

# VALORISATION AGRICOLE DES EAUX DE RUISSELLEMENT SUR CHAMPS CULTIVES EN MIL EN ZONE SOUDANO-SAHELIENNE (BURKINA FASO, PROVINCE DU YATENGA, REGION DE BIDI)

**Jean-Marie LAMACHERE\* et Georges SERPANTIE\*\***

\*\* Centre Orstom, laboratoire d'hydrologie, 911 avenue Agropolis,  
B.P. 5 045, 34 032 Montpellier, FRANCE

\*\* Antenne Orstom, 01 B.P. 171, Bobo Dioulasso, BURKINA FASO

## RESUME

En zone sahélienne, au nord-ouest du Burkina Faso, dans la province du Yatenga, région de Bidi, par 14° de latitude nord, sous une pluie moyenne interannuelle de 550 mm (1920-90), des études agronomiques sur 3 parcelles de grande taille (3000 m<sup>2</sup>) ont été combinées à des études hydrologiques afin d'analyser les comportements hydrique et agronomique de sols sableux fins cultivés en mil sur pente faible (2,5%). De 1985 à 1987, les parcelles cultivées ont été surmontées d'impluviums imperméables délivrant aux parcelles des apports d'eau complémentaires par ruissellement. Une parcelle sert de témoin, les deux autres parcelles sont aménagées avec des cordons pierreux isohypses. L'une de ces deux dernières parcelles est labourée avant semis.

Le travail du sol, labour ou sarclage, permet une infiltration maximale des pluies et des ruissellements qui entrent dans les parcelles. Très rapidement, sous l'impact des gouttes de pluie et sous l'effet du ruissellement, l'encroûtement des sols sableux fins diminue leur capacité à l'infiltration et l'aplanissement du microrelief diminue leur capacité de rétention superficielle. Pour le type de sol rencontré dans la région de Bidi, des relations hydro-pluviométriques, extraites de l'analyse des observations sous simulation de pluie (Lamachère 1991) sont proposées à l'échelle du mètre carré. A l'échelle des parcelles agronomiques, les phénomènes d'encroûtement et d'aplanissement du microrelief apparaissent toujours prédominants mais semblent, en première analyse, se traduire seulement par une modification du seuil pluviométrique au-dessous duquel il n'y a pas de ruissellement (B, pluie d'imbibition), sans modifier la pente (A) des relations linéaires du type :  $LR = A (P - B)$ .

Un aménagement en cordons pierreux isohypses modifie les paramètres d'une crue par écrêtage (-30% sur le débit maximum) et par décalage de la montée de la crue, sans modifier la décrue. Le volume ruisselé en est cependant peu modifié (-10 à -20%). Un cloisonnage, pratiqué en amont des cordons pierreux, accentue ce décalage et provoque une diminution significative du volume ruisselé par rapport à la parcelle témoin (-50%). En année à pluviosité bien répartie, l'aménagement en cordons pierreux isohypses cloisonnés permet une meilleure installation du peuplement cultivé, un meilleur enracinement et une meilleure fructification, augmentant la production en grains de 30 à 80%.

Les labours améliorent nettement l'enracinement du mil en début de cycle. En année favorable, par rapport à la parcelle aménagée non labourée, ils augmentent ainsi de manière importante la production de matière sèche (+50%) et de manière très importante la production en grain (+100%). En année déficitaire, ils augmentent les risques d'échaudage et de perte sèche de la

récolte. Ils accroissent également la vulnérabilité des sols à l'érosion par ameublissement de la surface du sol, mais cet accroissement est compensé par l'existence des cordons pierreux et des cloisons. Les pertes en terre y restent inférieures à 2 tonnes par hectare et par an, 2 fois inférieures en moyenne à celles de la parcelle témoin.

**Mots-Clés :** Sahel, Burkina Faso, parcelles agronomiques, mil, sols sableux fins, ruissellement, érosion, production agricole.

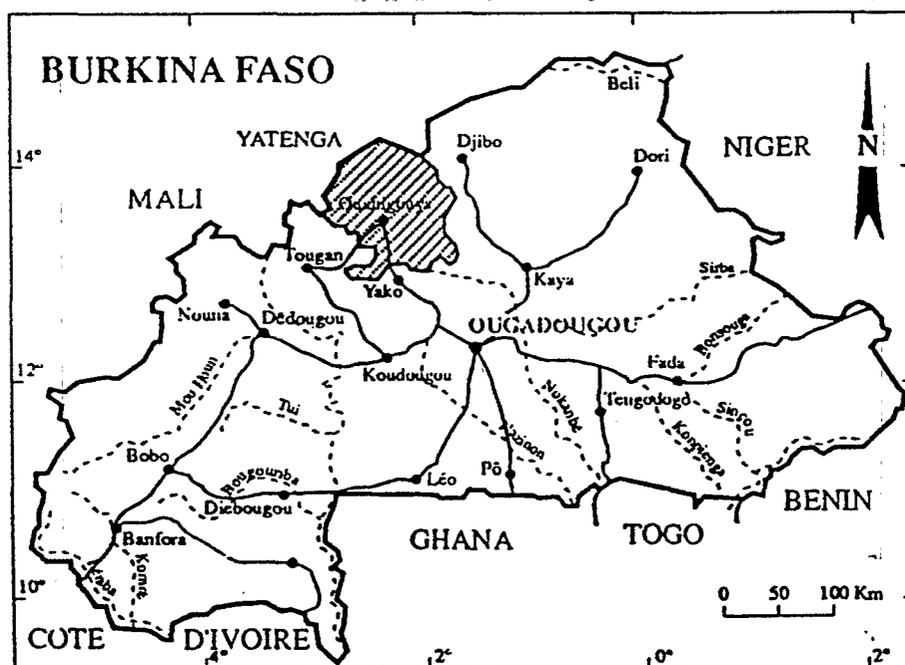
## INTRODUCTION

Dans la province du Yatenga, au nord-ouest du Burkina Faso (figure 1), les années 1982, 83, 84 et 1990 sont les plus sèches parmi les observations effectuées depuis 1920. Au poste pluviométrique de Ouahigouya, capitale de cette province, les moyennes pluviométriques interannuelles, calculées sur des périodes de 5 années consécutives, sont supérieures à 600 mm jusqu'en 1966, égales à 568 mm sur la période 1972-76, à 424 mm sur la période 1982-86.

Les paysans de la province du Yatenga ont donc subi, depuis une vingtaine d'années, une longue période sèche sans équivalent dans la chronique des précipitations enregistrées. Pour faire face à la sécheresse, les paysans et les organisations qui continuent à miser sur l'agriculture pluviale, essentiellement la culture du mil (*Pennisetum typhoides*) dans les zones sahéenne et soudano-sahéenne, ont fait appel dans certaines régions à des variétés plus nordiques à cycle court. Dans d'autres régions, comme le nord du Yatenga, les paysans ont préféré conserver des variétés souples, qui ont fait leurs preuves, et modifier la gestion habituelle de l'eau sur les versants.

Par un essai interdisciplinaire, réalisé de 1985 à 1990 dans la région de Bidi, au nord du Yatenga, nous avons voulu préciser comment les trois pratiques de travail du sol avant semis, d'utilisation des eaux de ruissellement sous impluvium et de création d'obstacles 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 et localisation de la région de Bidi.**



## LE DISPOSITIF EXPERIMENTAL

### Les parcelles agronomiques

Le dispositif expérimental des parcelles agronomiques de Bidi est installé au lieu-dit Samniwéogo, sur le versant nord-est d'une petite butte cuirassée. Trois parcelles contiguës (figure 2), orientées dans le sens de la plus grande pente (2,5 %), ont été implantées de telle sorte qu'elles recouvrent dans leur tiers supérieur, sur la période 1985-1987, un impluvium inculte où la cuirasse ferrugineuse est proche de la surface du sol. De 1988 à 1990, le tiers supérieur des parcelles a été éliminé en plaçant la limite supérieure des parcelles à la limite de l'aire cultivée. Les deux tiers inférieurs des parcelles couvrent un sol constitué de sables éoliens dont l'épaisseur croît 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 et un second sarclage avant la floraison au début du mois de septembre. En surface, le sol est sablo-limoneux (50 à 60 % de sables fins) de couleur brun-rougeâtre, il est sablo-argileux (15 à 20 % d'argiles) de couleur jaune rougeâtre en profondeur, à partir de 60 à 80 cm.

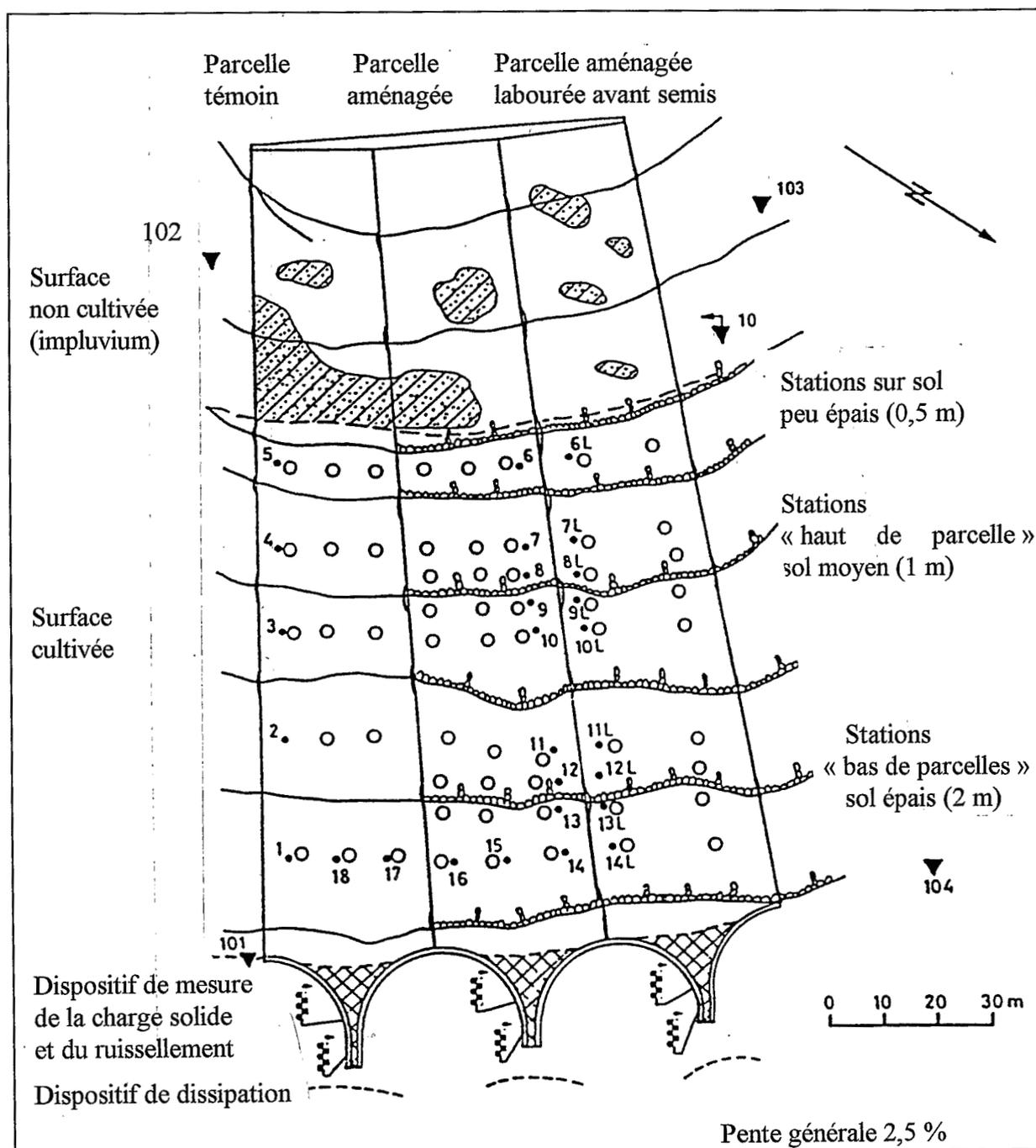
La parcelle la plus à gauche quand on regarde vers l'amont du versant est utilisée comme parcelle témoin. Elle est cultivée de manière traditionnelle. La parcelle médiane a subi un aménagement en cordons pierreux isohypses, constitués d'une double rangée de blocs de cuirasse ferrugineuse (40 kg par mètre linéaire), espacés d'environ 20 mètres, soit 6 cordons pierreux de l'amont vers l'aval. Aucun cordon pierreux n'a été posé sur l'impluvium. La parcelle la plus à droite, quand on regarde vers l'amont du versant, est identique à la parcelle médiane mais elle est labourée vers la fin du mois de juin avant semis, selon les courbes de niveau avec une charrue bovine attelée.

### L'instrumentation

#### *La mesure des ruissellements*

Chaque parcelle est limitée par des tôles galvanisées, fichées en terre sur une profondeur de 20 centimètres et dépassant de la surface du sol d'une vingtaine de centimètres. Les limites des parcelles sont implantées avec beaucoup de soin, de telle sorte qu'elles suivent rigoureusement la ligne de plus grande pente afin d'éviter la concentration des ruissellements d'un côté ou de l'autre, le long des bords des parcelles. 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 (figure 3); 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 second 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 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 des forts débits, c'est l'imprécision sur l'étalonnage du canal qui se révèle déterminante.



Point de suivi du profil  
hydrique et phénologique

Station de récolte

Microbuttes sableuses

Tôles (0,2 et 0,4 m)

Muret (0,2 m)

Exutoire en béton

Cordon pierreux (0,25 m)

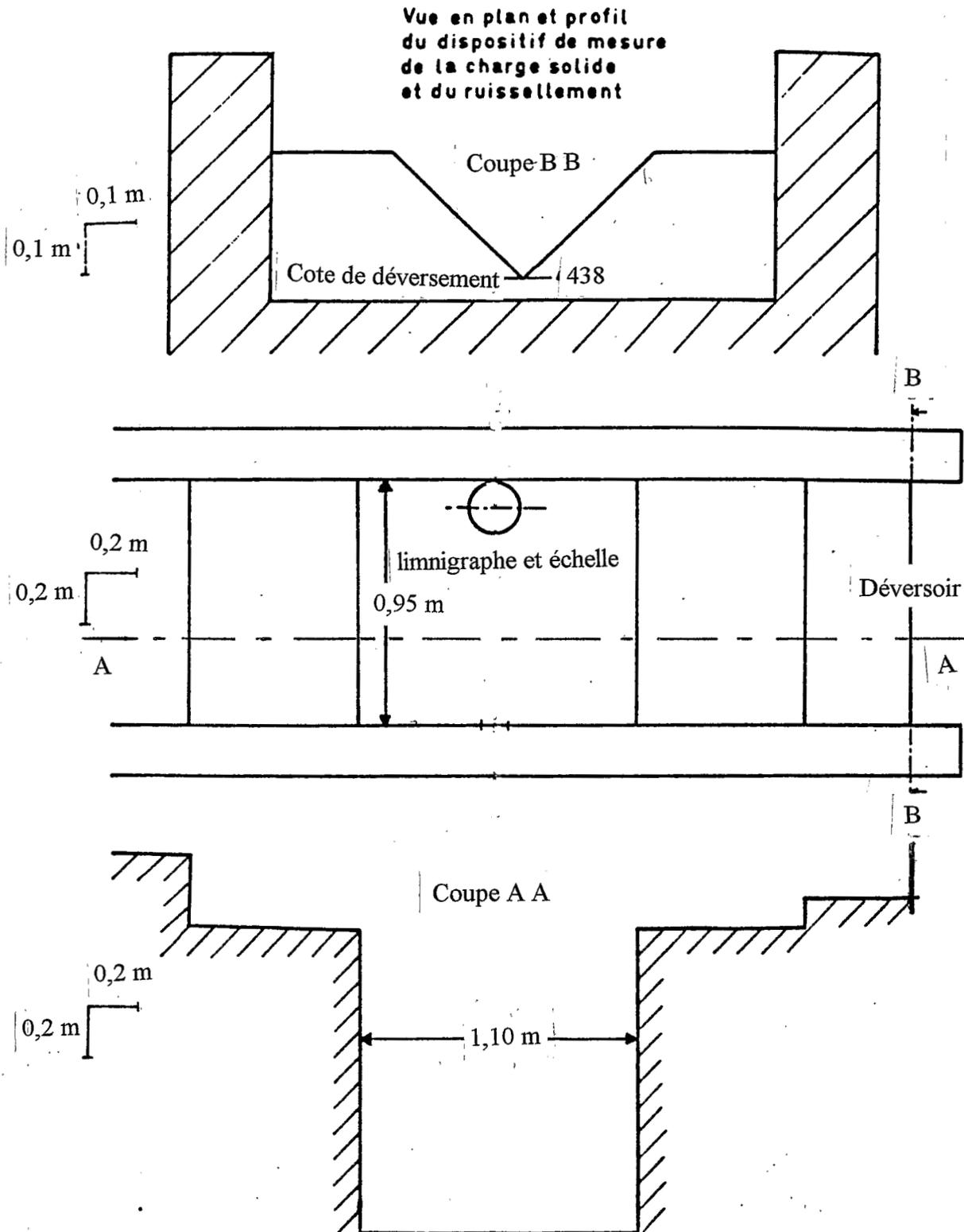
Courbe de niveau (0,5 m)

Pluviomètre

Pluviographe

Limnigraphe et  
échelles limnimétriques

**Figure 2 : Plan d'ensemble de l'essai sur parcelles agronomiques (Bidi, 1985-1987)**



**Figure 3 : Dessin du dispositif de mesure des débits et des charges solides.**

***Le dispositif pluviométrique***

Le dispositif pluviométrique a fonctionné de 1985 à 1989 avec 4 pluviomètres et un pluviographe (figure 2), les pluviomètres ayant été répartis équitablement entre l'amont et l'aval des parcelles. En 1990, compte tenu de l'absence de différences significatives entre les valeurs des pluies journalières observées aux différents pluviomètres depuis 1985, nous avons

seulement conservé un pluviomètre et un pluviographe. Une petite station climatique comprenant un bac à évaporation, un pluviographe, un pluviomètre standard et un pluviomètre avec surface réceptrice placée au niveau du sol, avec un dispositif de protection contre le rejaillissement des gouttes de pluie, a été installée en aval et à proximité des parcelles.

### *L'humidité des sols*

Vingt tubes de sonde à neutrons (figure 2) ont été implantés sur les parcelles de manière à suivre l'évolution des profils hydriques de l'amont vers l'aval en tenant compte, sur les parcelles aménagées, de l'emplacement des cordons pierreux, quelques profils d'humidité ayant été répartis en amont et en aval, à proximité des cordons.

### *Le peuplement végétal et la récolte*

Les parcelles ont été subdivisées en trois zones : une bande supérieure large de 20 mètres limitée par l'impluvium, une bande médiane large de 40 mètres appelée « haut de parcelle » et une bande inférieure large de 40 mètres appelée « bas de parcelle ». Sur chaque bande, la croissance et le développement du mil ont été suivis sur des stations échantillonnées de façon à représenter correctement les variations latérales et longitudinales du couvert végétal. A la récolte, les composantes du rendement sont mesurées sur des stations de 12 mètres carrées, répétées 4 à 12 fois sur chaque zone selon l'hétérogénéité du peuplement.

## **LES OBSERVATIONS PLUVIOMETRIQUES**

### **La précision des observations pluviométriques**

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 de l'autre des parcelles. La comparaison des pluviométries observées au pluviomètre standard et au pluviomètre placé au niveau du sol, dans la petite station climatique de Samniwéogo (Lamachère 1993), montre que les observations effectuées au niveau du sol (Y) sont en moyenne systématiquement et légèrement plus fortes que celles qui sont observées au pluviomètre standard (X). La relation moyenne entre les deux variables est la suivante :  $Y = 1,06 X$ .

De même, à la station de Samniwéogo, la pluviométrie observée au pluviomètre standard (X) est en moyenne systématiquement plus forte que la pluviométrie observée au pluviographe de type Précis Mécanique avec carter (Z) :  $X = 1,12 Z$ .

Les écarts entre observations pluviométriques au niveau du sol et au pluviomètre standard, avec une surface réceptrice placée 1 mètre au-dessus du sol, ont déjà fait l'objet de plusieurs publications. En Afrique de l'Ouest, les travaux de Chevallier et al. (1985, 1986) font la synthèse des résultats obtenus. Si on compare nos propres résultats avec ceux présentés par Chevallier et Lapetite (1986), on constate que la valeur de 1,06 est nettement plus faible que la valeur de 1,36 qui correspond, pour la latitude de la station de Samniwéogo, au rapport entre la pluie au sol et la pluie observée 1 mètre au-dessus du sol pour une fréquence annuelle des pluies journalières.

**La pluie observée au pluviomètre standard doit donc être considérée comme un indicateur significatif de la quantité d'eau reçue par le sol mais, sous certaines latitudes, cette quantité est systématiquement sous-estimée.** Pour les parcelles de Samniwéogo, pour obtenir la pluie au sol, nous multiplierons les observations au pluviomètre standard par des valeurs comprises entre 1,0 et 1,21, la valeur moyenne étant égale à 1,06. En utilisant ce

coefficient moyen, la précision est de 10 % (+ ou - 10%), l'écart maximal pouvant être égal à 14 %.

### Pluviométrie et évapotranspiration décennales

Nous avons reporté sur le tableau 1 les pluviométries décennales observées au pluviomètre standard à proximité des parcelles agronomiques de Samniwéogo sur la période 1985-1990. En bas de ce tableau sont reportées les valeurs moyennes décennales de l'évapotranspiration calculées par la méthode de Penman (ETP) pour un albédo égal à 0,2, ainsi que l'évapotranspiration réelle d'un couvert de mil normalement alimenté en eau (ETR). Les valeurs de l'ETR sont estimées à partir des observations d'humidité et des calculs de bilan hydrique des sols sur les parcelles de Samniwéogo. Les pluies décennales indiquées en caractères gras sont inférieures à l'ETR de plus de 20 mm. Les pluies décennales en italique sont inférieures à l'ETR de moins de 10 mm.

**Tableau 1 : Pluviométrie et évapotranspiration décennales sur les parcelles agronomiques de Bidi (pluviomètre standard, période 1985-1990).**

Année	Juin			Juillet			Août			Septembre		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1985	4,6	0,0	6,0	37,6	52,6	<b>12,5</b>	46,9	81,7	49,7	<b>11,4</b>	<b>7,0</b>	<b>13,0</b>
1986	3,3	35,6	18,2	42,1	74,9	40,3	38,0	<b>15,0</b>	64,5	44,2	43,9	32,8
1987	5,9	24,6	38,9	19,5	<b>9,4</b>	90,2	<b>4,9</b>	34,6	38,4	<b>23,0</b>	70,5	41,0
1988	0,1	22,4	<b>6,2</b>	24,3	36,4	44,9	88,3	125,2	83,5	<b>16,6</b>	<b>11,6</b>	<b>4,2</b>
1989	1,1	11,3	43,4	41,7	51,0	64,7	139,8	90,9	41,8	39,7	<b>1,2</b>	<b>10,1</b>
1990	0,2	0,2	31,0	36,8	69,8	46,0	<i>24,1</i>	<b>16,1</b>	<b>7,0</b>	<i>41,0</i>	<b>12,5</b>	<b>0,5</b>
ETP	79	74	70	69	61	70	59	56	68	58	60	63
ETR	20	20	20	25	30	35	40	45	50	60	60	30

Les valeurs de la pluie, de l'ETP et de l'ETR sont exprimées en millimètres.

### Pluviométrie et cycle végétatif du mil

L'analyse de la répartition temporelle des précipitations montre des situations très contrastées. Le cycle végétatif du mil commence aux semis, à partir de la mi-juin, dès que les chutes de pluies sont suffisantes (environ 20 mm) pour que la germination et la pousse des jeunes plants puissent se faire dans de bonnes conditions. Pour un mil au cycle végétatif long de 90 jours, commencé vers la mi-juin, le cycle se termine au mois de septembre par la floraison, l'épiaison et la maturation des grains. Les années 1985, 1988 et 1990 présentent deux décades sèches consécutives avec un fort déficit pluviométrique en fin de cycle végétatif, pendant la phase fructifère pour les années 1985 et 1988, en fin de montaison et à la maturation pour l'année 1990. L'année 1987 se caractérise par une longue période sèche en début de cycle, un déficit pluviométrique en cours de croissance et à l'épiaison mais par une bonne pluviométrie à la maturation. Les années 1986 et 1989 se caractérisent par de bonnes répartitions pluviométriques

## LE RUISSELLEMENT SUR LES PARCELLES AGRONOMIQUES

### Le ruissellement annuel

L'analyse des ruissellements sur les parcelles agronomiques de Samniwéogo met en évidence un fonctionnement extrêmement complexe des parcelles. Cette complexité est due principalement aux effets du travail du sol sur l'aptitude des sols à l'infiltration, renforcée ici par la suppression de l'impluvium à partir de 1988 et par le cloisonnement réalisé en 1987 à l'amont des cordons pierreux. A l'échelle annuelle, nous présentons sur le tableau 2, pour chacune des trois parcelles et sur les périodes pendant lesquelles les observations ont pu être effectuées : la pluie au sol (Ps), la lame d'eau entrée dans la partie cultivée des parcelles (Le) et la lame ruisselée mesurée en aval des parcelles (LR). Les lames d'eau entrées correspondent à des volumes ruisselés sur les impluviums, elles sont calculées comme les lames ruisselées en aval, par rapport à la surface cultivée égale respectivement à 3110, 3070 et 3120 mètres carrés sur les parcelles témoin, aménagée et labourée.

**Tableau 2 : Pluies et ruissellements annuels sur les parcelles agronomiques de Bidi.**

Année période	Pluie	Parcelle témoin			Parcelle aménagée			Parcelle labourée		
	Ps	Le	LR	Cr	Le	LR	Cr	Le	LR	Cr
Parcelles avec impluvium										
1985 (20/07 au 15/10)	250	25	70	25	31	58	21	-	-	
1986 (01/06 au 15/10)	530	43	141	25	53	144	25	-	-	
1987 (01/06 au 15/10)	484	50	91	17	61	45	8,3	76	21	3,7
Parcelles sans impluvium										
1988 (01/06 au 15/10)	546	3,5	94	17	12	53	9,5	13	68	12
1989 (01/06 au 05/10)	571	3,1	132	23	13	48	8,2	15	77	13
1990 (01/06 au 05/10)	311	0,9	45	14	5,8	7,9	2,5	6,5	4,6	1,5

Cr : Coefficient de ruissellement annuel en %, calculé par la formule :  $100 LR / (Ps + Le)$ .

La comparaison des résultats montre que pour les années 1985 et 1986, avant le cloisonnement de la partie amont des cordons pierreux, la parcelle aménagée réagit de manière sensiblement identique à la parcelle témoin. Pour les années 1987 à 1990, après cloisonnement de la partie amont des cordons pierreux, et colmatage des cordons par apports naturels de sables, le ruissellement aval de la parcelle aménagée est 2 fois plus faible que celui de la parcelle témoin. Pour une année très sèche comme 1990, le ruissellement de la parcelle aménagée est 5 fois plus faible.

La comparaison entre les ruissellements observés sur les deux parcelles aménagées montre que les ruissellements de la parcelle labourée sont légèrement supérieurs à ceux de la non labourée pour les années 1988 et 1989. Par contre, ils leur sont très nettement inférieurs pour les années 1987 et 1990. Cette différence de comportement s'explique par la prise en compte de l'occurrence des pluies par rapport au travail du sol et par l'analyse des effets des chutes de pluie sur les sols labourés ou sarclés. Le labour intervient en effet à la fin du mois de juin, alors que le sarclage n'est réalisé, une première fois sur l'ensemble des parcelles, qu'au début du mois d'août puis une seconde fois au début du mois de septembre.

A l'échelle annuelle, on peut retenir les relations hydro-pluviométriques globales suivantes :

- pour la parcelle témoin et pour la parcelle aménagée non labourée de 1985 à 1986 :  
 $LR = 0,25 (Ps - A)$  avec  $30 > A > 150$  mm et Ps la pluie au sol en mm,

- pour la parcelle aménagée non labourée de 1987 à 1990 et pour la parcelle labourée :  
 $LR = 0,25 (Ps - A)$  avec  $270 > A > 380$  et Ps la pluie au sol en mm.

Le coefficient de ruissellement annuel est donc de la forme :  $Cr = 0,25 \{1 - (A / Ps)\}$ .

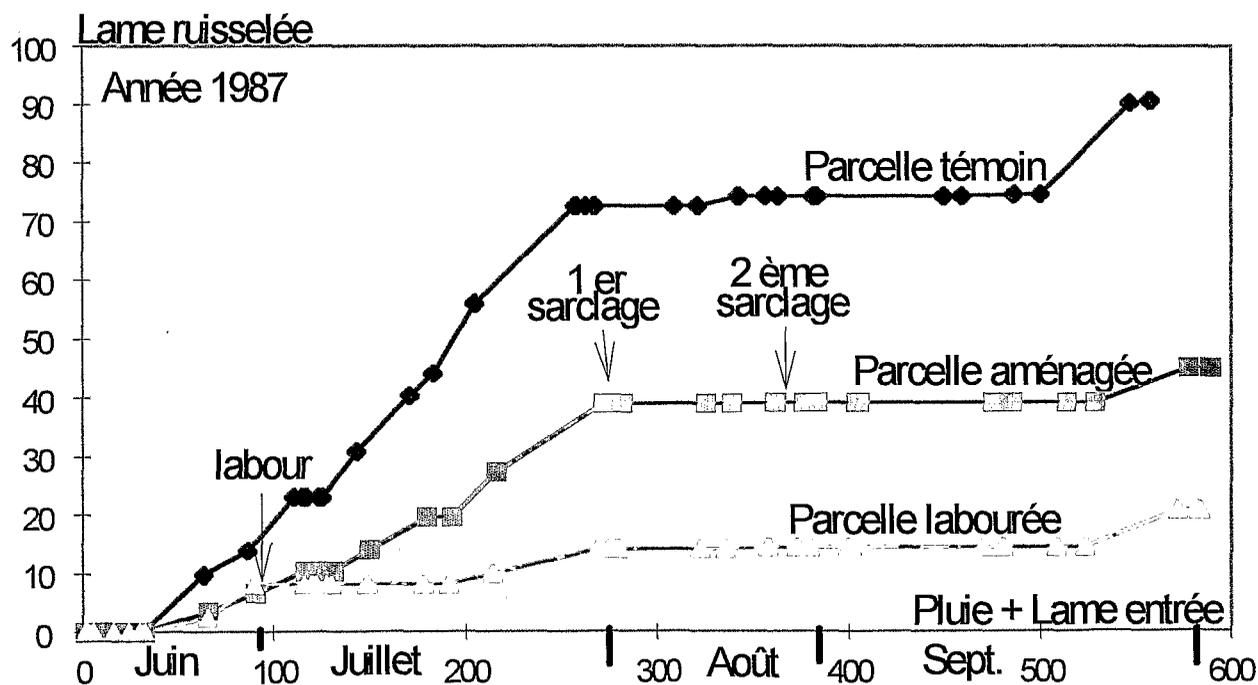
Après aménagement en cordons pierreux (6 cordons sur 100 mètres pour une pente de 2,5%), et cloisonnement de l'amont des cordons pierreux (une cloison tous les 10 m), le gain annuel moyen sur l'ensemble de la parcelle est d'environ 60 mm, soit 10 à 20 % de la pluie annuelle.

### Le ruissellement journalier

Afin de mieux analyser le comportement des parcelles au cours de la saison des pluies, nous avons reporté sur les figures 4 et 5 l'évolution de la lame ruisselée en fonction des cumuls de la pluie journalière et de la lame d'eau entrée par l'impluvium pour les années 1987 et 1989.

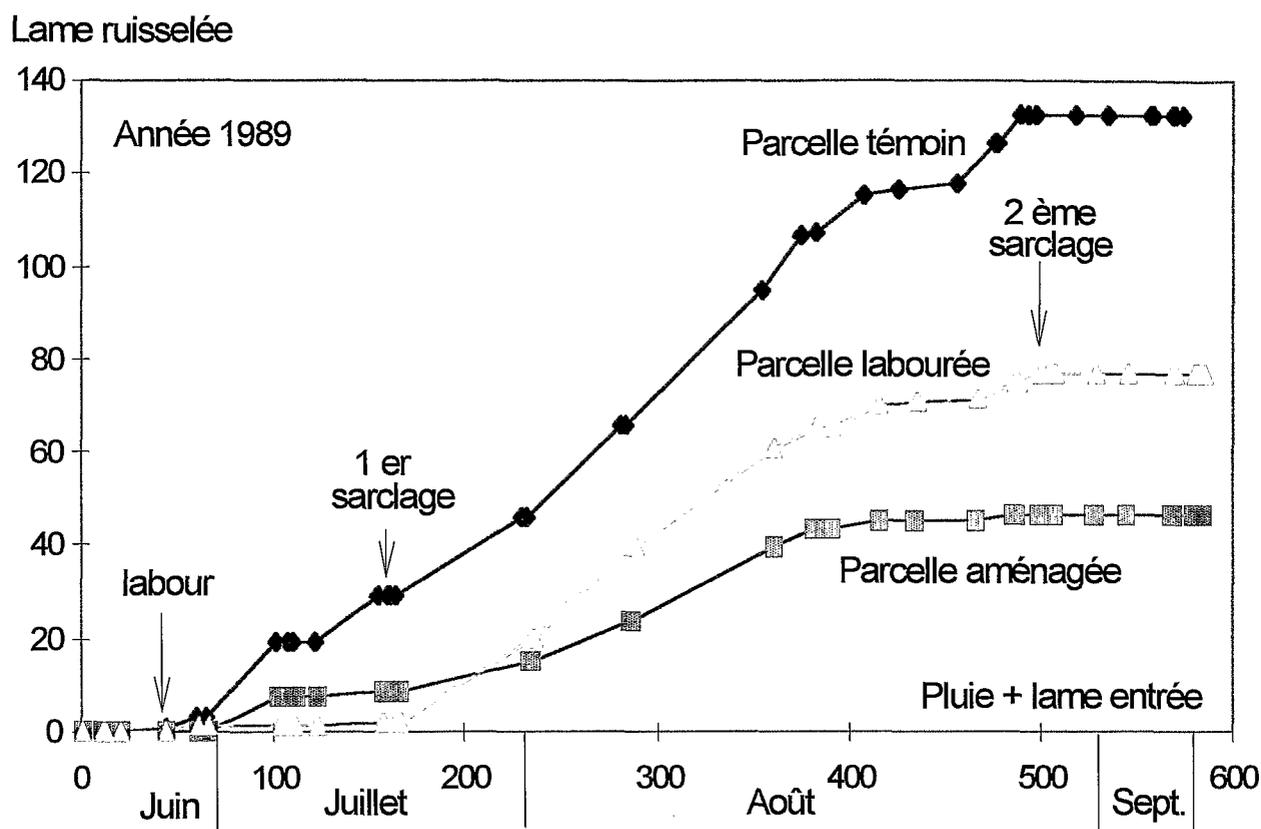
L'année 1987 (figure 4) met bien en évidence le rôle du labour qui explique à lui seul les différences observées entre les deux parcelles aménagées avec cordons pierreux. Les deux sarclages ont un effet dépressif très net sur le ruissellement puisqu'aucun écoulement n'est observé en aval des 3 parcelles après les deux sarclages, entre le début du mois d'août et la fin du mois de septembre.

Figure 4 : Lames ruisselées sur les parcelles de Samniwéogo en 1987



En 1989 (figure 5), l'effet du labour est bien marqué mais disparaît après un total pluviométrique d'environ 150 millimètres de pluie. La parcelle labourée ruisselle ensuite de manière à peu près identique à la parcelle témoin, alors que la parcelle aménagée non labourée ruisselle nettement moins. Les fortes pluies de la fin du mois de juillet et du début du mois d'août (200 mm en 10 jours) ont estompé très rapidement l'influence du premier sarclage. Le second sarclage, réalisé à la fin du mois d'août, conserve toute son efficacité en éliminant le ruissellement des trois parcelles.

Figure 5 : Lames ruisselées sur les parcelles de Samniwéogo en 1989



### Les relations hydro-pluviométriques à l'échelle élémentaire

Afin de mieux analyser le comportement hydrologique de sols sableux fins cultivés, nous avons réalisé, près des parcelles agronomiques de Bidi, des expériences de simulation de pluie après sarclage (Lamachère 1991). Les résultats de ces expériences montrent qu'au niveau du sol le facteur explicatif principal des relations hydro-pluviométriques est l'état d'encroûtement du sol, qui peut être représenté par la somme des pluies tombées ( $\Sigma P_j$ ) après un travail du sol, sarclage ou labour, le facteur explicatif secondaire restant l'humidité des sols ( $IK_j$ ). Au niveau des pluies, l'intensité de la pluie joue également un rôle certain. Au-dessous d'un seuil d'intensité, appelé intensité de pluie limite du ruissellement ( $\Pi$ ), la pluie ne produit aucun ruissellement. Ce seuil d'intensité pluviométrique varie avec l'état d'encroûtement du sol et avec son état d'humectation.

Les relations hydro-pluviométriques à l'échelle du mètre carré présentent la forme empirique suivante :

$$LR = A (Pu - B) \quad \text{avec} \quad Pu = \sum_{i=1}^{i=n} (IP_i \times \Delta t_i) \quad \text{pour} \quad IP_i > \Pi_j \quad (1)$$

- où
- LR est la lame ruisselée en mm,
  - A est un coefficient multiplicateur, analogue au coefficient de ruissellement,
  - B est la pluie d'imbibition ou pluie limite de ruissellement,
  - Pu est la pluie utile, définie comme la pluie dont l'intensité est supérieure à l'intensité de pluie limite de ruissellement  $\Pi$ .

**Les paramètres A, B et  $\Pi$  sont des fonctions de la somme des pluies antérieures ( $\Sigma P_j$ ) tombées depuis le dernier sarclage, ou depuis le labour, et de l'humidité du sol qui est**

représentée par l'indice d'humectation  $IK_j$ . Pour un état d'humectation moyen pendant la saison des pluies ( $IK_j = 10$  mm), on peut retenir les relations suivantes :

$$A = 0,38 + 3 \cdot 10^{-3} (\Sigma P_j) - 4 \cdot 10^{-6} (\Sigma P_j)^2 \quad \text{avec } A = 0,82 \text{ pour } \Sigma P_j > 200$$

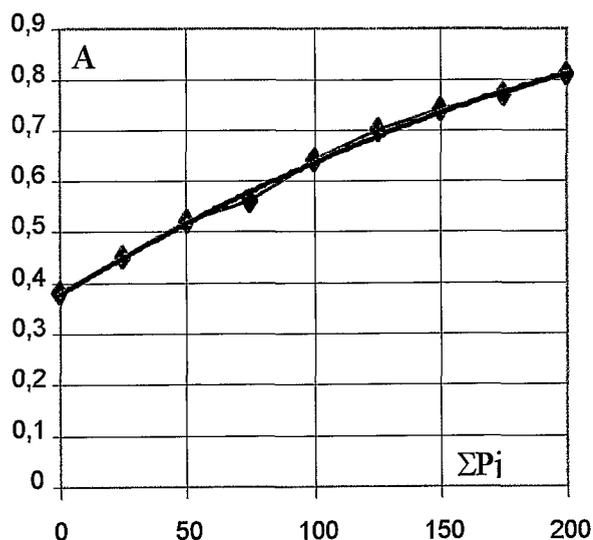
$$B = 23 \exp [-0,0077 (\Sigma P_j)] \quad \text{avec } B = 5 \text{ pour } \Sigma P_j > 200$$

$$II = 30 - 0,314 (\Sigma P_j) + 10^{-3} (\Sigma P_j)^2 \quad \text{avec } II = 5 \text{ mm/h pour } \Sigma P_j > 150.$$

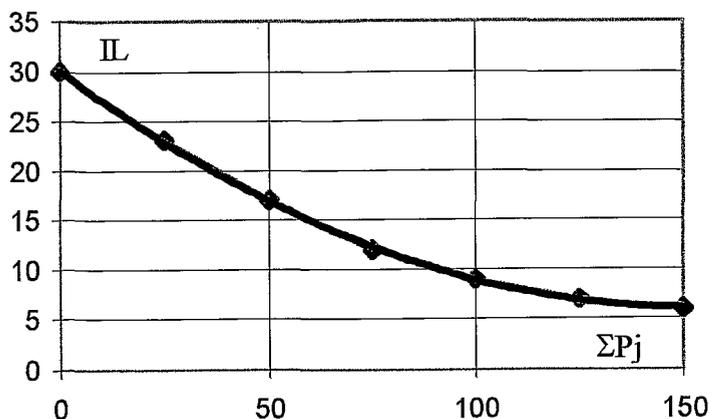
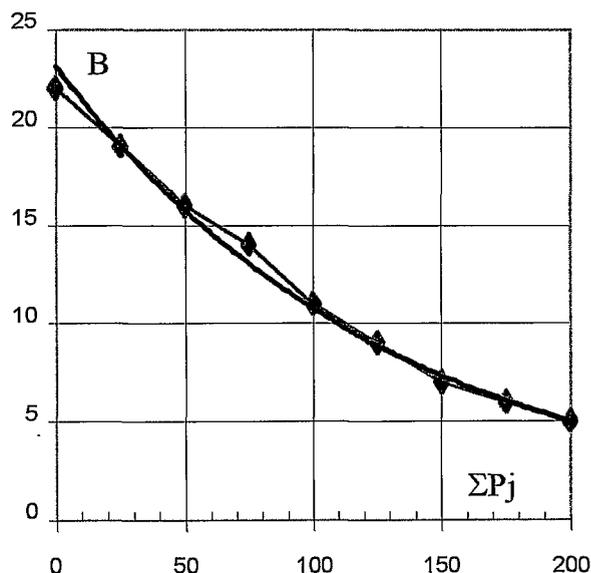
L'indice d'humectation est de la forme :  $IK_j = (IK_{j-1} + P_{j-1}) \times \exp(-0,5 \times \Delta t_{j-1}^j)$ ,  $IK_{j-1}$  et  $P_{j-1}$  étant l'indice d'humectation et la pluie du jour  $j-1$ , antérieur au jour  $j$ ,  $\Delta t$  étant l'intervalle de temps, exprimé en jours, entre les deux pluies successives.

Sur les sols sableux cultivés,  $IK$  semble jouer un rôle secondaire sur la valeur des paramètres  $A$ ,  $B$  et  $II$ , l'encroûtement des sols étant le facteur principal d'évolution de leur comportement hydrique. Les figures 6, 7 et 8 illustrent les variations des valeurs de  $A$ ,  $B$  et  $II$  en fonction de la somme des pluies tombées depuis le dernier travail du sol.

**Figure 6 : Variations de coefficient A en fonction de la somme des pluies depuis le sarclage ( $\Sigma P_j$ )**



**Fig. 7 : Variations de la pluie d'imbibition (B) en fonction de ( $\Sigma P_j$ ).**



**Figure 8 : Variations de l'intensité de pluie limite du ruissellement II en fonction de la somme des pluies depuis le sarclage ( $\Sigma P_j$ )**

### *Les relations hydro-pluviométriques à l'échelle des parcelles agronomiques*

A l'échelle des parcelles agronomiques, il est possible de s'inspirer du fonctionnement des surfaces élémentaires pour rechercher des relations hydro-pluviométriques applicables à l'échelle du champ. En première analyse, nous considérerons que la pluie observée est égale à la pluie utile, c'est-à-dire que nous supposerons que les intensités des pluies sont toujours supérieures à l'intensité de pluie limite du ruissellement. En pratique cette hypothèse n'est pas toujours vérifiée pour les pluies naturelles mais elle nous permet, dans un premier temps de simplifier énormément les procédures de calcul. **Pour tenir compte, à l'échelle du champ, des apports en provenance de l'amont du versant, nous ajouterons à la pluie observée au niveau du sol (Ps), la hauteur d'eau équivalente en provenance des impluviums (Le).**

**Pour la parcelle témoin**, non aménagée et cultivée de manière traditionnelle, les figures 9 et 10 montrent que la relation générale de type 1 [ $LR = A (Ps+Le - B)$ ] est applicable mais, alors que dans les relations à l'échelle du mètre carré le coefficient multiplicateur A varie fortement de la valeur 0,38 à la valeur 0,82, il semble invariant ( $A=0,88$ ) à l'échelle de la parcelle de 3000 m<sup>2</sup>. Par contre, la pluie d'imbibition B varie à peu près dans les mêmes proportions d'un sol sec à un sol bien humecté :

- de 30 à 7 mm à l'échelle de 3000 m<sup>2</sup> avec l'impluvium (période 1985-87),
- de 40 à 7 mm sans impluvium (période 1988-90).

**Pour la parcelle aménagée**, de 1985 à 1987 (figure 9), en présence de l'impluvium, deux périodes doivent être considérées : la période 1985-1986 pendant laquelle aucun aménagement complémentaire n'a été réalisé en amont des cordons pierreux, et l'année 1987 pour laquelle a été pratiqué un cloisonnage par des diguettes en terre placées en amont, perpendiculairement aux cordons, sur une longueur de 3 à 4 mètres, à raison d'une cloison tous les 8 mètres. La même relation générale hydro-pluviométrique [ $LR = A (Ps+Le - B)$ ] peut être appliquée à la parcelle aménagée :

- sur la période 1985-86 :  $A = 0,72$ , soit une valeur sensiblement plus faible que sur la parcelle témoin (-12 %), B varie de 30 mm à 7 mm, comme sur la parcelle témoin.
- pour l'année 1987, avec impluvium :  $A = 0,72$  et B varie de 42 mm à 14 mm,
- pour la période 1988-1990 (sans impluvium, figure 10) : A varie de 0,60 à 0,72 pendant que B varie de 44 à 16.

**Pour la parcelle aménagée labourée**, avant semis, les relations hydro-pluviométriques sont à peu près identiques à celles de la parcelle aménagée non labourée, avec une légère différence pour les valeurs maximales de la pluie d'imbibition (B) :

- pour l'année 1987 avec impluvium,  $A = 0,72$  et B varie de 40 à 14 mm,
- pour la période 1988-90, sans impluvium,  $A = 0,72$  et B varie de 42 à 16 mm.

### *Conclusions sur le fonctionnement hydrologique des parcelles agronomiques*

Les résultats de ces expériences montrent qu'à l'échelle du champ **les cordons pierreux réduisent le ruissellement des sols sableux fins d'environ 20%, sans modifier immédiatement la capacité de rétention globale du champ**. Cette capacité de rétention ne se trouve modifiée que par le colmatage des cordons et par le cloisonnage de la partie amont des cordons pierreux.

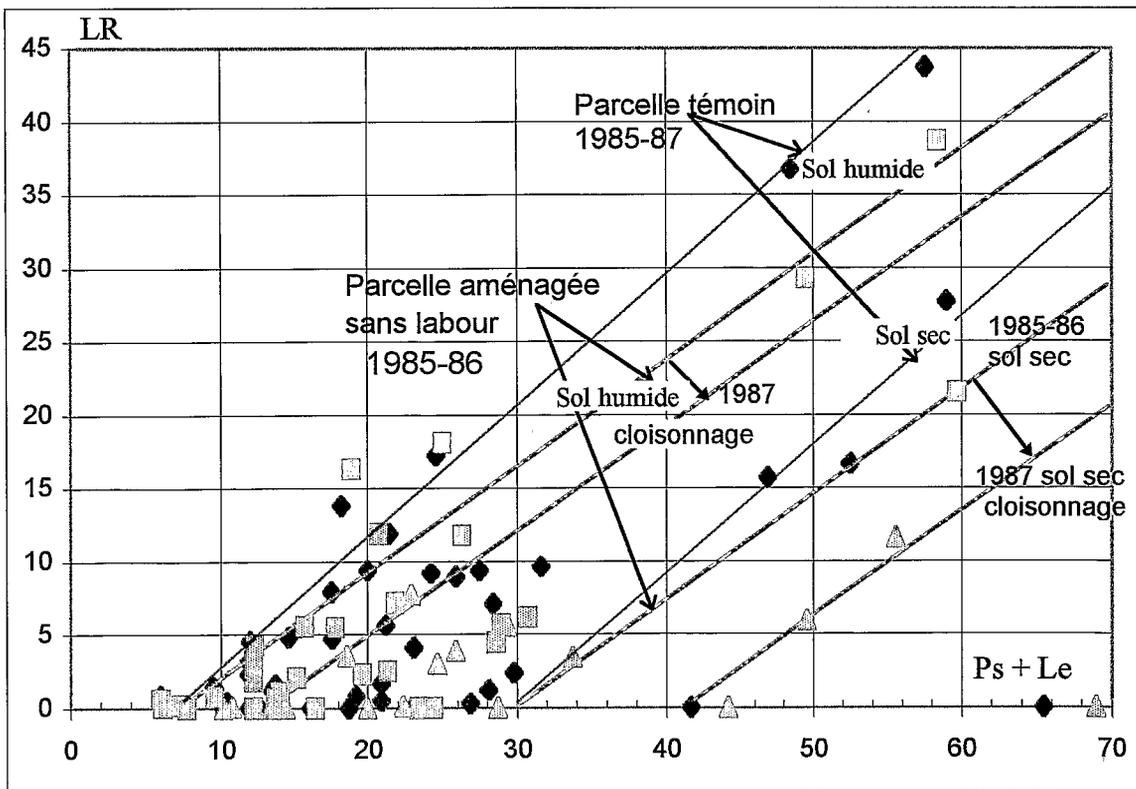
**Le travail du sol, labour ou sarclage, accroît de manière très importante la pluie d'imbibition du sol (B), qui passe de la valeur 30 mm après sarclage à la valeur 7 mm lorsque le sol est bien encroûté (200 mm de pluies après sarclage). Au delà de ce seuil pluviométrique, variable avec le taux d'encroûtement du sol, le ruissellement semble s'accroître proportionnellement à l'accroissement de la pluie, avec le même rapport, quel que soit l'état d'encroûtement du sol. Comme pour les parcelles de 1 mètre carré sous simulation de pluie, la décroissance de B, en fonction de la somme des pluies tombées après le sarclage, est extrêmement rapide. Après un total pluviométrique de 100 mm après sarclage, la pluie d'imbibition (B) perd environ la moitié de sa valeur initiale.**

**Le cloisonnage de l'amont des cordons pierreux accroît la pluie d'imbibition d'une hauteur d'eau équivalente de 7 mm sur sol lisse (pour une somme des pluies de 200 mm après sarclage), de 12 mm sur sol rugueux (après labour ou sarclage).**

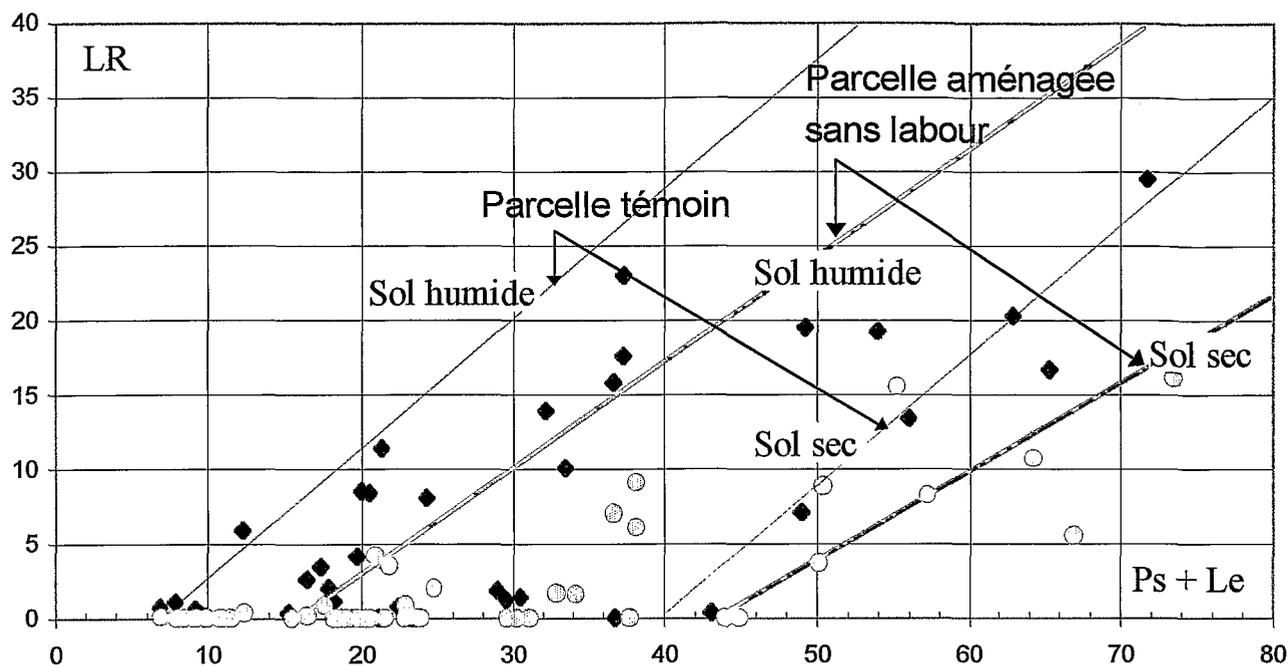
**Sur les parcelles aménagées, l'existence d'un impluvium en amont du champ diminue la pluie d'imbibition d'une valeur uniforme, égale à 2 mm. De plus, juste après sarclage sur la parcelle aménagée cultivée sans labour, l'absence d'impluvium fait chuter le coefficient A de la valeur 0,72 à la valeur 0,60. On n'observe pas cette chute de la valeur de A sur la parcelle labourée.**

**Sur la parcelle témoin, l'existence d'un impluvium diminue de 10 mm la pluie d'imbibition après sarclage. L'impluvium joue un rôle important sur les volumes ruisselés en aval des parcelles. Pour une forte pluie, la quasi totalité des ruissellements en provenance de l'impluvium parviennent à l'exutoire des parcelles.**

**Fig. 9 : Variations de la lame ruisselée (LR) en fonction de la pluie (P) et des apports amont (Le) sur les parcelles agronomiques : période 1985-87 avec impluvium.**



**Fig. 10 : Variations de la lame ruisselée (LR) en fonction de la pluie au sol (Ps) et des apports amont (Le) sur les parcelles agronomiques : période 1988-90 sans impluvium.**



#### *Effets des cordons pierreux et des impluviums sur la forme des crues*

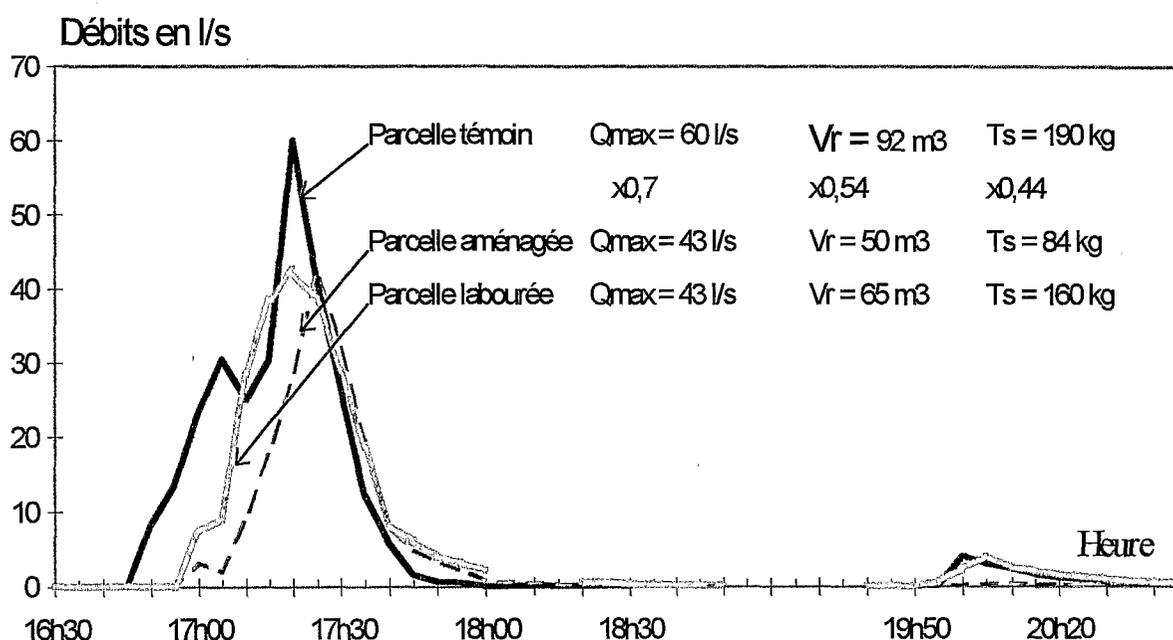
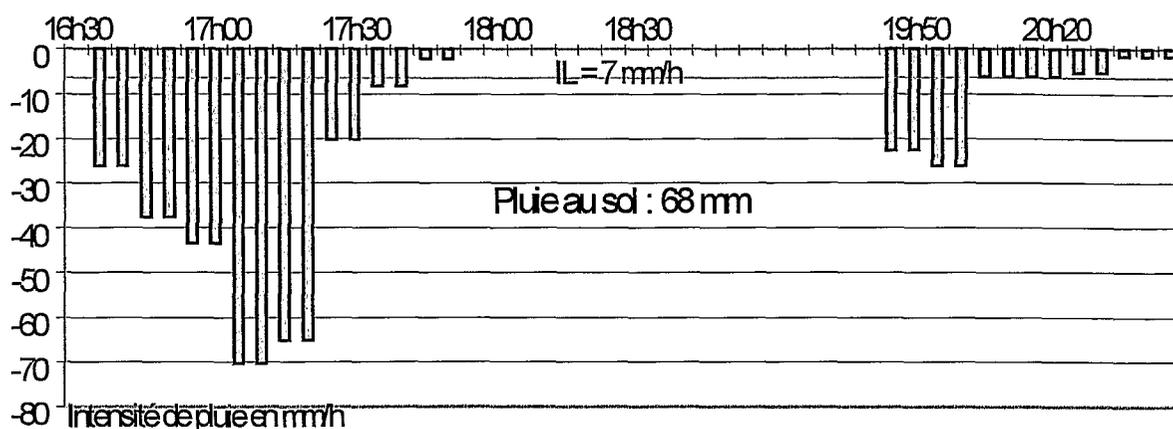
Pour illustrer l'effet des cordons pierreux sur le ruissellement, nous avons dessiné, sur la figure 11, les hydrogrammes des crues observées sur les parcelles agronomiques le 8 août 1989. L'année 1989 correspond à une situation sans impluviums, avec cloisons en amont des cordons pierreux. Pour la parcelle labourée, elle se distingue de l'autre parcelle aménagée par un sarclage plus léger (à plat, sans buttes).

L'averse du 8 août 1989 est tombée sur un sol ayant beaucoup perdu de sa rugosité ( $\Sigma P_j = 125$  mm,  $IL = 7$  mm/h), assez humide en surface ( $IK = 8,5$  mm). L'intensité pluviométrique maximale est de 70 mm/h en 10 minutes et le corps d'averse efficace (43 mm) dure 50 mn. Dans ces conditions, on observe un ruissellement de 31 mm sur la parcelle témoin, 22 mm sur la parcelle labourée aménagée, 17 mm sur la parcelle aménagée. On observe sur la parcelle aménagée avec cordons pierreux un débit maximum 30% plus faible et un volume ruisselé 23% plus faible que sur la parcelle témoin. La parcelle labourée ruisselle plus que la parcelle non labourée et la masse des transports solides y est 2 fois plus forte que sur la parcelle labourée.

Cette comparaison de situations nettement différentes entre parcelles permet de mieux comprendre leur fonctionnement hydrologique et d'analyser plus précisément le rôle de l'aménagement en cordons pierreux.

**Les cordons pierreux** diminuent d'au moins 30% le débit maximum des fortes crues et de plus de 20% les volumes ruisselés. Ils provoquent un net décalage de la montée de la crue, sans modifier la décrue.

Figure 11 : Crues du 8 août 1989 sur les parcelles agronomiques de Samniwéogo.



## LES TRANSPORTS SOLIDES

Les matériaux solides transportés par les eaux de ruissellement en aval des parcelles agronomiques de Samniwéogo se présentent 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 en amont du canal jaugeur.

Les résultats des mesures de transport solide sont consignés sur le tableau 3.

**Sur la parcelle témoin**, le tonnage annuel exporté est de 2,0 tonnes par hectare sans impluvium, de 2,6 tonnes par hectare avec impluvium.

**Sur la parcelle aménagée**, le tonnage annuel exporté est de 2,7 t/ha pour l'année 1986, année sans cloisonnage en amont de cordons pierreux non colmatés. Elle est de 0,5 t/ha/an en moyenne pour les autres années, avec cloisonnage de la partie amont des cordons pierreux.

**Sur la parcelle aménagée et labourée**, le tonnage annuel moyen exporté est égal à 0,9 t/ha.

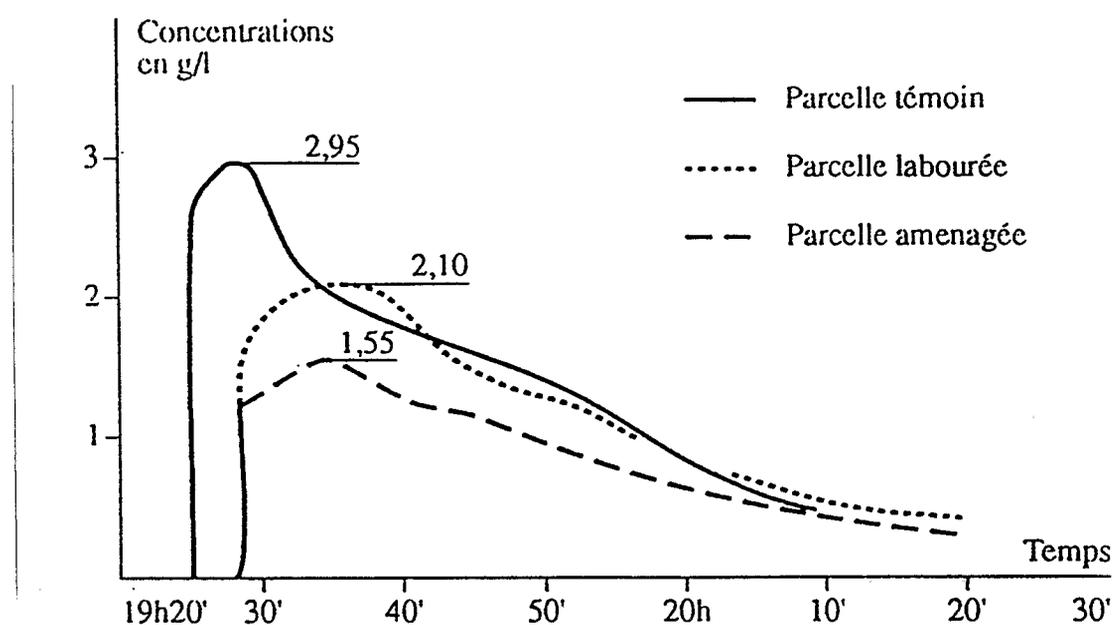
**Tableau 3 : Transports solides mesurés sur les parcelles agronomiques de Samniwéogo.**

Année	Charge solide déversée en kg			Charge solide décantée en kg			Pertes en terre (total en kg/an)			Pertes en terre en tonne par hectare		
	Tém.	Amén	Lab.	Tém.	Amén	Lab.	Tém.	Amén	Lab.	Tém.	Amén	Lab.
1986	1120	791	-	98	61	-	1218	852	-	3,9	2,7	-
1987	400	120	82	38	18	26	438	138	108	1,4	0,4	0,3
1988	418	152	291	321	79	140	739	231	431	2,3	0,7	1,3
1989	737	166	384	279	99	214	1016	267	525	3,1	0,8	1,6
1990	159	18	16	51	51	88	210	69	104	0,6	0,2	0,3

Tém. : Parcelle témoin ; Amén : Parcelle aménagée sans labour ; Lab. : Parcelle aménagée labourée.

La figure 13 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 1,15 g/l sur la parcelle labourée.

**Fig. 13 : Turbidigrammes des crues du 15 août 1988 sur les parcelles agronomiques.**



## LES OBSERVATIONS AGRONOMIQUES

Le tableau 4 résume les observations effectuées de 1985 à 1987 sur le développement et la croissance du mil. 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 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 des conditions d'humectation sur la mise en place des racines dans la parcelle aménagée.

**Tableau 4 : Etat du mil après les semis.**

Paramètres mesurés	Hauteurs en cm			Stade foliaire (équivalent feuille)		
	1985	1986	1987	1985	1986	1987
Année	1985	1986	1987	1985	1986	1987
Nb de jours après semis	44 j	34 j	45 j	44 j	34 j	45 j
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 amén. labourée	-	48,1	74	-	11,1	10,8

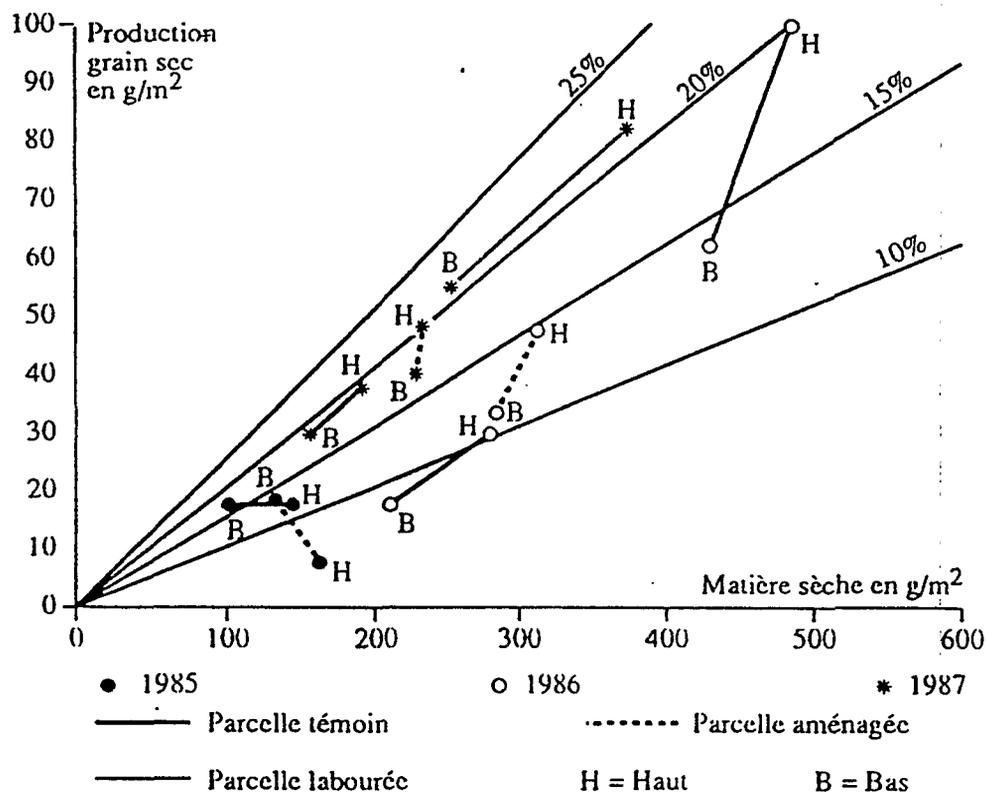
La figure 15 présente les productions en matière sèche et en grain par mètre carré de champ cultivé. Les relations entre la production en matière sèche et la production en grains sont bonnes, à l'exception du haut de la parcelle aménagée pour l'année 1985, année pour laquelle le mil a subi un échaudage radical en fin de cycle. Le haut des parcelles apparaît systématiquement favorisé tant pour la production en matière sèche que pour la production en grains.

L'aménagement en cordons pierreux, si l'on excepte l'année 1985, permet :

- d'augmenter de 10 à 20% la production de matières sèche et de 30 à 60% la production en grain en haut des parcelles,
- d'augmenter de 30 à 60% la production de matière sèche et de 30 à 90% la production en grain en bas des parcelles.

En année normale à pluviométrie bien répartie (1986), les labours permettent d'accroître de 55% la production de matière sèche et de 100% la production en grains. En année sèche (1987), l'accroissement de la production en grains reste important (60 à 70%) en haut de parcelle, plus faible en bas de parcelle (40%).

Figure 15 : Relations entre les productions de matière sèche et de grains secs par m<sup>2</sup>.



## CONCLUSIONS

Le travail du sol, labour ou sarclage, d'un sol sableux fin permet une infiltration optimale des pluies et des ruissellements qui entrent en amont dans les parcelles cultivées. Au delà d'un total pluviométrique de 100 mm après sarclage ou labour, la transformation de l'état de surface du sol, par aplanissement du microrelief et formation de croûtes superficielles, favorise le ruissellement dont l'importance croît avec l'intensité de la pluie et l'état d'humectation du sol. Après un total pluviométrique de 100 mm tombé sur un sol sarclé, le sol sableux fin a perdu par encroûtement plus de 65% de sa capacité d'infiltration.

Un aménagement en cordons pierreux isohypses modifie les paramètres d'une crue par écrêtage et décalage de la montée de la crue. Le décalage est plus important et les volumes ruisselés plus faibles lorsqu'un cloisonnage est pratiqué en amont des cordons pierreux. Compte tenu des fréquents déficits en début et en fin de saison des pluies en zone sahélienne, l'aménagement en cordons pierreux isohypses cloisonnés permet une meilleure installation du peuplement, un meilleur enracinement et une meilleure fructification, augmentant ainsi le poids en grains par épis et la production de matière sèche sur la parcelle aménagée. Dans les zones basses des parcelles, le gain sur la production de grains est de 11% en 1985, 81% en 1986 et 31% en 1987 au profit de la parcelle aménagée par rapport à la parcelle témoin, ce qui souligne la variabilité de l'effet et permet de prévoir un effet négatif de l'aménagement si les pluies sont peu intenses et rares en fin de cycle.

Les labours améliorent l'enracinement du mil en début de cycle. En année favorable, ils augmentent ainsi de manière importante la production de matière sèche (+50%) et de manière très importante la production de grains (+100%). En année déficitaire, ils augmentent également les risques d'échaudage et de perte sèche. Les labours accroissent la vulnérabilité des sols à l'érosion par ameublissement des sols, de telle sorte que les pertes en terre sont en

moyenne 2 fois plus élevées sur la parcelle aménagée labourée que sur la parcelle aménagée non labourée. Par contre elles restent 2 fois inférieures aux pertes en terre de la parcelle témoin.

L'impluvium agit tout au long du cycle végétatif du mil en augmentant la valeur des lames infiltrées en haut de parcelle lorsque les sols sont suffisamment absorbants. Son rôle est surtout sensible pour les faibles pluies. Pour les fortes pluies, les ruissellements amont semblent transiter jusqu'en aval sans s'infiltrer.

L'aménagement en cordons pierreux isohypses cloisonnés apparaît donc 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 en amont des parcelles.

L'amélioration de l'alimentation hydrique des cultures pose à plus 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'un itinéraire technique mieux adapté à une situation de déficit pluviométrique et de saturation de l'espace cultivable.

## BIBLIOGRAPHIE

- CASENAVE A., 1982. Le mini-simulateur de pluie : condition d'utilisation et principes de l'interprétation. *Cahiers ORSTOM, série Hydrologie, XIX (4)*, 207-227.
- CASENAVE A. et VALENTIN C., 1989. Les états de surface de la zone sahélienne. Influence sur l'infiltration. *Collection Didactiques, ORSTOM*.
- CHEVALLIER P., CLAUDE J., POUYAUD B. et BERNARD A., 1985. Pluies et crues au Sahel. Hydrologie de la Mare d'Oursi (Burkina Faso). 1976-1981. *Travaux et Documents de l'ORSTOM n° 190. ORSTOM, Paris*.
- CHEVALLIER P. et LAPETITE J.M., 1986. Note sur les écarts de mesure observés entre les pluviomètres standard et les pluviomètres au sol en Afrique de l'Ouest. *Hydrologie Continentale (2)*, 11-119.
- LAMACHERE J.M., 1991. Aptitude au ruissellement et à l'infiltration d'un sol sableux fin après sarclage. In *Soil Water Balance in the Sudano-Sahelian Zone. Proceedings of the Niamey Workshop, February 1991. IAHS Publ. n° 199*, 109-119.
- LAMACHERE J.M. et SERPANTIE G., 1991. 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. In *Utilisation rationnelle de l'eau des petits bassins versants en zone aride. Ed. Scient. A. Kergreis et J. Claude, AUPELF-UREF. John Libbey Eurotext, Paris*, 165-178.
- LAMACHERE J.M., 1993. Observations pluviométriques aux postes de Bidi-Nayiri et Bidi-Samniwéogo sur la période 1985-1992. Programme de recherche sur la caractérisation et le fonctionnement des hydrosystèmes naturels et anthropisés de la région de Bidi, province du Yatenga, Burkina Faso. *Centre ORSTOM de Ouagadougou*, 57 p.
- SIBAND P., 1981. Croissance et production du mil. Essai d'analyse du fonctionnement de mil en zone sahélienne. *Thèse de doctorat, académie de Montpellier*, 302 p.



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

Lamachère, J. M.; Serpantié, G. - Valorisation agricole des eaux de ruissellement sur champs cultivés en mil en zone soudano-sahélienne (Burkina Faso, province du Yatenga, région de Bidi), pp. 133-151, Bulletin du RESEAU EROSION n° 18, 1998.

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