

VII Réunion RESEAU EROSION

VIèmes JOURNEES HYDROLOGIQUES DE L'ORSTOM

Montpellier, 10-15 septembre 1990

VALORISATION AGRICOLE DES EAUX DE RUISSELLEMENT  
ET LUTTE CONTRE L'EROSION SUR CHAMPS CULTIVES EN MIL  
EN ZONE SOUDANO-SAHELIENNE  
BURKINA FASO - PROVINCE DU YATENGA - REGION DE BIDI

LAMACHERE J.M., ORSTOM

SERPANTIE G., ORSTOM

Institut Français de Recherche pour le  
Développement en Coopération - O R S T O M -  
O1 B.P. 182 - Ouagadougou - Burkina Faso

RESUME

Dans la province du Yatenga, au nord du Burkina Faso, les champs cultivés sont souvent surmontés de surfaces peu perméables. Le ruissellement des eaux de pluie sur ces impluviums constitue à la fois une ressource en eaux superficielles pour les cultures et une menace pour les sols sableux fins très vulnérables à l'érosion hydrique. En l'absence de ces apports, une partie non négligeable de la pluie est perdue par ruissellement, ce qui peut accroître l'incidence d'un déficit pluviométrique sur les rendements.

Les nouvelles pratiques comme le stockage prolongé et l'irrigation de complément, l'épandage de crues torrentielles, de même que l'intensification de l'entretien de l'état de surface sont des solutions encore inadaptées à l'état des systèmes de production paysans. Encadrement technique et agriculteurs s'intéressent par contre à l'aménagement des conditions du ruissellement : labours avant semis, systèmes de diguettes isohypses, systèmes à impluviums.

Afin d'analyser les effets d'obstacles filtrants cloisonnés sur champs labourés et non labourés, cultivés en Mil et surmontés d'impluviums, trois parcelles expérimentales ont été installées près du village de Bidi au nord du Yatenga. Les observations des pluies, des ruissellements, des transports solides, de l'humidité des sols et des productions agricoles se sont poursuivies sur ces parcelles pendant six ans (1985-1990).

L'analyse de l'élaboration des rendements met en évidence l'impact généralement bénéfique des cordons pierreux et des labours appliqués à un système de culture dit "des champs de brousse" (sol ferrugineux sableux fin, faible fertilisation, deux sarclages en buttes). En année "pluviométriquement médiocre" (1987), on a constaté un accroissement du rendement en grain sec sur la parcelle aménagée par rapport au témoin de l'ordre de 20 % en haut de parcelle, de 40 % en bas de parcelle. Cet accroissement est attribué à une forte amélioration de l'alimentation hydrique sur les aires d'inondation. Pour une année à pluviométrie bien répartie (1986), les labours ont permis d'accroître de 55 % la production de matière sèche et de doubler la production en grain. Il faut prendre en compte ici l'impact du labour sur l'enherbement, la minéralisation et l'enracinement, donc l'alimentation minérale principalement.

L'analyse hydrologique met en relief l'effet prépondérant de l'état de surface des sols sur les volumes infiltrés et les volumes ruisselés. Sous impluvium, l'effet des cordons pierreux est surtout significatif à l'occasion d'averses importantes mais peu intenses, sur sol encore rugueux. Ils accroissent en moyenne de 15 % les volumes infiltrés, provoquent un écrêtage important en abaissant de 40 % le débit de pointe et en augmentant le temps de base des crues. Pour une hauteur de pluie donnée, l'impact de l'aménagement sur le ruissellement dépend étroitement de l'état de la rugosité du sol, de l'humidité des horizons de surface ainsi que de l'intensité de l'averse. Le cloisonnement de l'aire d'inondation et la suppression de l'impluvium régularisent l'écoulement et accroissent

l'impact de l'aménagement sur l'infiltration. Les cordons pierreux cloisonnés apparaissent très efficaces pour lutter contre l'érosion. Ils divisent par 2 les quantités de terre exportées hors des parcelles cultivées.

L'impluvium améliore considérablement le bilan hydrique en augmentant à proximité de celui-ci la valeur de la lame infiltrée lors des averses peu abondantes. L'aménagement réduit l'érosion qu'il provoquerait lors de ruissellements intenses, mais sans accroître exagérément l'infiltration puisque son efficacité baisse à ces occasions.

Les labours améliorent généralement les conditions de l'installation du peuplement : enherbement, disponibilités minérales, profondeur d'humectation, aération. Cette efficacité doit être mise en balance avec certains risques : érosion par charriage en cas de tornades, appauvrissement rapide du sol, dégradation de la structure en cas de labours répétés. Les conditions du labour prennent ici toute leur importance.

## INTRODUCTION

Au nord du 13<sup>ème</sup> parallèle, dans la province du Yatenga (figure n° 1), les années 1982, 1983 et 1984 sont les plus sèches parmi les observations effectuées depuis 1920. A Ouahigouya, les moyennes pluviométriques interannuelles, calculées sur des périodes de 5 années consécutives, sont supérieures à 700 millimètres jusqu'en 1966. La moyenne pluviométrique interannuelle est égale à 568 millimètres sur la période 1972-1976, égale à 424 millimètres sur la période 1982-1986.

Sans préjuger de l'évolution future des précipitations, on observe donc que les paysans subissent, depuis une vingtaine d'années, une longue période sèche sans équivalent dans la chronique des précipitations enregistrées. Pour faire face à cette sécheresse, les paysans et les organisations qui continuent à miser sur l'agriculture pluviale, essentiellement sur la culture du Mil, *Pennisetum typhoides*, ont fait appel, dans certaines régions, à des variétés plus nordiques à cycle court. Dans d'autres régions, comme le centre et le nord du Yatenga, les paysans préfèrent conserver des variétés souples, qui ont fait leurs preuves, et modifier la gestion habituelle de l'eau par un aménagement des conditions du ruissellement, plus compatible avec leurs moyens, leurs systèmes de culture extensifs et l'organisation générale des systèmes de production soudano-sahéliens que d'autres solutions à caractère intensif (irrigations d'appoint, multiplication des sarclages, billonnage cloisonné...).

Par un essai interdisciplinaire, réalisé de 1985 à 1988 dans la région de Bidi, au nord du Yatenga, nous avons voulu préciser comment les trois pratiques, travail du sol avant semis, utilisation des eaux de ruissellement issues d'un impluvium et création d'obstacles isohypses filtrants modifiaient le milieu cultivé et la dynamique de l'eau et quelles étaient les conséquences de telles pratiques sur la conduite d'un champ de Mil et l'élaboration des rendements.

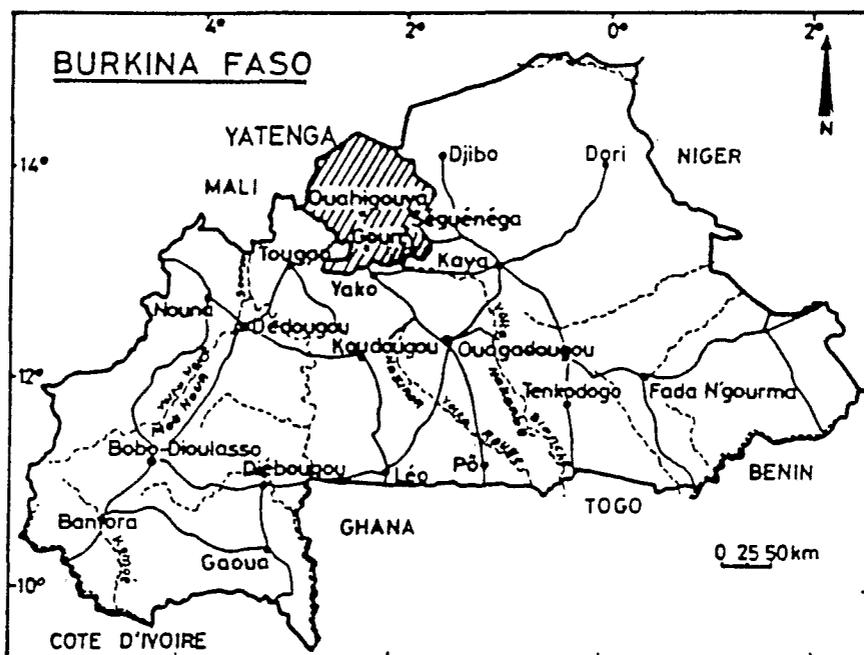


Figure 1. Carte du Burkina Faso.

### 1. LE DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Le dispositif expérimental des parcelles agronomiques de BIDI est installé sur le versant nord-est d'une petite butte. Trois parcelles contiguës, orientées dans le sens de la plus grande pente (2,5 %), longues de 150 mètres, larges de 20 à 32 mètres, ont été implantées de telle sorte qu'elles recouvrent dans leur tiers supérieur un impluvium inculte où la cuirasse ferrugineuse est proche de la surface du sol. Les deux tiers inférieurs des parcelles couvrent un sol constitué de sables éoliens dont l'épaisseur croit de 0,25 mètre près de l'impluvium à 2,2 mètres en une quarantaine de mètres. Le sol filtrant, profond, est exploité par une monoculture de Mil dont l'itinéraire technique suit le modèle de gestion paysanne "des champs de brousse" avec un semis direct en poquets et semences locales, des

resemis éventuels, un premier sarclage tardif au début du mois d'août avec légère fertilisation minérale (10 unités N, P, et K) et un deuxième sarclage avant la floraison.

La parcelle la plus à gauche, quand on regarde vers l'amont du versant, est utilisée comme parc témoin. Elle est cultivée de manière traditionnelle. La parcelle médiane a subi un aménagement en cordons pierre isohypses constitués d'une double rangée de blocs de cuirasse ferrugineuse (40 kg par mètre linéaire), espacés d'environ 20 mètres. Aucun cordon pierreux n'a été posé sur l'impluvium. La troisième parcelle, située à droite quand on regarde vers l'amont du versant, est identique à la parcelle médiane mais elle est labourée selon des courbes de niveau avec une charrue bovine attelée vers la fin du mois de juin.

Chaque parcelle est limitée par des tôles galvanisées, fichées en terre sur une profondeur de quelques centimètres et dépassant de la surface du sol d'une vingtaine de centimètres. Les limites des parcelles ont été implantées avec beaucoup de soin, de telle sorte qu'elles suivent rigoureusement les lignes de plus grande pente évitant ainsi le cheminement préférentiel des eaux le long des bordures artificielles. En aval de chaque parcelle, une surface bétonnée, limitée par un muret haut d'une trentaine de centimètres, collecte les eaux de ruissellement jusqu'au dispositif de mesure des niveaux d'eau et des débits. Ce dispositif comprend de l'amont vers l'aval : un limnigraphe avec échelles limnimétriques, un canal jaugeur de section rectangulaire pour la mesure des forts débits (20 à 200 l/s), une fosse à sédiments équipée d'échelles limnimétriques et d'un limnigraphe, un déversoir triangulaire à mince paroi pour la mesure des faibles débits (0 à 30 l/s). Après l'étalonnage des canaux jaugeurs et des déversoirs, le double dispositif d'enregistrement des niveaux d'eau permet d'obtenir une précision de l'ordre de 20 % dans l'estimation des débits aux exutoires des parcelles. Pour les faibles débits, c'est la précision de la mesure des hauteurs d'eau qui détermine l'incertitude sur les débits. Pour les forts débits, c'est l'imprécision dans l'étalonnage du canal qui se révèle déterminante.

Le dispositif pluviométrique comprend 4 pluviomètres et un pluviographe, répartis à raison de deux pluviomètres en amont et deux pluviomètres en aval des parcelles. Le pluviographe a été installé successivement d'abord en amont puis en aval, près de la parcelle labourée.

Pour les mesures d'humidité du sol, 20 tubes de sonde à neutrons ont été implantés sur les parcelles (voir fig. n° 2), de manière à suivre l'évolution des profils hydriques de l'amont vers l'aval, à différentes distances des cordons pierreux.

Pour les mesures de peuplement végétal, les parcelles ont été subdivisées en trois zones : seule la bande médiane large de 40 mètres appelée "haut de parcelle" et la bande inférieure large de 40 mètres appelée "bas de parcelle" sont prises en compte dans ce document (sols semblables). Sur chaque bande, la croissance et le développement du Mil sont suivis sur des stations échantillonnées de façon à représenter correctement les variétés longitudinales du couvert végétal. A la récolte, les composantes du rendement sont mesurées sur des stations de 1 mètre carré, répétées 4 à 12 fois sur chaque zone selon l'hétérogénéité du peuplement.

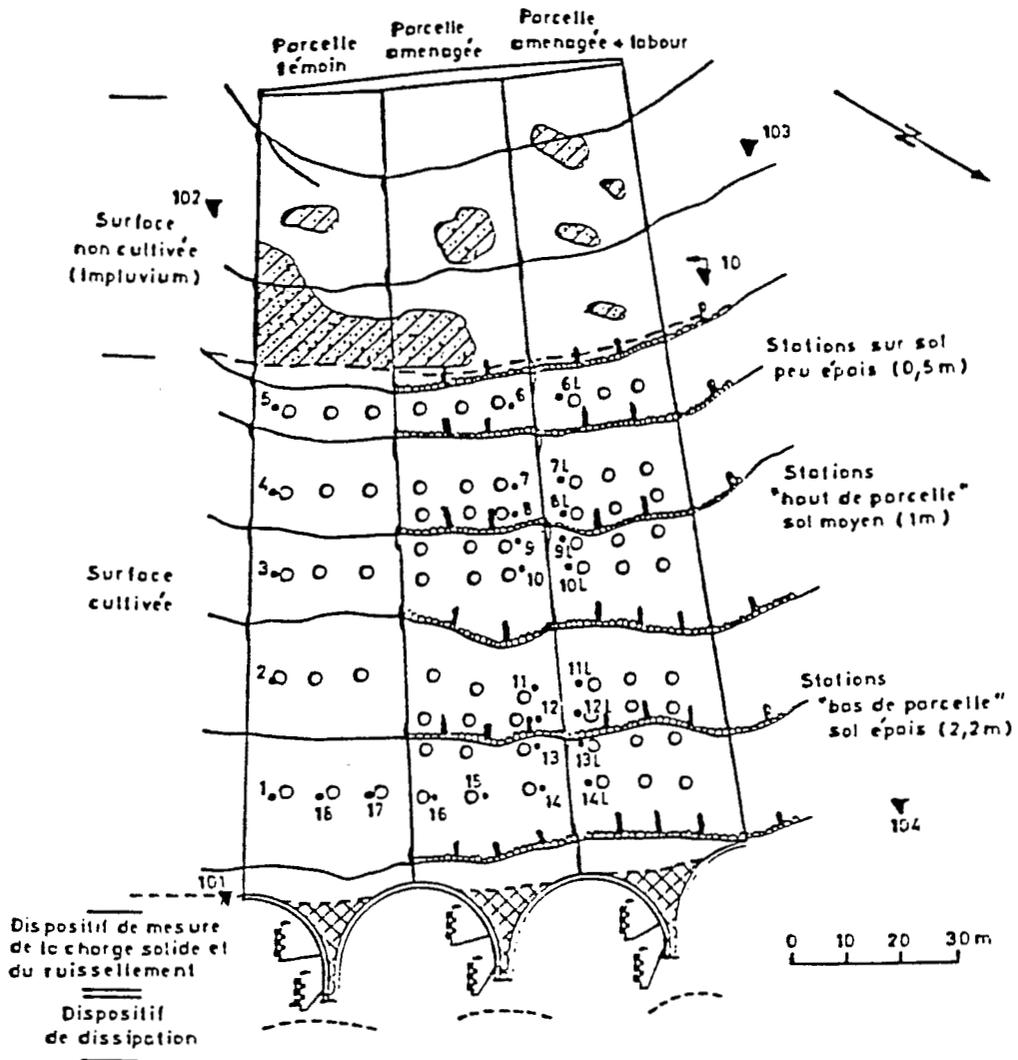
## 2. LES OBSERVATIONS PLUVIOMETRIQUES

La comparaison des hauteurs pluviométriques observées en amont et en aval des parcelles permet de conclure à des différences faibles, inférieures à 5 %, non systématiquement excédentaires d'un côté ou d'un autre des parcelles.

Tableau n° 1 : Pluviométrie décadaire sur les parcelles de BIDI, période 85-88. Totaux 85 : 320 mm ; 86 : 425 mm ; 87 : 410 mm ; 88 : 463 mm. ETP Penman : environ 50 mm par décade.

année	juin			juillet			août			septembre		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1985	4.6	6.0	17.6	37.5	51.7	20.7	30.5	80.3	44.6	10.2	6.4	9.7
1986	3.3	33.8	18.2	42.1	74.9	40.3	38.0	15.0	64.5	43.8	19.4	31.2
1987	5.9	24.6	38.9	19.5	9.4	90.2	4.9	34.6	38.4	24.9	75.4	43.0
1988	0.1	22.4	6.2	24.3	36.4	44.9	86.6	125.2	84.5	16.6	11.6	4.2

FIGURE n°2 : PLAN D'ENSEMBLE DU DISPOSITIF EXPERIMENTAL DE SAMNIWEOGO.



- 3. Point de suivi du Profil hydrique et phénologie
- Station de récolte
- ▨ Microbuttes sableuses
- Tôles (0,2m et 0,4m)
- Muret (0,2m)
- ▣ Eutoire en béton

- (Pente générale 2,5%)
- ▨ Cordons pierreux (0,25m)
  - Courbe de niveau (0,5m)
  - 102 ▾ Pluviomètre
  - 10 ▾ Pluviographe
  - ▨ Limnigraphe et échelles limnimétriques

La comparaison entre les hauteurs pluviométriques observées au pluviomètre dont la surface réceptrice est placée 1 mètre au-dessus du sol et les hauteurs pluviométriques observées au pluviomètre dont la surface réceptrice est placée au niveau du sol montre, dans certaines conditions d'exposition au vent, que le pluviomètre au sol, protégé des rejaillissements par un dispositif adéquat, reçoit des quantités d'eau de pluie systématiquement supérieures à celles reçues par le pluviomètre placé 1 mètre au-dessus du sol. Les écarts sont suffisamment importants pour qu'il en soit tenu compte dans les calculs du bilan hydrique sur les parcelles.

L'analyse de la répartition temporelle des précipitations montre des situations très contrastées. Les années 1985 et 1988 présentent deux périodes sèches de plus de 10 jours. La première période sèche se situe pendant la phase de croissance du Mil pour l'année 1985, au début du cycle végétatif pour l'année 1988. La seconde période sèche, très longue et très intense, se situe dans les deux cas pendant la phase fructifère, entre le 30 août et le 1er octobre. Cette seconde phase sèche a eu des conséquences néfastes sur la maturation des grains, d'autant plus néfastes que les périodes antérieures avaient été en 85 favorables au développement du Mil. En 88 par contre, le mil avait subi une période d'excès d'eau au mois d'août très dommageable à la croissance et au tallage.

L'année 1986 présente une bonne répartition des chutes de pluie pendant tout le cycle végétatif du Mil avec deux petites périodes sèches courtes et peu intenses.

L'année 1987 se caractérise par une longue période sèche au début du cycle végétatif, un déficit pluviométrique pendant la phase de croissance et par une pluviosité satisfaisante à la fin du cycle végétatif.

### 3. LE RUISSELLEMENT SUR LES PARCELLES AGRONOMIQUES

#### Le ruissellement annuel

L'analyse des ruissellements sur les parcelles agronomiques de Samniweogo met en évidence un fonctionnement extrêmement complexe des parcelles. A l'échelle annuelle, les résultats sont présentés sur le tableau n° 2.

Tableau n° 2 : Pluies et ruissellements annuels sur les parcelles agronomiques de Samniweogo

année	1986			1987			1988		
période	01/06 au 15/10								
hauteurs d'eau en millimètres	Pu	LE	LR	Pu	LE	LR	Pu	LE	LR
parcelle témoin	530	96	127	483	93	53	512	7	94
parcelle aménagée	528	106	124	484	107	42	510	11	51
parcelle amén. et labour.	-	-	-	486	100	17	509	15	67

Pu : pluie au sol

LE : lame d'eau entrée sur les parcelles par les impluviums, estimée à partir d'équations de ruissellement empiriques

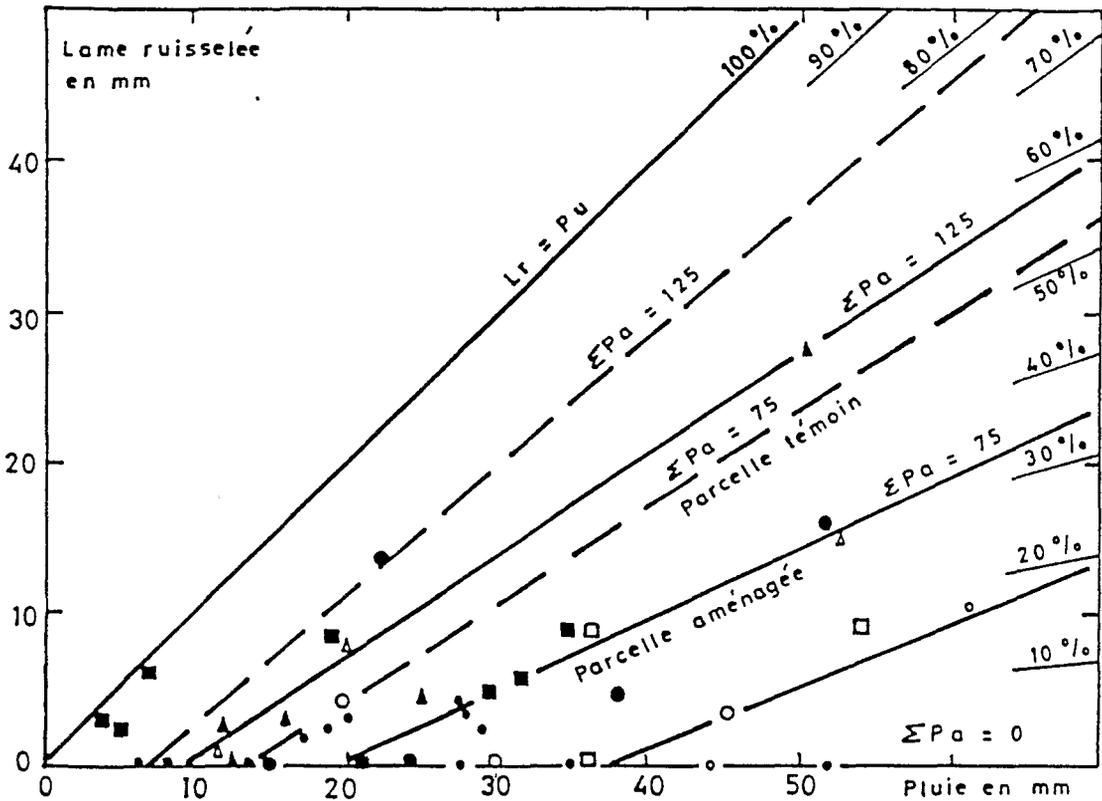
LR : lame ruisselée mesurée aux exutoires

Sous impluvium (années 1986 et 1987), les deux parcelles cultivées de manière traditionnelle réagissent sans grande différence. En l'absence d'impluvium et avec un cloisonnement des aires de rétention (année 1988), le ruissellement observé sur la parcelle aménagée est presque deux fois plus faible que le ruissellement observé sur la parcelle témoin. L'impluvium et/ou les cloisons jouent donc un rôle très important dans le fonctionnement hydrique de la parcelle aménagée.

Les deux parcelles aménagées (avec ou sans labour) ont un fonctionnement hydrique identique en 1988 mais nettement différent pour l'année 1987, année pour laquelle le ruissellement annuel est 2,5 fois plus faible sur la parcelle labourée. Cette différence s'explique par l'occurrence de fortes pluies en juillet 1987 après les labours.

Les relations entre la pluie et le ruissellement

Afin de mieux analyser le comportement des parcelles au cours de la saison des pluies en fonction du calendrier cultural, nous avons calculé pour chaque averse un indice pluviométrique ( $\Sigma Pa$ ) égal à la somme des pluies antérieures tombées depuis le précédent sarclage. Les correspondances entre lames ruisselées et pluies au sol sont reportées, crue par crue, sur la figure n° 3 pour la parcelle aménagée.



$\Sigma Pa$  = somme des pluies antérieures depuis le sarclage

- $\Sigma Pa < 50$  mm
- ▲  $\Sigma Pa < 150$  mm
- $\Sigma Pa < 100$  mm
- $\Sigma Pa > 150$  mm

● ● ▲ ■ : années 1986-1987    ○ ○ ▲ □ : année 1988

Figure n° 3 : Lames ruisselées sur la parcelle aménagée en fonction de la pluie au sol.

Le figuré choisi pour représenter chaque classe des pluies antérieures permet de mettre en évidence une évolution de l'aptitude au ruissellement des sols sableux fins sarclés dans le sens d'un accroissement rapide avec la quantité de pluie tombée sur le sol depuis le dernier sarclage. Afin de préciser cette évolution nous avons réalisé des expériences de simulation de pluie sur le même type de sol, à proximité des parcelles agronomiques de Samniweogo, aux différents stades de son évolution après sarclage. Les résultats de cette expérimentation sont présentés au tableau n° 3 où ils sont confrontés aux renseignements collectés sur les parcelles.

Les trois paramètres retenus pour représenter l'évolution d'un sol sarclé en fonction de la pluie antérieure sont :

- . l'intensité de pluie limite du ruissellement,  $I_l$ , exprimée en mm/h,
  - . la capacité de stockage superficiel du sol,  $Lr_0$ , exprimée en mm.
  - . le différentiel de ruissellement,  $a = \frac{\partial Lr}{\partial P} = R / (I - I_l)$
- avec R intensité du ruissellement, I intensité de la pluie,

La lame ruisselée peut alors être formulée par l'expression suivante en fonction de la pluie P et de sa durée (t - t<sub>0</sub>) :

$$\text{Si } I > I_1 \quad L_r = a P - a I_1 (t - t_0) - L_{r_0}$$

Tableau n° 3 : Evolution de l'aptitude au ruissellement et à l'infiltration d'un sol sableux fin sarclé.

Somme pluies ant. en mm	simulation de pluie 1988			parcelle témoin 1986-1987			parcelle aménagée 1986-1987			parcelle aménagée 1988		
	Pa	a	I <sub>1</sub>	L <sub>r0</sub>	a	I <sub>1</sub>	L <sub>r0</sub>	a	I <sub>1</sub>	L <sub>r0</sub>	a	I <sub>1</sub>
0	0.54	37	16	0.67	40	25	0.40	40	35	0.40	40	37
75	0.64	18	13	0.80	20	15	0.48	20	20	0.48	20	37
125	0.70	10	8	0.92	10	7	0.68	10	10	0.54	10	25
200	0.84	6	4	-	-	-	0.90	-	2	-	-	-

Ainsi, pour une hauteur pluviométrique de 40 millimètres tombée en 1 heure la lame ruisselée varie t-ell de 1,1 mm pour Pa égale à 75 mm, à 13 mm pour Pa égale à 125 mm et 22,6 mm pour Pa égale à 200 mm. La progression de la capacité des sols sarclés au ruissellement est donc extrêmement rapide. Au delà d'une somme de pluies antérieures tombées depuis le dernier sarclage égale à 100 millimètres, l'effet du sarclage sur l'infiltration des eaux de pluie s'atténue de manière considérable.

Le rôle de l'impluvium apparaît également très nettement sur le tableau n° 3. L'impluvium renforce de manière très importante la capacité des parcelles au ruissellement dès que la somme des pluies antérieures dépasse 100 millimètres.

#### L'effet des cordons pierreux

Pour illustrer l'effet des cordons pierreux sur le ruissellement, nous avons dessiné sur la figure n° 4 le hydrogramme des crues observées le 13 juillet 1986 aux exutoires de la parcelle témoin et de la parcelle aménagée sans labours. L'averse du 13 juillet 1986 est tombée sur un sol non sarclé ayant déjà reçu un total pluviométrique de 115 mm depuis le début de la saison des pluies.

L'intensité pluviométrique maximale sur une durée de 15 minutes était de 82 mm/h. Dans ces conditions on observe un ruissellement nettement plus faible sur la parcelle aménagée : un débit maximum de 36 % plus faible, un volume ruisselé de 13 % plus faible et une quantité de matériaux exportés inférieure de 28 % à la quantité de matériaux exportés hors de la parcelle témoin.

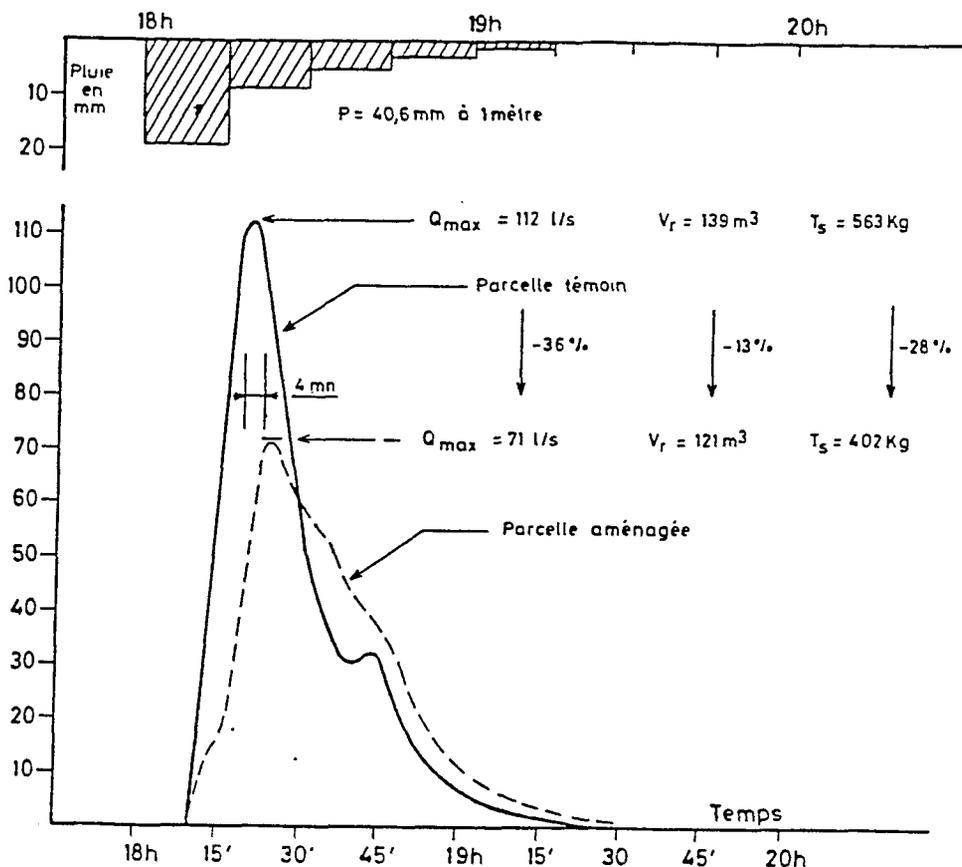


Figure n° 4 : Crues du 13 juillet 1986 sur les parcelles agronomiques de Samniwogo

Les coefficients de ruissellement des parcelles cultivées (rapport du volume ruisselé à l'exutoire sur la somme de l'eau précipitée et du ruissellement entrant) ont été calculés sur l'ensemble des événements sur trois années de mesure (150 événements dont 45 ont donné lieu à un ruissellement de plus de 1 mm). L'analyse des données par analyse de la covariance montre que l'efficacité du réseau d'obstacles à accroître l'infiltration dépend significativement de l'état du sol lors de l'averse et du régime de celle-ci. Un sol lisse ( $P_a > 100\text{mm}$ ) et humide (indice de Kohler  $> 10$ ) annule ou rend négatif l'effet de l'aménagement, en particulier si la pluie est intense. Un sol rugueux et sec, sous une pluie peu violente, optimise au contraire l'aptitude de l'aménagement à infiltrer un surplus d'eau (figures 5 et 6 : les pluies sont classées "standard" si elles suivent la tendance de la relation entre intensité et hauteur, au dessus elles sont considérées comme intenses, au dessous comme douces). Le gain global est donc faible puisque l'aménagement est incapable de réduire significativement les ruissellements lors des événements à forte intensité de ruissellement. C'est cette interaction qui explique principalement la variation interannuelle des gains d'infiltration.

En 1988, les impluviums ont été supprimés et l'aire d'inondation, en amont des cordons, systématiquement cloisonnée. On observe alors que l'effet de l'aménagement sur le coefficient de ruissellement est plus important et moins dépendant de l'état de surface et de l'intensité.

Les observations de PLANCHON (1990) par marquage des ruissellements à la fluoresceine permettent d'interpréter ces résultats.

Il observe que le ruissellement (engendré par l'imperméabilité de l'état de surface ou par l'excès d'eau par rapport à la vitesse limite d'infiltration) est tout d'abord piégé par les creux du microrelief.

Lorsque celui ci est lisse, le volume retenu est faible :

- sur une parcelle sans cordons, le ruissellement est assez rapidement collecté et canalisé en un unique exutoire, en particulier s'il existe un microrelief résiduel linéaire, comme c'est souvent le cas. Son évacuation est rapide.

- sur une parcelle munie de cordons pierreux, le ruissellement est temporairement stocké en amont des cordons. Suite au colmatage progressif, on observe dès la deuxième année d'installation que la vidange d'effectue

Figure 5 Comparaison des ruissellements parcelle témoin/parcelle aménagée . Pluies standards.

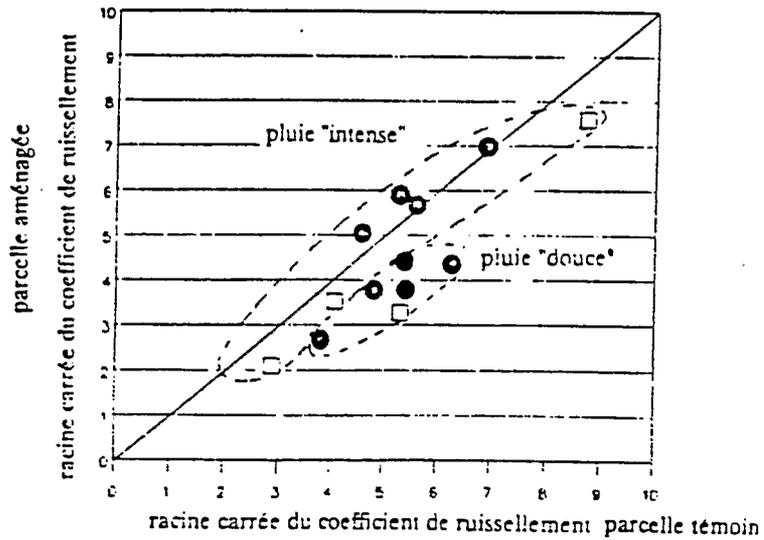
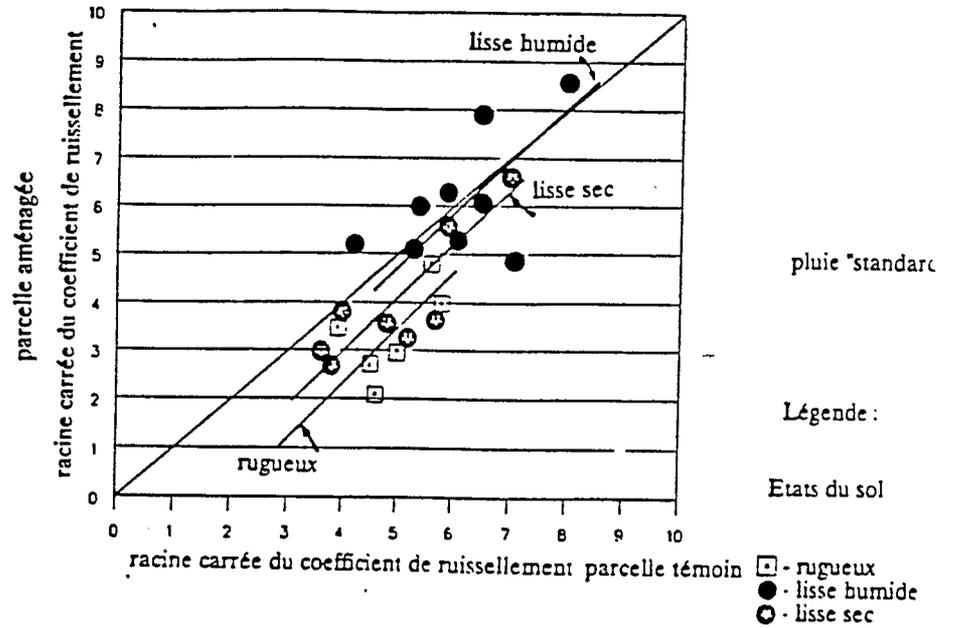


Figure 6 Comparaison des ruissellements parcelles témoin/parcelles aménagées. Autres pluies.

essentiellement en un point unique (sur une parcelle de 30m de large), ce qui crée en aval du cordon un chenal de drainage. Ce chenal s'ércde et capte les ruissellements des surfaces suivantes. Si la durée d'infiltration est effectivement accrue sur la zone d'inondation (celà dépend de la durée de la vidange), la surface d'infiltration est globalement réduite sur la parcelle. Ceci explique le faible impact de l'aménagement en sol lisse. Si le ruissellement est massif (sol lisse et humide, pluie intense, impluvium), le débit de vidange augmente. Le gain d'infiltration aux cordons change peu. Il est alors faible au regard de la diminution des surfaces mouillées. Ceci explique les effets nuls voire négatifs de l'aménagement sur le ruissellement global.

-sur une parcelle aménagée avec des cordons cloisonnés, l'aire inondée est divisée en quatre. Il y a alors quatre points de vidange principaux au lieu d'un seul. On observe une rapide redistribution latérale du ruissellement en aval de ces points car la compétence de chacun n'est pas suffisante pour creuser un chenal de collecte, d'une part (si le débit est divisé par 4, l'énergie de chaque filet d'eau est divisée par 16). D'autre part un tel aménagement écrétant le ruissellement protège un peu la rugosité globale, qui est donc plus apte que celle de la parcelle témoin à décomposer un ruissellement concentré. Il conduit à une plus grande surface de réinfiltration après la phase intense de la pluie. Ceci explique l'efficacité supérieure d'un aménagement cloisonné et sa plus faible dépendance vis à vis des conditions d'humidité, de pluie et de ruissellement entrant.

Lorsque le sol, quoique légèrement encroûté par quelques pluies reste suffisamment rugueux, le ruissellement débordant des creux du microrelief et concentré par le cordon est parfaitement redistribué en aval par le relief qui joue comme un peigne. La surface de réinfiltration après la phase intense de l'averse est importante et couvre même l'aval des cordons. L'impact de l'aménagement est alors important et régulier, même si un ruissellement supplémentaire important parvient de l'impluvium.

#### 4. LES TRANSPORTS SOLIDES SUR LES PARCELLES EXPERIMENTALES

Les matériaux solides transportés par les eaux de ruissellement en aval des parcelles agronomiques de Samniweogo se présentent en aval sous trois formes différentes : en suspension dans les eaux déversées sur le déversoir triangulaire, en dépôts fins dans la fosse à sédiments située en amont du déversoir, en dépôts plus grossiers sur l'aire de collecte des eaux située en amont du canal jaugeur.

Les résultats des mesures de transports solides sont consignés sur le tableau n° 4.

Sur la parcelle témoin, le tonnage moyen annuel exporté est de 2,2 tonnes par hectare avec ou sans impluvium.

Sur la parcelle aménagée, le tonnage annuel moyen exporté est de 1,4 tonne de matériaux solides par hectare avec l'impluvium, de 0,7 tonne par hectare sans impluvium.

Sur la parcelle aménagée labourée, le tonnage annuel exporté était de 0,4 tonne par hectare en 1987 avec l'impluvium. En 1988, sans impluvium, il était de 1,3 tonne par hectare.

Tableau n° 4 : Transports solides mesurés sur les parcelles agronomiques de Samniweogo.

année	1986		1987		1988		dépôts aire
	déversés V	dépôts fosses	déversés V	dépôts fosses	déversés V	dépôts fosses	
parcelle témoin	1120	98	400	38	418	78	243
parcelle aménagée	791	61	120	18	152	24	55
parcelle labourée	-	-	82	26	291	26	114
surface cultivée	3100 m <sup>2</sup>		3100 m <sup>2</sup>		3100 m <sup>2</sup>		
surface impluvium	1250		1250		150		

La variation des tonnages annuels en matériaux solides exportés hors des parcelles agronomiques de

Samniweogo sont donc extrêmement fortes d'une année à l'autre, en relation directe avec celles des volumes ruisselés.

La figure n° 7 donne une bonne idée des concentrations respectives observées sur les trois parcelles agronomiques pour les matériaux solides transportés en suspension. Pour la crue du 15 août 1988, les concentrations moyennes sont égales à 1,75 g/l sur la parcelle témoin, à 0,98 g/l sur la parcelle aménagée, à 1, g/l sur la parcelle labourée.

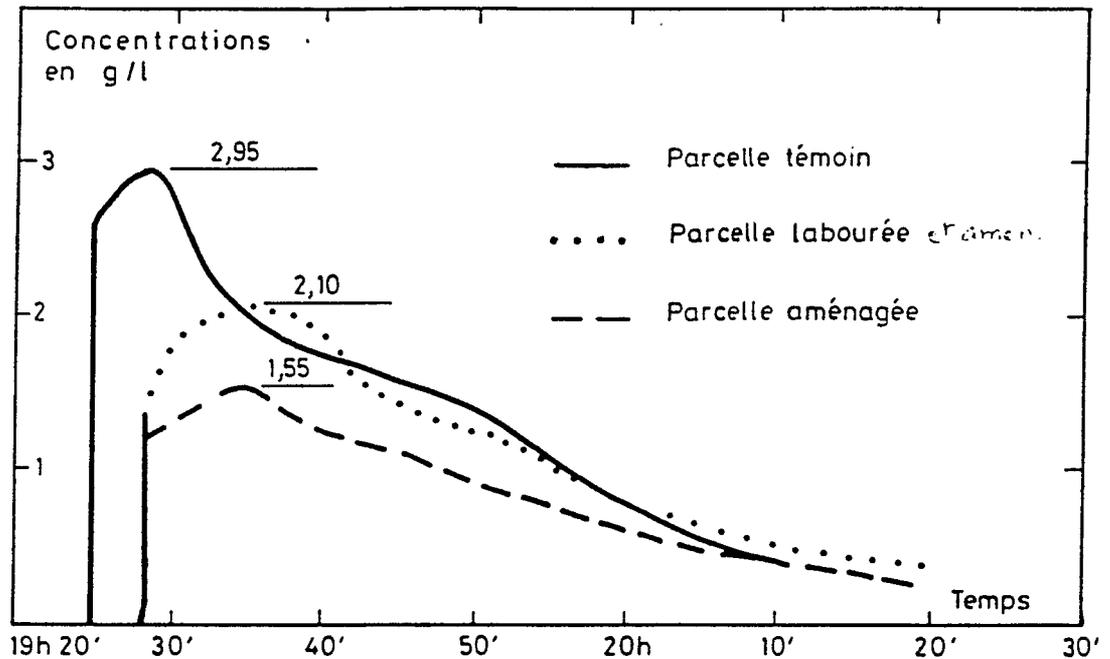


Figure n° 7: Turbidigrammes des crues du 15 août 1988 sur les parcelles agronomiques de Bidi Samniweogo

## 5. LES OBSERVATIONS HYDROPÉDOLOGIQUES ET AGRONOMIQUES

### Les bilans hydriques sur les parcelles

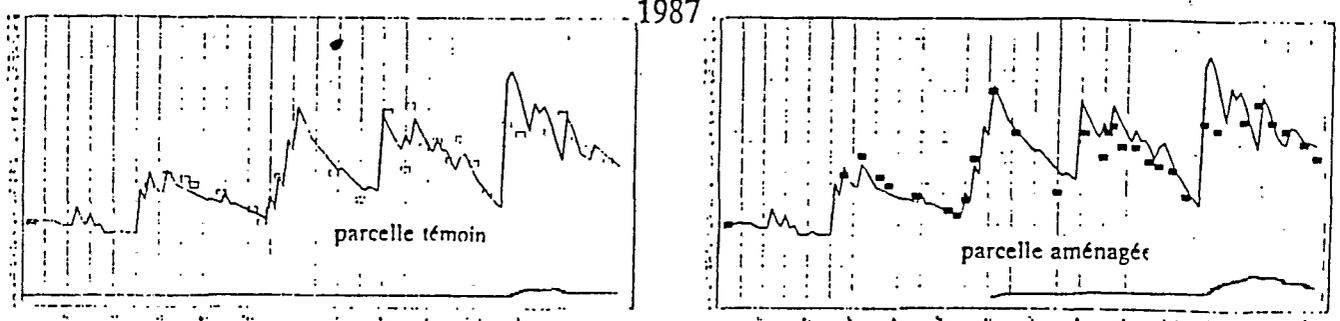
Les mesures hydrologiques de surface et les mesures de stock hydrique des sols (8 mesures de l'humidimètre à neutron par parcelle) apparaissent suffisamment précises pour permettre l'établissement de bilans hydriques sur les parcelles agronomiques de Samniweogo. Ces bilans doivent quantifier les pertes en eau subies par le volume de sol exploité par l'enracinement afin d'établir un diagnostic de la satisfaction des besoins en eau de cultures.

L'utilisation de l'équation du bilan hydrique, de la forme :  $Re + Ps + Rs + VS + ED = 0$ , permet de calculer les pertes par évaporation et drainage (ED) lorsque les autres termes du bilan sont connus, c'est à dire : le ruissellement entrant (Re), la pluviométrie au sol (Ps), le ruissellement sortant (Rs) et la variation du stock hydrique des sols (VS). La précision sur l'estimation des ruissellements est de l'ordre de 20 %. Les pluies au sol sont connues avec une précision de l'ordre de 10 % et l'erreur commise sur l'évaluation du stock hydrique est estimée à 10 millimètres quelque soit l'importance du stock qui varie entre 50 et 150 millimètres.

L'estimation des pertes par évapotranspiration sera d'autant plus précise que la période considérée sera longue, sèche, et exempte de flux verticaux profonds. L'incertitude sur une décade est de l'ordre de 2 mm par jour en période humide, de 1 mm par jour en période sèche. La cohérence entre les mesures hydrologiques superficielles et les mesures hydro-pédologiques a été contrôlée en comparant les stocks hydriques des différentes parcelles avant et après une pluie forte. Les différences observées entre l'augmentation du stock hydrique et la lame infiltrée rentrent dans le domaine d'incertitude sans biais systématique. La figure n° 8 présente les résultats.

Figure 8b Stocks calculés par le modèle de bilan hydrique comparés aux mesures (moyenne de huit profils hydriques par parcelle).

1987



stock mesuré: ■ stock calculé: —  
Drainage calculé: —

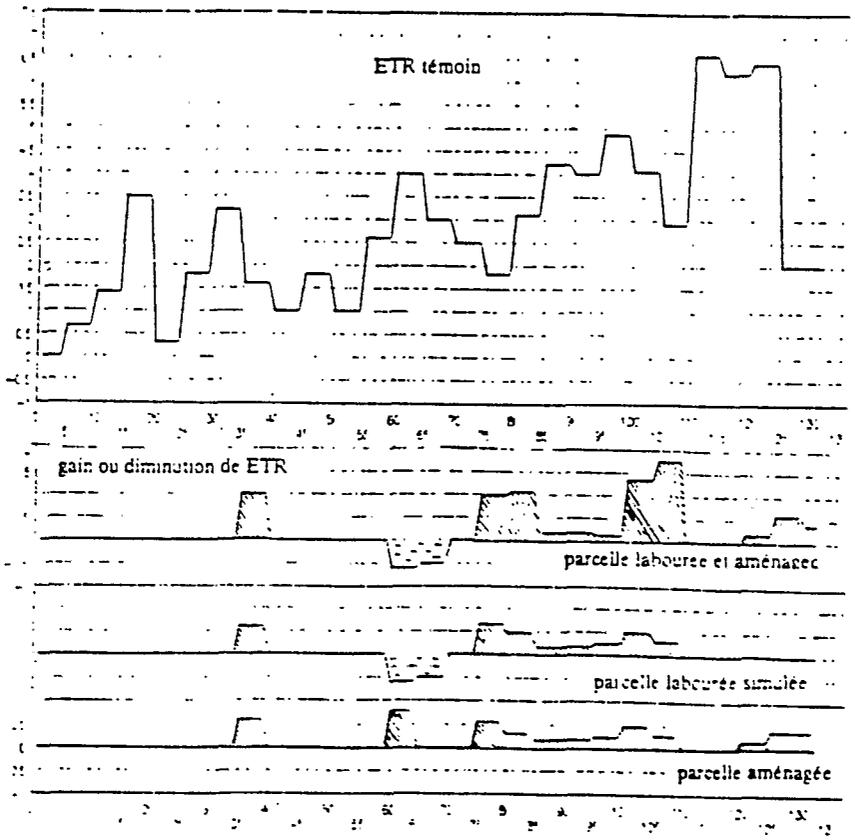
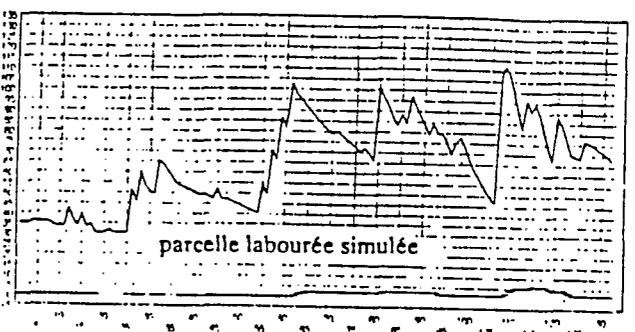
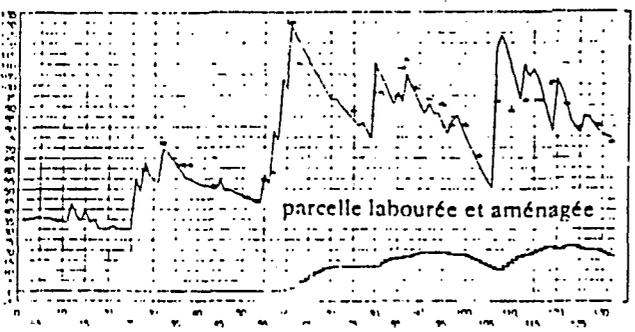


Figure 9c Comparaison de ETR des 3 parcelles réelles et d'une parcelle simulée sur modèle de bilan hydrique

des calculs pour l'année 1987.

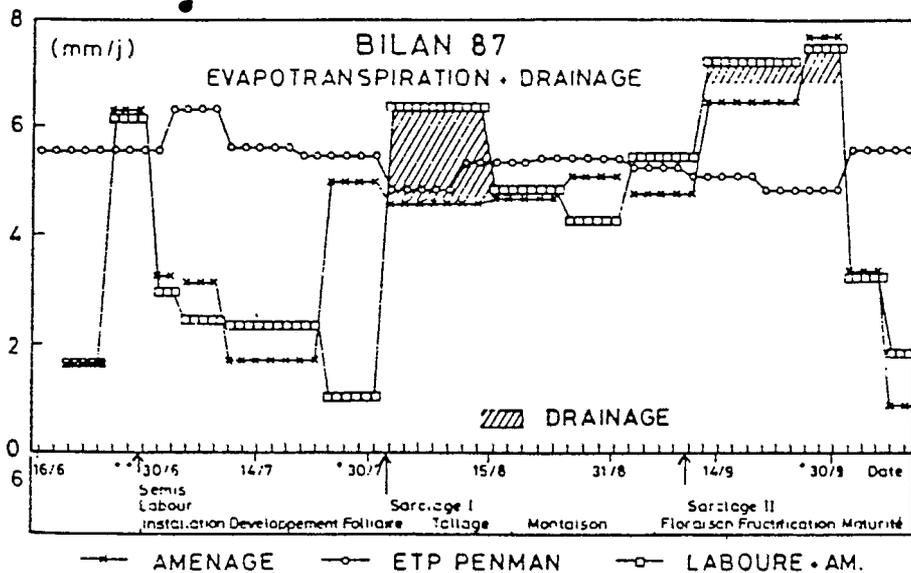


Figure n° 8 : Evapotranspiration et drainage de l'année 1987 sur les parcelles aménagées.

Les observations agronomiques

Le tableau n° 5 résume les observations effectuées sur le développement et la croissance du Mil.

Tableau n° 5 : Etat du Mil après les semis

paramètres mesurés	hauteurs en cm			stade foliaire (équivalent feuille)		
	1985	1986	1987	1985	1986	1987
années	1985	1986	1987	1985	1986	1987
nombre de jours après les semis	44j	34j	45j	44j	34j	45j
parcelle témoin	27,6	31,5	37	10,2	9,8	9,3
parcelle aménagée	32,4	35,8	40	10,6	10,1	9,8
parcelle labourée	-	48,1	74	-	11,1	10,8

Début de cycle :

Les années 1985 et 1987 se caractérisent par des périodes sèches en début de cycle, moins longues en 1987 en pleine phase de croissance et de développement du Mil, alors que la pluviométrie est bien distribuée sur toute l'année 1986. Il en résulte des retards de croissance importants en 1985, moins importants en 1987. Sur la parcelle aménagée, la croissance du Mil est légèrement plus rapide que sur la parcelle témoin (écart de 8 à 18 %) et le développement foliaire y est plus avancé (écart de 3 à 5 %). Dans tous les cas, la parcelle labourée présente une avance de croissance très forte (30 à 80 %) et une avance de développement foliaire (10 %) sur la parcelle non labourée. L'état d'enracinement, mesuré à la floraison, confirme la qualité de l'enracinement dans la parcelle labourée et l'influence, dans la parcelle aménagée, des conditions d'humectation sur la mise en place des racines.



Lorsqu'un effet positif apparaît sur la croissance du mil ou le rendement en grain, on le relie soit à la mise en réserve profonde d'un surplus d'eau qui sera repris lors d'un déficit hydrique, soit à de meilleures conditions d'humectation du profil à des époques sensibles sur le plan de l'alimentation minérale (phases d'enracinement initial et tallage où les besoins minéraux sont importants).

Le premier cas est arrivé en 85 et 87 où les gains d'infiltration (grâce à des conditions de rugosité d'averse favorables) ont chaque fois permis l'approfondissement du profil hydrique par "effet piston" et complété en profondeur des profils déjà humectés en surface. Cette eau a donc été entièrement convertie en transpiration sauf dans la parcelle labourée où l'excès d'infiltration a provoqué un drainage sous la zone racinaire (20mm).

En 86 par contre, il n'y a pas eu de telle mise en réserve supplémentaire (pluies violentes sur sols lisses) mais il n'y a pas eu non plus de véritable déficit hydrique. Les profils n'ont été mieux humectés que pendant la première moitié du cycle d'où un meilleur enracinement et une meilleure alimentation minérale conduisant à une croissance accrue.

On voit que l'impact sur le rendement des cultures peut être très varié. Si on excepte les cas où l'aménagement accroît l'excès d'eau (88), le rendement potentiel est toujours accru, mais en proportion très variable. Pour que le rendement final soit bien marqué, il faut encore d'autres conditions, qui ont fait défaut en 88 et ainsi qu'en 89 : le gain initial a été compromis à la fructification par une sécheresse grave (85), et par une sévère attaque de ravageurs (86 : borers ; 89 : sautériaux).

#### CONDITIONS de réduction du ruissellement lors de l'averse :

- le ruissellement doit être d'intensité moyenne (en cas d'existence d'un impluvium amont, il faudrait donc qu'il soit lui aussi aménagé),
- les aires de rétention doivent être cloisonnées,
- l'état de surface lors de l'averse doit être encore rugueux (rôle de la stabilité de la structure, rôle des sarclages précoces réalisés en buttes et en quinconce). Il doit aussi être poreux (réinfiltration des ruissellements) ce qui doit avantager les sols à surface sableuse. Les sols plus argileux peuvent compenser leur faible perméabilité par une meilleure structure et une forte porosité tubulaire (rôle de la faune et de la matière organique) et par une meilleure conservation de la rugosité que les sols sableux. Il faudrait cependant d'autres mesures en sol plus argileux pour confirmer ces prévisions.
- la capacité en eau du sol doit être suffisante pour accueillir le surplus d'eau. Signalons ici que l'aménagement perdant de l'efficacité lors des pluies intenses et des sols humides, exerce ainsi une sélection de ruissellements à infiltrer. Il maintient une possibilité d'évacuation en cas d'excès d'eau.

#### CONDITIONS d'accroissement du rendement potentiel :

- qu'il y ait des périodes de déficit d'humectation des sols, ce qui est fréquent dans la période sèche actuelle.
- si le surplus d'eau pénètre dans un profil très sec, le gain reste en surface puis est vite perdu par évaporation. Sur un profil moyennement humecté, il améliore l'état hydrique et la profondeur d'humectation, donc les réserves en eau profondes (le surplus sera entièrement transformé en transpiration) et les conditions d'enracinement et de nutrition minérale. Sur un profil très humide, le gain est réduit mais peut provoquer un drainage important (cas de l'association labour + aménagement) ou un engorgement (en particulier sur l'aire de rétention). Mais cette dernière situation est devenue rare.
- les conditions de fertilité chimique et la fertilisation complémentaire, les conditions d'enherbement et phytosanitaire, les stades auxquels interviennent ces meilleures conditions, décident en dernier lieu de la valorisation de l'amélioration des conditions hydriques en terme de rendement final. Même dans le cadre d'un système de culture extensif de "champs de brousse paysan", l'accroissement de rendement de un à deux quintaux/ha sans coût supplémentaire d'intrant (en 86 et en 87) n'est pas à dédaigner : il permet d'atteindre en conditions pluviométriques *a priori* déficitaires le rendement-objectif de 4 qx/ha, c'est à dire les besoins en céréales d'un actif (capable de cultiver 1 ha) et d'un non actif.

-le labour seul amène des résultats meilleurs les premières années parce que son impact concerne aussi la limitation de l'enherbement et l'amélioration spectaculaire des conditions au démarrage (aération, eau, minéralisation, enracinement initial). Sur le plan hydrique, il correspond à un sarclage précoce supplémentaire.

Mais le danger qu'il comporte est de soumettre le sol (non stabilisé par un peuplement végétal) à un risque d'érosion par charriage en cas de ruissellement intense et de couche labourée engorgée. D'autre part les performances qu'il permet d'atteindre sont excessives au regard des possibilités paysannes d'entretien de la structure et de la fertilité du sol. L'aménagement d'un champ labouré, s'il protège relativement de l'érosion, augmente fortement le drainage et les pertes minérales qui lui sont associées. L'application systématique du labour comporte donc des risques certains en cas de ruissellements entrants et d'absence de fumure organique.

## CONCLUSION

La travail du sol, labour ou sarclage, d'un sol sableux fin à sabloargileux permet une infiltration totale des pluies et des ruissellements entrant dans les parcelles cultivées sur une tranche pluviométrique d'environ 20 millimètres. Au delà, la transformation de l'état de surface des sols par aplanissement du microrelief et formation de pellicules superficielles favorise le ruissellement dont l'importance croît avec l'intensité de la pluie et l'état d'humectation des sols ; le maximum est atteint pour une tranche pluviométrique d'environ 100mm.

Un aménagement en cordons pierreux isohypses cloisonnés, à l'occasion de fortes averses, modifie les paramètres de la crue par écrêtage et déphasage. Il réduit ainsi la puissance érosive des crues (transport et incision) et accroît de façon variable la lame infiltrée. Compte tenu des fréquents déficits en début et en fin de saison des pluies, l'aménagement peut donc améliorer les conditions d'installation du peuplement, de l'enracinement et de la fructification. Il conditionne véritablement l'écoulement en le régularisant dans l'espace et dans le temps. Les conditions d'efficacité agronomique que nous avons déduit du fonctionnement observé d'un modèle particulier d'aménagement, choisi uniquement pour sa stabilité, sont en fait indépendantes du type d'aménagement. Celui-ci peut donc être de nature variable (cordons en terre, en fascines, en touffes graminéennes, en andains, en pierres etc). Les conditions sont :

- qu'ils soient suffisamment nombreux et hauts pour stocker les ruissellements de pluies fortes sur une pente donnée,
- qu'ils soient isohypses et cloisonnés tous les 10m ou moins,
- que chaque bassin de rétention ait au moins un exutoire protégé pour sa vidange.

Seules les conditions de pente, de sol et de géométrie sont encore mal connues. Un tel essai pourrait être réalisé sur un autre type de milieu mais nous attendons beaucoup d'une tentative de modélisation des écoulements de surface qui permettrait des simulations.

L'impluvium agit tout au long du cycle végétatif du Mil en augmentant la valeur des lames infiltrées lorsque les sols sont suffisamment absorbants. Son rôle est surtout sensible dans les zones hautes des parcelles pour les faibles pluies ; il améliore les conditions de croissance si la capacité de rétention des sols est suffisante.

Plus que le travail du sol par labour, l'aménagement en cordons pierreux isohypses cloisonnés apparaît bien approprié à une conduite extensive des cultures en améliorant sans excès l'alimentation hydrique des sols. Les labours et le billonnage paraissent plus adaptés à des champs qui ne bénéficient pas des effets d'un impluvium amont.

L'amélioration de l'alimentation hydrique des cultures pose à plus ou moins long terme le problème du renouvellement de la fertilité des sols, l'accroissement de la production végétale non restituée allant de pair avec un appauvrissement plus rapide des sols ; elle ne constitue donc qu'un des maillons de la chaîne d'adaptation d'un système de culture à une situation nouvelle de déficit pluviométrique et de saturation de l'espace cultivable.

ALBERGEL (J.) - 1987. Génèse et prédétermination des crues au Burkina Faso - Thèse de doctorat de l'université - Paris VI.

CASENAVE (A.) - 1982. Le mini-simulateur de pluie : condition d'utilisation et principes de l'interprétation - cah. ORSTOM, sér. Hydrol., vol. XIX, n° 4, pages 207 à 227.

CHEVALLIER (P.), LAPETITE (J.M.) - 1986. Note sur les écarts de mesure observés entre les pluviomètres standards et les pluviomètres au sol en Afrique de l'Ouest. Hydro. Conti., Vol. 1, n° 2, pages 111 à 119.

MARTINELLI (B.), SERPANTIE (G.) - 1987. Deux points de vue sur la confrontation des paysans aux aménagés. in Les Cahiers de la Recherche-Développement n° 1-15, pages 29 à 52.

MILLEVILLE (P.) - 1980. Etude d'un système de production agro-pastoral de Haute-Volta. Le système de culture. ORSTOM/Ouagadougou, 66 pages.

PLANCHON (O.) - 1990. Rapport de mission à BIDI. 10p mult. + ann.

POSS (R.) - 1984. La précision du comptage neutronique avec l'humidimètre SOLO 25. Définition des protocoles de mesure. Bulletin VGFHN n° 16, pages 109 à 122.

SIBAND (P.) - 1981. Croissance et production du Mil. Essai d'analyse du fonctionnement du Mil en zone sahélienne. Thèse de doctorat, académie de Montpellier, 302 pages.



**Pour citer cet article / How to cite this article**

Lamachère, J. M.; Serpantié, G. - Valorisation agricole des eaux de ruissellement et lutte contre l'érosion sur champs cultivés en mil en zone soudano-sahélienne, Burkina Faso, Province du Yatenga, région de Bidi, pp. 88-104, Bulletin du RESEAU EROSION n° 11, 1991.

Contact Bulletin du RESEAU EROSION : [beep@ird.fr](mailto:beep@ird.fr)