

PARTIE III

Érosion et conservation des sols

14

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

J.M. LAMACHÈRE, G. SERPANTIE

*Institut Français de Recherche pour le Développement en Coopération (ORSTOM),
01 BP 182, Ouagadougou, Burkina Faso*

Au nord du 13^e parallèle, dans la province du Yatenga (figure 1), les années 1982, 1983 et 1984 ont été les plus sèches parmi les observations effectuées depuis 1920. A Ouahigouya, capitale du Yatenga, les moyennes pluviométriques interannuelles, calculées sur des périodes de 5 années consécutives, sont supérieures à 600 millimètres jusqu'en 1966, égales à 568 millimètres sur la période 1972-1976, à 424 millimètres sur la période 1982-1986.

Sans préjuger de l'évolution future des précipitations, 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 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 essai interdisciplinaire, réalisé de 1985 à 1988 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.

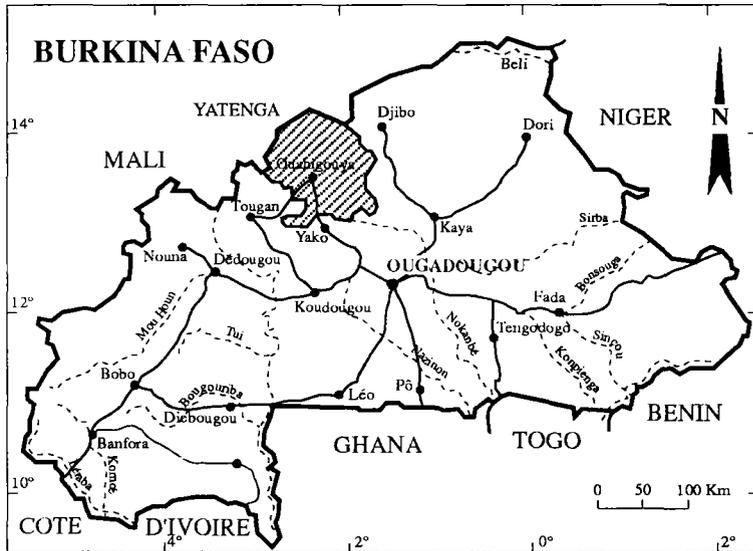


Figure 1. Carte du Burkina Faso.

Le dispositif expérimental

Les parcelles

Le dispositif expérimental des parcelles agronomiques de Bidi-Samniweogo 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 et un deuxième sarclage avant la floraison.

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. 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 les courbes de niveau avec une charrue bovine attelée vers la fin du mois de juin.

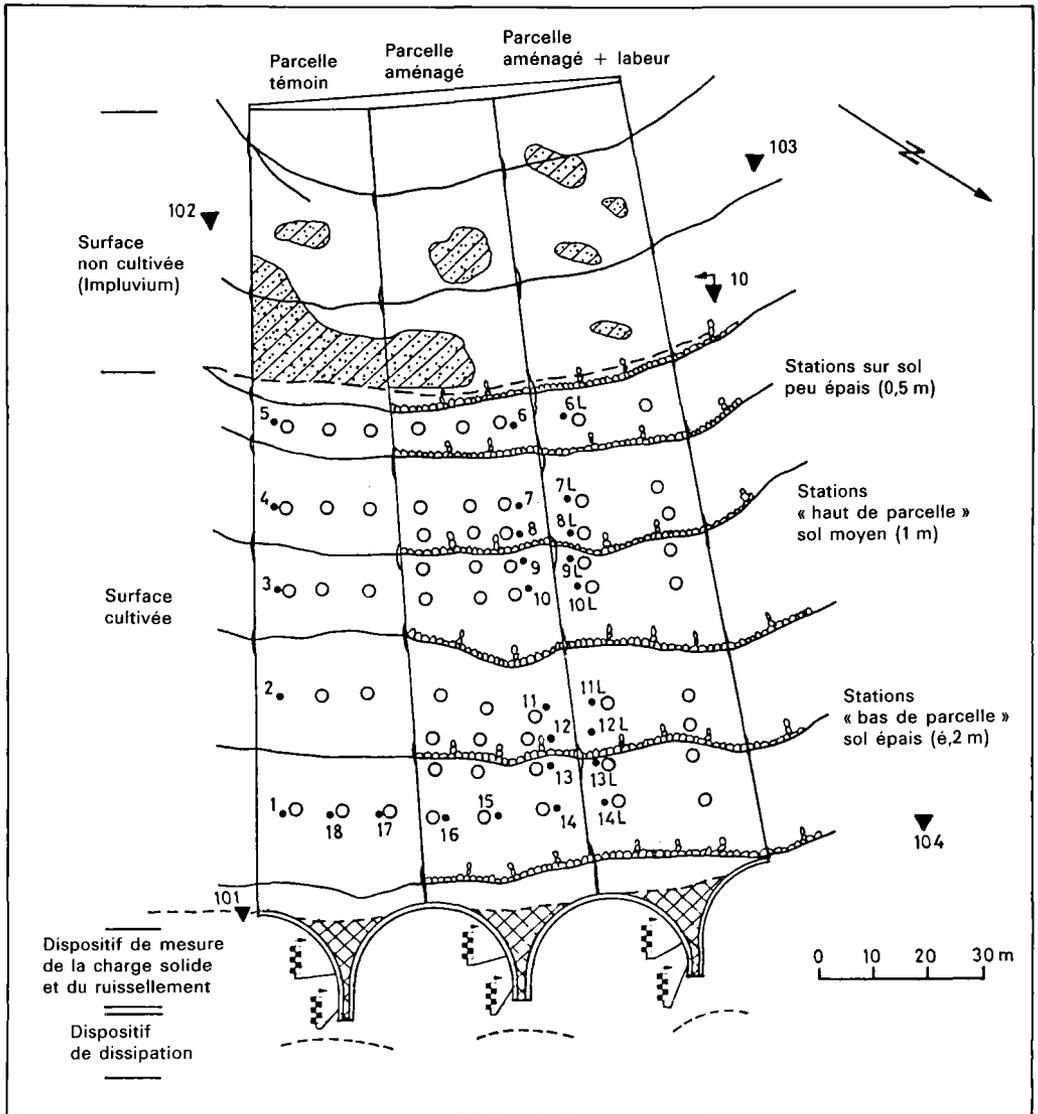
L'instrumentation

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 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 2 pluviomètres en amont et 2 pluviomètres en aval des parcelles. Le pluviographe a été installé successivement 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, 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 : une bande supérieure, large de 20 mètres et bordant l'impluvium, une bande médiane large de 40 mètres appelée « haut de parcelle », une bande inférieure large de 40 mètres appelée « bas de parcelle ». Sur chaque bande, la croissance et le développement du mil sont 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 carrés, répétées 4 à 12 fois sur chaque zone selon l'hétérogénéité du peuplement.



- (Pente générale 2,5 %)
- 3. Point de suivi du profil hydrique et phénologie
 - Station de récolte
 - ▨ Microbuttes sableuses
 - Tôles (0,2 m et 0,4 m)
 - Muret (0,2 m)
 - ▣ Exutoire en béton
 - Cordon pierreux (0,25 m)
 - Courbe de niveau (0,5 M)
 - 102 ▼ Pluviomètre
 - 10 ▼ Pluviographe
 - Limnigraphes et échelles limnimétriques

Figure 2. Plan d'Ensemble de l'essai sur parcelles agronomiques (Samniweogo 1985-1987).

Les 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 d'un autre des parcelles.

Tableau I. Pluviométrie décadaire sur les parcelles agronomiques de Samniweogo, période 85-88.

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

Cycle végétatif : semis germination; montaison : floraison épiaison maturation.
Chiffre en italiques : décade sèche; chiffres en gras : décade très sèche.

La comparaison entre les hauteurs pluviométriques observées au pluviomètre dont la surface réceptrice est placée 1 mètre au-dessus du sol et celles 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 1^{er} 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 favorables au développement du mil.

L'année 1988 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 une pluviosité satisfaisante à la fin du cycle végétatif.

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 II.

Tableau II. Pluies et ruissellements annuels sur les parcelles agronomiques de Samniweogo.

Année	1986			1987			1988		
	Période			01/06 au 15/10			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 labourée	—	—	—	486	100	17	509	15	67

Pu : pluie au sol; LE : lame d'eau entrée sur les parcelles par les impluviums; LR : lame ruisselée aux exutoires.

Sous impluvium (années 1986 et 1987), les deux parcelles cultivées de manière traditionnelle réagissent de façon presque identique. En l'absence d'impluvium (année 1988), le ruissellement observé sur la parcelle aménagée est presque deux fois plus faible que celui observé sur la parcelle témoin. L'impluvium joue donc un rôle très important dans le fonctionnement hydrique de la parcelle aménagée, un rôle beaucoup plus faible sur le fonctionnement hydrique de la parcelle témoin.

Les deux parcelles aménagées 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 pluie et ruissellement

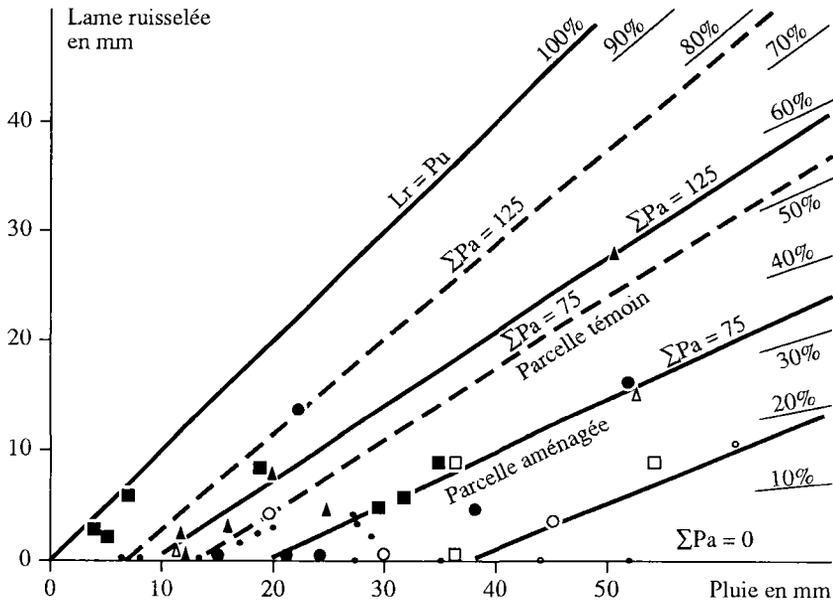
Afin de mieux analyser le comportement des parcelles au cours de la saison des pluies en fonction du calendrier cultural, nous avons calculé pour chaque averse un indice pluviométrique (ΣPa) égal à la somme des pluies antérieures tombées depuis le précédent sarclage. Les correspondances entre lames ruisselées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

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 III où ils sont confrontés aux renseignements collectés sur les parcelles.

Tableau III. Evolution de l'aptitude au ruissellement et à l'infiltration d'un sol sableux fin sarclé.

Somme des pluies ant. en mm	Simulation de pluie 1988			Parcelle témoin 1986-1987			Parcelle aménagée 1986-1987			Parcelle aménagée 1988		
	a	II	Lro	a	II	Lro	a	II	Lro	a	II	Lro
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	—	—	—

Valorisation agricole des eaux de ruissellement



ΣPa = somme des pluies antérieures depuis le sarclage

- $\Sigma Pa < 50$ mm
- $\Sigma Pa < 100$ mm
- $\Sigma Pa < 150$ mm
- $\Sigma Pa > 150$ mm
- ● ▲ ■ : années 1986-1987
- ○ ▲ □ : années 1988

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

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

— le différentiel de ruissellement, $a = \frac{\delta Lr}{\delta P} = \frac{R}{J-J_1}$

— l'intensité de pluie limite du ruissellement, Il , exprimée en mm/h;

— la capacité de stockage superficiel du sol, Lro , exprimée en mm.

La lame ruisselée peut alors être formulée par l'expression suivante en fonction de la pluie P et de sa durée $(t - to)$:

Si $I > Il$, $Lr = a P - a Il (t - to) - Lro$

I étant l'intensité de pluie.

Ainsi, pour une hauteur pluviométrique de 40 millimètres tombée en 1 heure la lame ruisselée varie-t-elle de 1,1 mm pour ΣPa égale à 75 mm, à 13 mm pour ΣPa égale à 125 mm, à 22,6 mm pour ΣPa égale à 200 mm. La progression de la capacité des sols sarclés au ruissellement est donc extrêmement rapide. Au-delà d'une somme des 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 III. 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 4 les hydrogrammes 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 celle de la parcelle témoin.

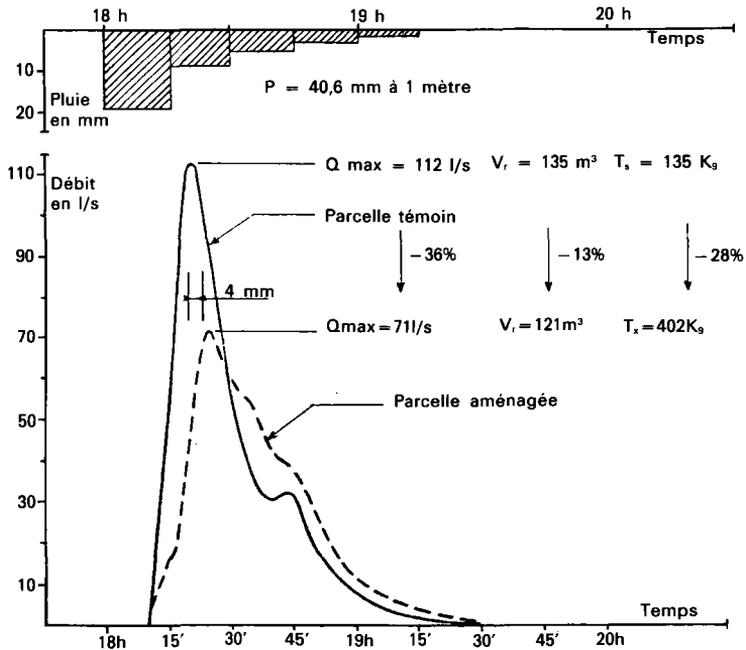


Figure 4. Crues du 13 juillet 1986 sur les parcelles agronomiques de Samniweogo.

Les transports solides sur les parcelles agronomiques

Les matériaux solides transportés par les eaux de ruissellement en aval des parcelles agronomiques de Samniweogo 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 située en amont du canal jaugeur.

Les résultats des mesures de transports solides sont consignés sur le Tableau IV.

Tableau IV. Transports solides mesurés sur les parcelles agronomiques de Samniweogo.

Année	1986		1987		1988		
	déversés V	déposés U	déversés V	déposés U	déversés V	déposés U	déposés aire
Matériaux exportés en kilogrammes							
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	3 100 m ²		3 100 m ²		3 100 m ²		
Surface impluvium	1 250 m ²		1 250 m ²		150 m ²		

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

Sur la parcelle aménagée sans labours, 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 en 1988, sans impluvium, était de 1,3 tonne par hectare. Il était de 0,4 tonne par hectare en 1987 avec l'impluvium.

Les variations 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 5 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.

Les observations hydro-pédologiques et agronomiques

Les bilans hydriques sur les parcelles

Les mesures hydrologiques de surface et les mesures de stock hydrique des sols apparaissent suffisamment précises pour permettre l'établissement des 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 :

$$Re + Ps + Rs + Vs + ED = 0,$$

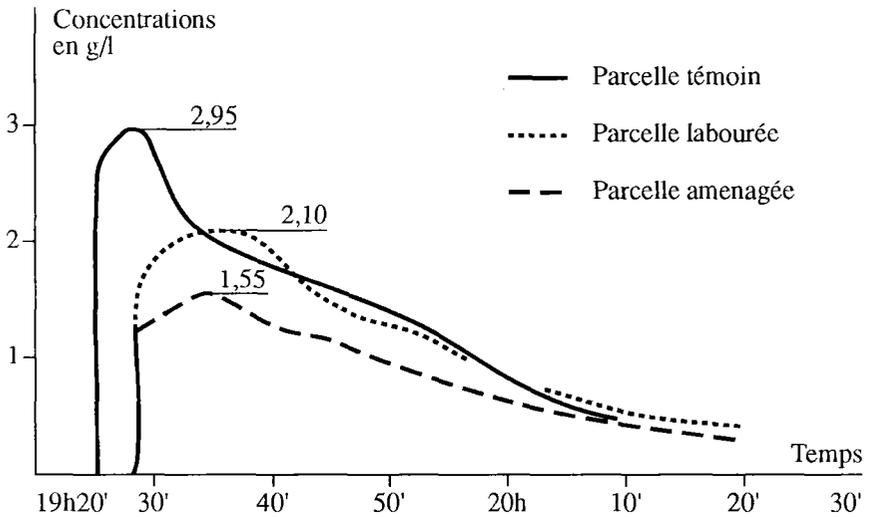


Figure 5. Turbidigrammes des crues du 15 août 1988 sur les parcelles agronomiques de Bidi, Samniweogo.

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 quelle que 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 et sèche. 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 l'accroissement de la lame infiltrée rentrent dans le domaine d'incertitude sans biais systématique.

La figure 6 présente les résultats des calculs pour l'année 1987.

Les observations agronomiques

Le Tableau VI résume les observations effectuées 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

Tableau V. 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
Nombre de jours après les 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 labourée	—	48,1	74	—	11,1	10,8

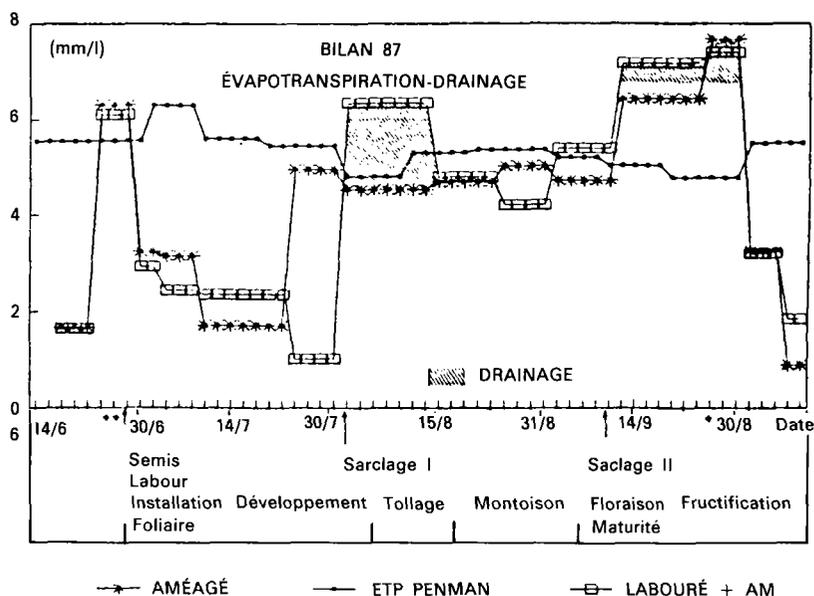


Figure 6. Evapotranspiration et drainage de l'année 1987 sur les parcelles aménagées.

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.

La figure 7 présente les productions en matière sèche et en grain par mètre carré de champ cultivé. Les relations entre la production de 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 échouage radical en fin de cycle. Le haut des parcelles apparaît systématiquement favorisé tant pour la production de 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

Un aménagement en cordons pierreux isohypses cloisonnés, à l'occasion de fortes pluies, modifie les paramètres d'une crue par écrêtage et déphasage. Il réduit ainsi la puissance érosive des crues et accroît la lame infiltrée. Compte tenu des fréquents déficits en début et en fin de saison des pluies, l'aménagement permet une meilleure installation du peuplement, un meilleur enracinement et une meilleure fructification, augmentant ainsi en 1986 et 1987 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, 31 % en 1987 au profit de la parcelle aménagée, 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.

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 favorise l'enracinement, améliore la production de matière sèche, le nombre d'organes fructifères et le poids des épis si la capacité de rétention des sols est suffisante.

Plus que le lourd 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 en amont des parcelles.

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'un itinéraire technique agricole mieux adapté à une situation nouvelle de déficit pluviométrique et de saturation de l'espace cultivable.

Références

1. Albergel J. (1987). Genèse et prédétermination des crues au Burkina Faso. Thèse de doctorat de l'université Paris 6.
2. Casenave A. (1982). Le mini-simulateur de pluie : condition d'utilisation et principes de l'interprétation. Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., XIX (4), 207-227.
3. Chevallier P., 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. Hydro. Conti. (2), 111-119.
4. Martinelli B., Serpantie G. (1987). Deux points de vue sur la confrontation des paysans aux aménageurs. Les Cahiers de la Recherche-Développement, 1 (15), 29-52.
5. Milleville P. (1980). Etude d'un système de production agropastoral de Haute-Volta. Le système de culture. ORSTOM/Ouagadougou, 66 p.
6. Poss R. (1984). La précision du comptage neutronique avec l'humidimètre SOLO 25. Définition des protocoles de mesure. Bulletin VGFHN, 16, 109-122.
7. 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 p.

15

Quantification de l'érosion à l'exutoire de micro-bassins en zone semi-aride

A. DEMMAK, M. OUAAR, A. GUEDJAL

Agence Nationale des Ressources Hydrauliques, Clairbois, Avenue Mohammedi Bir Mourad Rais, Alger, Algérie

L'érosion hydrique est un phénomène complexe très répandu en zone semi-aride, touchant particulièrement les pays d'Afrique du Nord dont il menace gravement les potentialités en eau et en sol.

Dans le cadre d'un projet régional PNUD consacré à l'« Etude des ressources en eau dans les pays d'Afrique du Nord » (projet RAB 80/011), une étude sur l'« érosion et les transports solides en zone semi-aride » a été entreprise en Algérie sur le bassin versant de l'oued Isser.

Objectifs et méthodologie

En se basant sur le micro-bassin représentatif et expérimental comme outil d'analyse et de quantification, et sur la cartographie géomorphologique comme outil d'extrapolation et de synthèse, cette étude a été entreprise dans le but d'améliorer les connaissances acquises sur les causes et mécanisme de l'érosion en zone semi-aride. L'étude visait en particulier 4 objectifs :

- quantifier les principales formes d'érosion qui se développent dans le bassin étudié;
- mettre au point des relations précipitation-érosion-transport solide à l'échelle de micro-bassins représentatifs d'une forme d'érosion donnée;
- élaborer une méthode d'évaluation des apports solides à l'exutoire d'un grand bassin à partir des résultats obtenus sur micro-bassins;

— mesurer l'efficacité de différents traitements anti-érosifs et contribuer à la définition d'une stratégie de lutte anti-érosive.

Les hypothèses de bases admises peuvent être formulées comme suit :

— à chaque forme d'érosion peut être associée une charge solide des écoulements;

— la concentration moyenne à l'exutoire d'un bassin est la somme pondérée par la superficie des charges solides partielles de chaque forme d'érosion individualisée.

L'apport solide spécifique à l'exutoire d'un bassin pourra être ainsi déterminé sur la base d'une cartographie des formes d'érosion préalablement quantifiées, moyennant une bonne connaissance des relations pluie-débit.

Le terrain d'étude

Le bassin versant de l'oued Isser (figure 1) limité à la station de Lakhdaria a été choisi pour servir de base à cette étude en raison de ses caractéristiques physico-climatiques représentatives de la zone Tellienne semi-aride, de l'intensité et de la diversité des phénomènes de l'érosion qui s'y développent ainsi que de la qualité des mesures hydropluviométriques qui y ont été effectuées. Par ailleurs, ce bassin fait actuellement l'objet d'un vaste programme d'aménagement hydraulique.

Entravé dans les contreforts de l'Atlas Tellien, le bassin de l'Isser est situé à environ 70 km au Sud-Est d'Alger; il présente sensiblement la forme d'un quadrilatère d'orientation Sud-Ouest/Nord-Est et s'étend sur 3 600 km² à la station de Lakhdaria.

Le cadre géographique dans lequel se développe le bassin est constitué essentiellement de l'Atlas Tellien Algérois au Nord qui culmine à 1 130 m au Djebel Tamesguida et de la chaîne des Bibans au Sud qui culmine à 1 700 m au Djebel Dira. Ces deux chaînes étant séparées par la plaine des Aribis d'altitude 550 m.

Du point de vue géologique, les affleurements en place, ou charriés du Crétacé supérieur et du Miocène sont prédominants et se traduisent sur le plan lithologique par la présence de marnes schisteuses et de marnes calcaires dans la zone Nord Tellienne.

Dans la zone Sud Tellienne de Souagui, au Sud de la chaîne quartzitique des Bibans, on retrouve les mêmes faciès de marnes schisteuses avec bancs calcaires du Crétacé supérieur.

D'importants affleurements du Miocène continental post-nappe prennent en écharpe le bassin au Nord de la plaine des Aribis et au Sud de la chaîne des Bibans.

Le régime climatique du bassin est marqué par une tendance semi-aride avec une diminution des précipitations du Nord au Sud passant de 700 mm dans la zone Nord Tellienne à 300 mm dans la région de Souagui.

Une étude cartographique de l'érosion dans ce bassin, effectuée au 1/50 000 fait ressortir une corrélation vraisemblable entre la lithologie et l'intensité de l'érosion.

Les formes d'érosion les plus graves sont localisées sur les affleurements argilo-sableux du Miocène continental post-nappe et les formations marno-schisteuses et marno-calcaires du Crétacé supérieur.

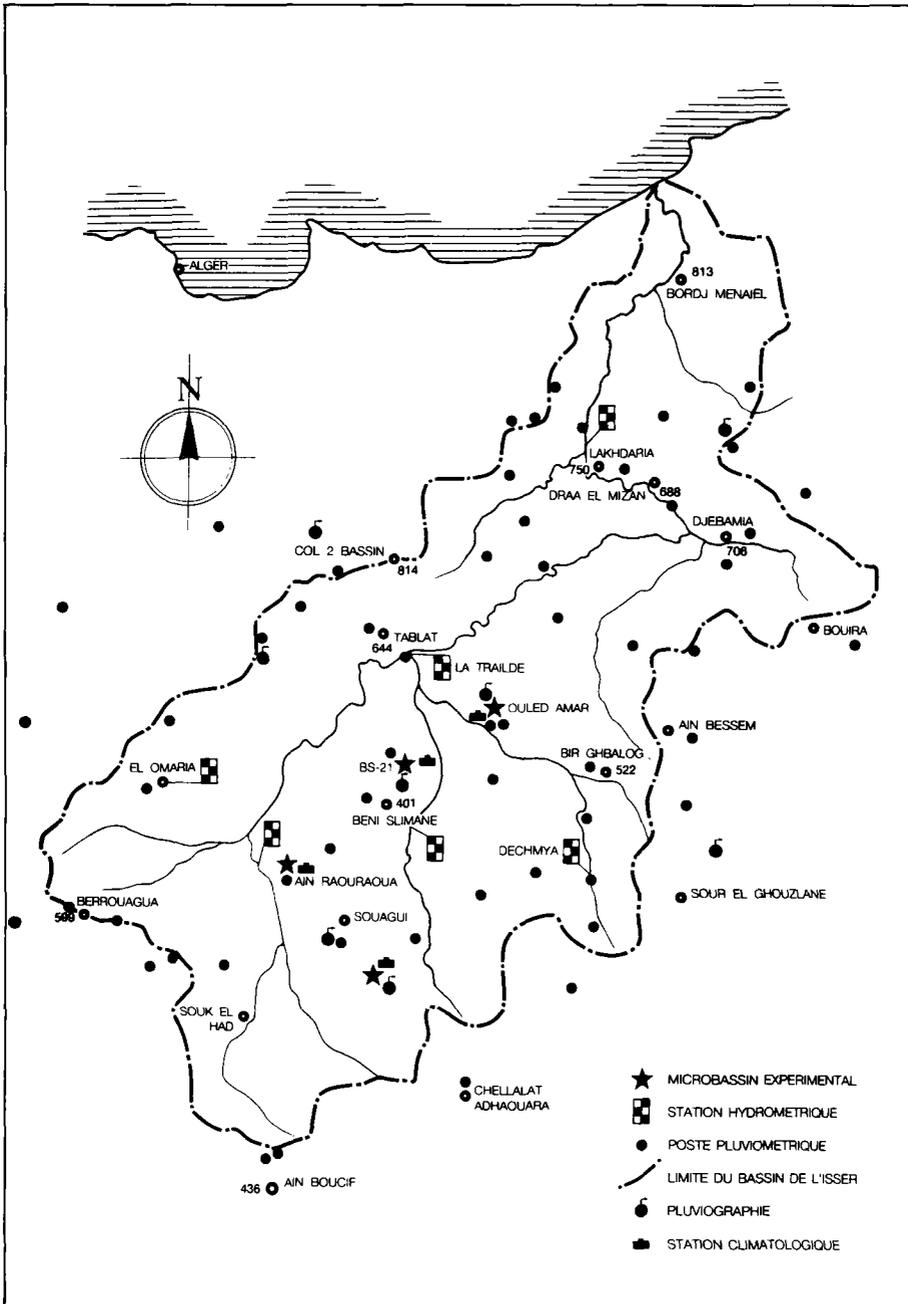


Figure 1. Carte d'implantation des microbassins expérimentaux.

Les études physico-climatiques font apparaître deux grandes zones physico-climatiques distinctes de part et d'autre de la station de La Traille.

A l'aval de cette station, le bassin est soumis à un climat sub-humide et se distingue du point de vue morphodynamique par des entailles linéaires très longues et peu hiérarchisées affectant des versants instables modelés par la solifluxion lente et les mouvements de masse généralisés. En amont de la station de La Traille, le climat est de type semi-aride et l'érosion est tout aussi importante, mais se traduit essentiellement par des ravinements extrêmement hiérarchisés et par des mouvements de masse localisés.

L'essentiel des travaux de recherche a été concentré dans la partie amont semi-aride du bassin.

Les micro-bassins

Sur la base des différentes études physico-climatiques et morpho-dynamiques réalisées, quatre couples de micro-bassins représentatifs, ont été sélectionnés et équipés dans la zone d'étude.

Ces micro-bassins ont été installés par couples dans le but d'appliquer ultérieurement un traitement anti-érosif sur un des bassins du couple, le deuxième étant maintenu vierge en guise de bassin témoin.

La sélection a été effectuée en se basant sur différents critères (superficie; représentativité; homogénéité; accessibilité) permettant une représentation exhaustive des principales formes qui se développent sur le bassin.

Caractéristiques physiques

Bassin	Superficie (ha)	Altitude (m) Hmin - Hmax	Lithologie	Occupation du sol	Erosion
Ain Raouraoua	18	720 - 757	Alluvions quaternaires	Céréale - culture	En nappe
Souagui 1	27	1 002 - 1 123	Marnes calcaires	Céréale - culture	Glissement (planche)
Souagui 2	"	" "	Marnes pyriteuses paléocènes	Friche	entailles ravine indiv.
BS 21 - 1	169	680 - 844	Argiles sableuses	Céréales	Ravinement + mouvements
BS 21 - 2	84	" "	Miocène post-nappe	Friche Boisement	de masses ponctuels
Ouled Amar 1	8	454 - 590	Argiles sableuses	Nulle	Bad-land
Ouled Amar 2	18	" "	Miocène		

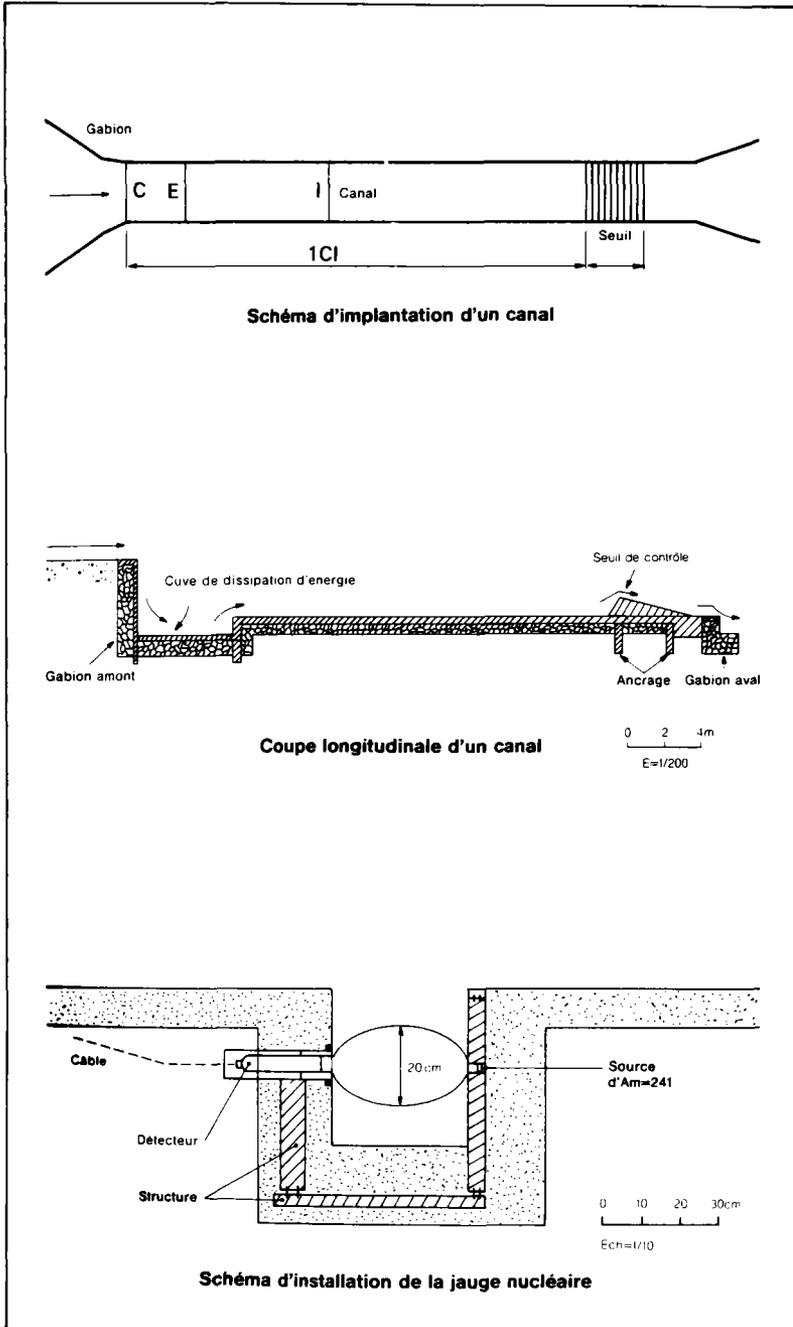


Figure 2. Dispositif de mesure type sur microbassin.

Dispositifs de mesure

Etant donné le caractère fugace et imprévisible des écoulements sur ces micro-bassins, ceux-ci ont été équipés de jaugeurs précalibrés à seuil épais munis de batteries d'échelles et de limnigraphes pneumatiques (figure 2).

Des fosses de dissipation d'énergie ont été aménagées en amont du canal d'amenée de chaque jaugeur afin de régulariser les écoulements et piéger les charriages de fond. Deux pluviographes ont été installés sur chaque bassin et une station climatologique sur chaque couple. La mesure des transports en suspension est effectuée à partir des prélèvements d'échantillons.

En outre des techniques de mesures automatiques ont été expérimentées sur quelques micro-bassins (préleveurs automatiques type Manning - jauges nucléaires à l'Am 241).

Les premiers résultats

Quantification de l'érosion

Les 2 premières années d'observation des paramètres hydro-climatologiques sur les micro-bassins étudiés ont présenté une hydraulité plutôt faible.

Le micro-bassin de Ain Raouraoua n'a pas donné lieu à un ruissellement quantifiable.

Par contre 76 événements ont été observés sur les 3 autres couples de micro-bassin et ont conduit aux résultats suivants :

Souagui

Situé dans la zone la plus aride du bassin de l'Isser, ce micro-bassin présente une faible aptitude au ruissellement liée à la présence de vertisols profonds, et à la faible pluviométrie annuelle (300 mm).

Par contre, les intensités d'averse peuvent être très fortes (150 mm/h en un quart d'heure).

Le ravinement qui caractérise la dynamique érosive de ces bassins s'est avéré particulièrement agressif et producteur de sédiments : taux d'abrasion (TA) : 4 900 t/km²/an; concentration moyenne annuelle (C) : 300 g/l.

B.S. 21

Constitués d'argiles sableuses du miocène post-nappe sous 400 mm de précipitation, ces micro-bassins présentent une dynamique érosive complexe combinant le ravinement avec différents types de mouvements de masse ponctuels (Figure 3).

$$\begin{aligned}\overline{TA} &= 400 \text{ t/km}^2/\text{an} \\ \overline{C} &= 50 \text{ g/l}\end{aligned}$$

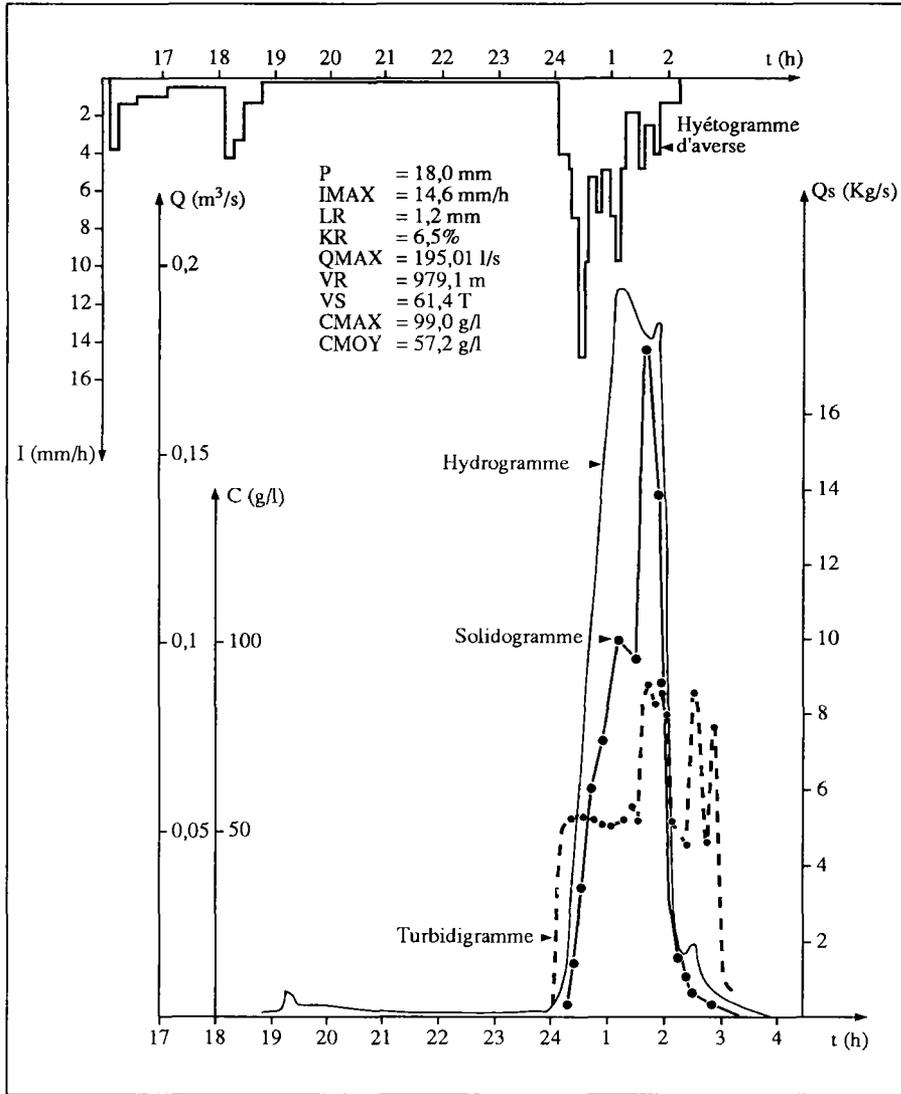


Figure 3. Bassin versant expérimental BS 21 II : crue des 3 et 4 avril 1984.

Ouled Amar

Forte aptitude au ruissellement liée à une lithologie argileuse imperméable dépourvue de sol et de végétation associée à de fortes pentes et à une pluviométrie relativement importante (500 mm).

Les transports solides spécifiques sont là aussi considérables en liaison avec l'intensité de l'érosion (Bad Land) :

$$\overline{TA} = 4\,000 \text{ t/km}^2/\text{an}$$
$$\overline{C} = 50 \text{ g/l}$$

Relations précipitation-ruissellement-érosion à l'échelle de l'événement

Une analyse globale en corrélation multiple appliquée aux différents paramètres de ruissellement et d'érosion observés durant 2 ans a donné les résultats suivants :

B.S. 21

$$RP = 37 P^{1.5} - 349 \text{ SAI} - 321$$
$$Q_{\max} = 2,28 RP^{0.886} (TB/0,35)^{-0.61}$$
$$C = 17 + 0,12 Q_{\max}$$

Souagui

$$RP = 58 P^{1.5} - 1370 \text{ SAI} - 281$$
$$Q_{\max} = 6,48 RP^{0.886} (TB/0,21)^{-0.67}$$
$$C = 168$$

Ouled Amar

$$RP = 105 P^{1.5} + 775 \text{ TPL} - 3340 \text{ SAI} - 1976$$
$$Q_{\max} = 7,86 RP^{0.886} (TB/0,12)^{-0.67}$$
$$C = 38 + 0,01 Q_{\max}$$

RP : Ruissellement (m^3/km^2)

P : Précipitation (mm)

TPL : Durée de la pluie > 2 mm/h (heure)

SAI : Indice saisonnier lié au cycle annuel des températures

SAI : Sin (30 AM - 135°) AM variant de 1 (15/01) à 12 (15/12)

Q_{max} : Débit maxima ($\text{l/s}/\text{km}^2$)

TB : Temps de base de crue (heures)

C : Concentration solide (g/l).

Il s'agit là de résultats provisoires. Les observations se poursuivent actuellement sur l'ensemble de ces micro-bassins et donneront lieu à une analyse plus exhaustive permettant une meilleure connaissance du phénomène de l'érosion en zone semi-aride.

Références

1. Projet RAB 80/011. Etude de l'érosion et des transports solides en zone semi-aride. 1^{er} séminaire technique du projet, Alger, septembre 1983.
2. Projet RAB 80/011. Etude de l'érosion et des transports solides en zone semi-aride. 2^e séminaire technique du projet, Alger, avril 1985.
3. Normand D. Modélisation des transports solides dans le bassin versant de l'oued Isser. Projet RAB 80/011, août 1986.
4. PNUD/OPE. Algérie-Tunisie-Maroc. Ressources en eau dans les pays d'Afrique du Nord. Rapports techniques, vol. 1, mai 1987.

