvent totale sur les recouvrements sableux, alors qu'un ruissellement peut se manifester très fréquemment sur les zones nues pelliculaires (c'est le ruissellement *en nappe* caractéristique des glacis sahéliens).

3.3. Les intensités d'infiltration

Pour chaque averse, l'intensité d'infiltration atteint un palier F_n , appelé *intensité minimale d'infiltration*. La valeur de F_n est comparable à celle du coefficient hydraulique du matériau humecté (VALENTIN - 1981); elle dépend théoriquement de l'humidité de ce matériau et de sa tension matricielle. Dans la mesure où ces relations ne sont pas simples pour un sol naturel, particulièrement lorsqu'il est fortement stratifié, et aucune mesure tensiométrique n'ayant été réalisée, nous nous contenterons de présenter les intensités d'infiltration minimales obtenues pour les sols les plus humides en début d'averse (tableau n° 5).

Tableau n° 5: Intensités d'infiltration (mm/h)

Parcelle	1P	1S	2P	2S	3P	3S
Intensité minimale	1.6	12.0	1.3	1.6	6.0	28.9

Il convient de remarquer les intensités minimales très faibles mesurées sur les parcelles de zones nues pelliculaires. Ainsi le ruissellement peut se manifester pour des intensités de pluies assez peu marquées (entre 20 et 40 mm/h suivant les traitements), et cela pour des quantités d'eau très réduites. Quel que soit le traitement et quel que soit l'état d'humectation le ruissellement apparaît donc dès les premières minutes de pluie, si celle-ci est d'intensité moyenne, sur les zones nues pelliculaires.

Pour les zones de recouvrement sableux, les intensités limites de ruissellement sont nettement plus élevées, surtout en conditions sèches. La parcelle 2S offre un comportement qui mérite une ana-

lyse plus approfondie. Le plus fort palier d'infiltration obtenu en condition sèche sur cette parcelle est de 119,3 mm/h pour une intensité de pluie de 120 mm/h, alors que l'infiltration minimale observée de 1,6 mm/h a été obtenue pour une intensité de 30 mm/h. Le résultat peut s'interpréter par la fragilité de la pellicule sableuse qui se forme sur cette parcelle. Des énergies cinétiques modérées suffisent à la constituer et par conséquent à limiter l'infiltration, alors que l'impact des gouttes à forte intensité la détruit, ouvrant ainsi la porosité superficielle. Il faut noter dans ce dernier cas l'existence d'une lame d'eau superficielle accentuant le processus par une *mise en charge*.

4. CONCLUSION

Les quelques résultats exposés ici attirent l'attention sur le rôle majeur que peuvent jouer des différenciations superficielles parfois minimales (recouvrement sableux de 2 à 5 cm d'épaisseur, pellicule dure de 2 mm) sur le régime d'infiltration. Leur effet semble particulièrement marqué dans des conditions sèches pour lesquelles le déficit de saturation des horizons profonds ne peut intervenir sur le régime d'infiltration que si la porosité est suffisamment ouverte en surface.

Il apparaît ainsi que les modèles de bilan hydrique ne peuvent pas, sous peine d'être trop éloignés de la réalité, ignorer l'existence de telles organisations superficielles et leur influence primordiale sur la détermination de la part de l'eau de pluie perdue par ruissellement.

BIBLIOGRAPHIE

- ASSELIN, J., VALENTIN, C. (1978). *Construction et mise au point d'un infiltromètre à aspersion*. Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., vol. XV, 1978.
- ASSELIN, J., VALENTIN, C. (1984). *A multiple-intensity rainfall simulation for African field conditions*. 4 p., 3 fig., 8 réf. Submitted for publication to the International Centre for Soil Conservation Information.
- BOUGERE, J. (1979). *L'état de dégradation des formations sableuses du Sahel Voltaïque ou l'urgence d'une intervention*. Travaux de l'Institut de Géographie de Reims.
- BRUNET-MORET, Y. (1963). *Étude générale des averses exceptionnelles en Afrique Occidentale: République de Haute-Volta*. ORSTOM, CIEH, Paris, Ouagadougou.
- CHEVALLIER, P. (1982). *Simulation de pluies sur deux bassins versants sahéliens (Mare d'Oursi, Haute-Volta)*. Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., vol. XIX, n° 4, 1982.
- COLLINET, J., VALENTIN, C. (1982). *Effects of rainfall intensity and soil surface heterogeneity on steady infiltration rate*. 10 p., 2 fig., 13 réf. XII International Cong. of the I.S.S.S., New Delhi, India.
- LEPRUN, J.C. (1977). *Esquisse pédologique à 1/50 000 des alentours de la Mare d'Oursi avec notice et analyse des sols*. ORSTOM, DGRST, Ouagadougou, Paris

- LEPRUN, J.C. (1978). *Compte-rendu de fin d'études sur les sols et leur susceptibilité à l'érosion. les terres de cures salées, les formations de "brousse tigrée" dans le Gourma.* ORSTOM, DGRST, Paris, multigr., 45 p., 13 fig.
- PION, J.C. (1979). *Altération des massifs cristallins basiques en zone tropicale sèche. Étude de quelques toposéquences en Haute-Volta.* Sciences géologiques n° 57, Université Louis Pasteur de Strasbourg.
- SICOT, M (1981). *Analyse sommaire de la dynamique de l'eau dans les sols sahéliens sous pluies simulées.* ORSTOM, Ouagadougou.
- VALENTIN. C. (1981). *Organisations pelliculaires superficielles de quelques sols de région subdésertiques (Agadez — Niger).* Thèse Université Paris VII.
- VALENTIN. C. (1983). *Effet de pâturage et du piétinement sur la dégradation des sols autour des points d'eau artificiels en région sahélienne (Ferlo, nord Sénégal).* ORSTOM. DGRST, Adiopodoumé, Dakar, Paris.