

LES MICRORELIEFS GENERES PAR LA CULTURE ATTELEE DANS LE BASSIN ARACHIDIER SENEGALAIS. DES FORMES UTILES MAIS EPHEMERES

O. Planchon, M. Esteves, N. Silvera, J-M. Lapetite et P. Cadet

IRD, BP1386, Dakar, Sénégal. <Olivier.Planchon@ird.sn>

Résumé

L'article met en évidence et analyse les relations entre le microrelief généré par le travail du sol et l'infiltration. Les sols étudiés se trouvent au Sud du bassin arachidier sénégalais. En surface, ils sont sableux à sables fins et peu cohésifs. La culture, attelée, génère des microreliefs d'une dizaine de centimètres d'amplitude qui permettent (a) de retenir à la surface du sol une lame d'eau de 7 mm en moyenne et (b) un surcroît d'infiltration de 6.7 mm en moyenne par rapport à une surface lisse non travaillée. On montre pourtant que ces microreliefs s'érodent rapidement. Un modèle simple suggère que l'impact des gouttes de pluie est la principale cause de cette érosion. Les propriétés favorables pour l'infiltration disparaissent ainsi rapidement. On montre également que, dans les conditions les plus probables de pluie dans la région, la quasi totalité de l'infiltration se produit avant le début du ruissellement. Maintenir les propriétés de rétention de la surface du sol représente ainsi un enjeu très important et largement sous-estimé dans un contexte de pluies irrégulièrement espacées dans le temps. Il est regrettable que, malgré leur grande simplicité de mise en œuvre, les techniques de sarclage amélioré n'aient pas reçu la diffusion qu'elles méritent.

Mots clé : Erosion par splash, Microrelief, Simulation de pluie, Arachide, Sénégal

Abstract

This article highlights the relationships between tillage induced microreliefs and infiltration. The soils studied are located in the South of the Senegalese groundnut belt. They are sandy, with fine sand, and loosely cohesive. Tillage generates oriented microreliefs of a tenth centimetres in height which allow (a) to store a mean depth of 7 mm of water over the soil surface and, (b) to increase infiltration by 6.7 mm, if compared to infiltration over a smooth and bare soil surface. This study shows, however, that these microreliefs erode quickly. Numerical modelling suggested that raindrop erosion is the dominant process involved in this quick erosion. And yet the favourable infiltration properties disappear as quickly as the microreliefs collapse. In the climatic context of Sudano-Sahel, characterised by a sparse distribution of rainfalls, to maintain soil roughness through improved tillage techniques is an important goal widely underestimated.

Key-words : Rainfall Simulation, Microrelief, Raindrop Erosion, Senegal, Groundnut

Introduction

Les microreliefs orientés générés par le travail du sol attelé améliorent sensiblement la capacité de rétention en eau de la surface du sol. Cette propriété est particulièrement intéressante dans le cas des plantes sarclées sub-sahariennes, comme le mil et l'arachide, pour lesquelles plusieurs facteurs convergent :

- Deux ou trois sarclages restaurent périodiquement ces microreliefs ;
- Les pluies sont violentes (sur le terrain étudié, une intensité maximale de 70 mm/h pendant 15 mn a une période de retour annuelle), si bien que la fraction de la pluie retenue dans la rugosité superficielle, et qui s'infiltré après la fin de la pluie, peut constituer une partie significative de la lame infiltrée totale ;
- Les pluies sont irrégulières alors que la longueur de la période sèche la plus longue tolérable est faible à certains stades physiologiques clé du cycle. Dans ces conditions, une faible augmentation de la lame infiltrée, en prolongeant de quelques jours seulement la longueur de la période sèche la plus longue tolérable, peut diminuer significativement le risque de perte de rendement causé par un éventuel retard de la pluie suivante.

Ces avantages de la rugosité de surface ne sont pourtant pas intégrés dans la prise de décision des travaux de sarclage qui restent avant tout commandés par l'objectif de désherbage. Pourtant, ce dernier n'est pas incompatible avec celui d'augmentation de la lame infiltrée. Sene (1995), en particulier a mis au point une méthode améliorée du sarclage de l'arachide qui génère des microreliefs plus importants sans augmenter la charge de travail.

Cet article présente le bilan des observations et des expérimentations sur les relations entre rugosité, ruissellement et érosion dans le sud du bassin arachidier sénégalais, sur le site expérimental de Thyse-Kaymor. Ces observations ont été menées sous pluie naturelle en 1997, et sous pluies artificielles en 1998.

2. Matériel et méthodes

Le site expérimental

Le site expérimental est constitué de deux parcelles de 5x10 m localisées dans deux parcelles paysannes mitoyennes, cultivées l'une en mil, l'autre en arachide, en alternance. La culture est attelée. Les travaux se font perpendiculairement à la pente. Les bordures des parcelles sont démontées pour les travaux agricoles, si bien que les parcelles sont cultivées de la même manière et aux mêmes dates que le champ qui les contient. Une troisième parcelle de 5x10 m complète le dispositif. Elle se trouve dans le même champ mais n'est pas cultivée.

Le sol est sableux en surface, avec une dominance de sable fin. La pente moyenne au niveau des parcelles est de 0.75%.

Le rugosimètre

Le microrelief est mesuré après chaque pluie et chaque travail du sol au moyen d'un rugosimètre (Planchon et al, 1998, 2000a). C'est un appareil qui mesure l'altitude de chaque point d'une grille de 4x4 m au pas de 5 cm. La précision est de 1 mm. Ceci permet d'étudier l'évolution de la rugosité globale de la parcelle, comme ce que l'on peut faire avec la plupart des

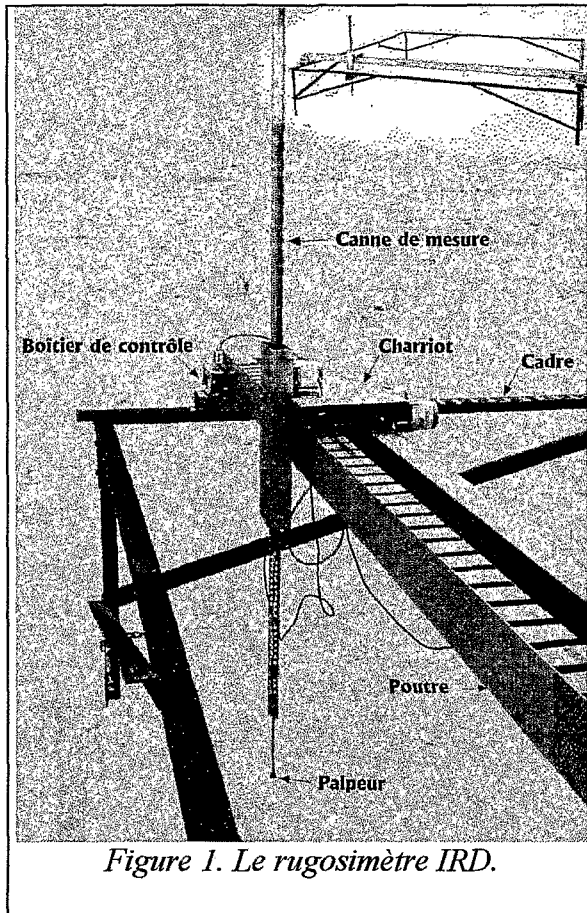


Figure 1. Le rugosimètre IRD.

profilomètres classiques. De plus, l'appareil est à chaque fois remplacé sur des bases fixes, ancrées dans le sol, dont la stabilité a été vérifiée durant toute la période d'expérimentation. Cette base fixe et fiable permet l'étude de la variation d'altitude de chaque point de la grille individuellement. Elle donne accès à l'étude fine de la dynamique de l'effondrement des microreliefs générés par le travail du sol.

Le suivi des pluies naturelles a été fait avec une parcelle de rugosimètre (4x4) au milieu de chaque parcelle de mesure de ruissellement (5x10). Le suivi des pluies simulées a été fait sur les mêmes parcelles, avec deux sites de rugosimètre au milieu de chacune.

Le simulateur de pluie

Le simulateur de pluie utilisé permet d'arroser des surfaces de 50 m² avec une intensité unique et constante de 65 mm/h (Planchon et al, 2000 b, Esteves et al, 2000). Il consiste en 6 cannes de 6.53 m de hauteur disposées en deux rangées, de part et d'autre de la parcelle.

La distance entre deux cannes, et entre les deux rangées, est de 5.5 m. Chaque canne se termine par un gicleur Spraying System HQ106 qui arrose une superficie carrée de 8 m de côté. Ce gicleur est celui utilisé par Lascano et al. (1997) dans leur simulateur de pluie. Nous l'utilisons dans les mêmes conditions d'alimentation que ces auteurs. A une pression de 41.18 kPa, le diamètre médian est de 2.4 mm et l'énergie cinétique calculée est de 23.5 J m⁻² mm⁻¹. La distance de 5.5 m entre les gicleurs a été déterminée expérimentalement pour fournir la meilleure homogénéité de la pluie sur la parcelle. La pression de service est contrôlée au pied de chaque canne. La pluie totale délivrée au sol est contrôlée par 50 pots de 5.5 cm de diamètre disposés selon une grille régulière de 1 m de côté à l'intérieur de la parcelle. Ce contrôle est nécessaire en raison de la sensibilité du dispositif au vent.

Caractérisation du microrelief

La rugosité (R) est l'écart type du résidu de l'ajustement du relief à une surface parabolique. Calculée ainsi, la rugosité caractérise essentiellement le microrelief dû au travail du sol. Cet indice a l'avantage d'être peu sensible au pas de mesure. Il permet donc de comparer entre eux des résultats expérimentaux obtenus avec des protocoles différents. R est exprimé en mm.

La superficie spécifique (SSA, pour Specific Surface Area) est la différence relative entre la superficie de la surface du sol et celle de sa projection horizontale. (Helming et al. 1998, Rudolph et al. 1997). Cet indice présente l'intérêt de fournir une indication directe de la surface du sol exposée à la pluie. Il permet donc de calculer l'intensité et l'énergie cinétique de la pluie relativement à la surface du sol, et non à une surface horizontale. L'indice a l'inconvénient d'être sensible au pas de mesure. SSA est exprimé en pour-cent.

La capacité de rétention superficielle (SSC, pour Surface Storage Capacity) est le volume d'eau que peuvent retenir les flaques. Elle a été calculée avec l'algorithme de la submersion (Planchon et Darboux, 2000). Cette méthode utilise une connectivité à 4 voisins. La surface calculée pour les flaques d'eau est strictement horizontale. SSC est exprimé en mm.

Les mesures sous pluie artificielle

Une campagne de simulation de pluie a été effectuée sur les parcelles en avril 1998, c'est-à-dire en fin de saison sèche. L'objectif était d'étudier l'érosion du microrelief généré par le sarclage. Le sol, nu, fut humecté avant l'expérimentation par trois pluies de 10 mm appliquées à 5 jours d'intervalle pour recréer les conditions d'humidité typiques d'un sarclage. Les deux parcelles cultivées, notées Mil et Arachide en référence à la culture qui y fut pratiquée en 1997, ont été partagées en deux parties égales. Sur Arachide, seule la partie amont fut sarclée, et l'aval fut laissé nu. Mil fut sarclée à l'aval et laissée nue à l'amont. Deux pluies de 35 mm, notées P1 et P2, furent appliquées à deux jours d'intervalle, puis la partie nue de chaque parcelle fut labourée à son tour et une troisième pluie P3, identique aux précédentes a été appliquée. Les mêmes trois pluies furent appliquées sur la parcelle témoin non cultivée sans modification de son état de surface. Le tableau 1 résume ce protocole.

Jour	Pluie n°	Parcelle T	Parcelle Mil		Parcelle Archide	
			Amont	aval	amont	aval
0	-	μRelief	μRelief	Sarclage μRelief	Sarclage μRelief	μRelief
1	P1	33.4 mm	30.2 mm		38.2 mm	
2	-	-	μRelief		μRelief	
3	P2	32.3 mm	32.4 mm		37.7 mm	
4	-	-	Sarclage μRelief			Sarclage μRelief
5	P3	30.3 mm	34.5 mm		38.1 mm	
6 et 7	-	μRelief	μRelief	μRelief	μRelief	μRelief

Tableau 1. Déroulement de l'expérimentation. μRelief : mesure de microrelief dans une zone de 4x4 m au milieu de chaque demi-parcelle (M et A) ou au milieu de la parcelle complète (T). mm : hauteur de la pluie.

Les mesures sous pluie naturelle

Les mesures sous pluies naturelles furent faites sur les parcelles Arachide au cours de la campagne de culture 1997. Le microrelief fut mesuré après chaque événement susceptible de le modifier : pluie ou travail du sol.

3. Infiltration

Ce paragraphe présente la décomposition de la lame infiltrée en ses différentes composantes au cours des pluies simulées sur les parcelles de 50 mètres carrés. L'évolution des différentes composantes de l'infiltration au cours des averses successives est étudiée.

Pour mener cette étude, nous avons du avoir recours à un modèle pour reconstituer les hydrogrammes de chaque demi-parcelle amont et aval, leur état de surface étant différent. Le modèle est calé à partir des hydrogrammes mesurés au pas de temps de 10 secondes. Ce modèle n'a pas d'autre usage que de reconstituer l'hydrogramme à la sortie des demi-parcelles amont pour les 3 pluies sur les 3 parcelles. L'infiltration est représentée par le modèle de Green et Ampt dont les trois paramètres sont KS : Conductivité hydraulique à saturation, theta : para-

mètre de porosité (déficit de saturation) et psi : charge hydraulique au front d'humectation. Pour modéliser le ruissellement, chaque demi-parcelle est représentée par un réservoir, l'amont se déversant dans l'aval. Les lois de vidange sont des exponentielles décroissantes à un paramètre, t , temps de demi-vidange du réservoir. Le paramètre Seuil est le seuil de refus à l'infiltration au-delà duquel le ruissellement commence. Il représente la SSC, plus la hauteur infiltrée en début de pluie selon une dynamique trop rapide pour être représentée par le modèle de Green et Ampt.

Sur la parcelle Arachide, la reconstitution est simple car la parcelle nue est située à l'aval. Elle est ainsi la seule à couler durant plus de la moitié de la pluie et ses paramètres peuvent être calés de manière directe et fiable. Le calage de la parcelle Mil a nécessité l'adoption de certains paramètres communs entre les parcelles.

Parcelle			Lémom			Mil			Arachide		
Pluie n°			1	2	3	1	2	3	1	2	3
Etat de surface	amont		Non travaillé, lisse, résidus végétaux			non travaillé	sarclé		sarclé	-	-
	aval					sarclé	-	-	non travaillé	sarclé	
Intensité	amont	mm/h	61.8	59.2	62.2	74.0	72.6	73.7	63.2	63.6	66.2
	aval	mm/h	71.6	70.2	58.8	78.7	78.0	78.8	57.6	65.9	71.7
Hauteur	amont	mm	30.9	29.6	31.1	36.4	33.9	35.0	31.6	32.3	33.1
	aval	mm	35.8	35.1	29.4	38.7	36.4	37.4	28.8	33.5	35.9
Paramètres du modèle de Green & Ampt											
Psi	tout	mm	-95.5								
theta	amont	%	22.0	14.9	17.3	12.9	3.0	39.1	14.0	0.3	0.9
	aval	%					12.4	11.8		99.9	0.6
Seuil	amont	mm	4.59			8.23a		28.34	26.04	16.95	16.33
	aval	mm				31.33	16.57	12.57	8.23a		27.48
t	amont	s	4779			1477		873		480	
	aval	s	1668			1079b	971		761		1079b
Résultats du modèle											
Infiltration durant la pluie	amont	mm	16.9	14.6	15.4	13.1	8.0	20.7	0.7	0.2	0.3
	aval	mm	16.9	14.6	15.3	13.6	13.2	12.8	0.7	1.8	0.3
Infiltration après la pluie	amont	mm	4.9	5.2	5.2	6.9	7.3	14.4	26.0	17.0	16.3
	aval	mm	4.4	4.6	4.6	30.2	15.3	10.7	8.2	8.2	27.5
Ruissellement	amont	mm	9.1	9.9	10.5	16.3	18.6	0.0	4.9	15.2	16.5
	aval	mm	23.6	25.8	20.0	11.2	26.6	14.0	24.7	38.7	24.6
Résultats expérimentaux											
Ruissellement	aval	mm	23.1	24.9	22.5	11.4	27.0	14.6	24.7	38.8	24.9

Tableau 2. Paramètres du modèle d'infiltration et de ruissellement qui permet l'interpolation des hydrogrammes de chaque demi-parcelle.

Le tableau 2 détaille les paramètres de calage. Il comporte une colonne par pluie et par parcelle. Chaque demi-parcelle est ensuite représentée sur une ligne séparée. Un chiffre partagé

par plusieurs cases, ou marqué d'une même lettre, signifie que le paramètre est unique et commun. Une fois défini, le tableau de paramètre est calé globalement, en une seule passe pour les trois pluies des trois parcelles.

L'avant-dernière ligne représente les lames ruisselées modélisées à l'exutoire de la parcelle. La dernière ligne représente les lames ruisselées effectives.

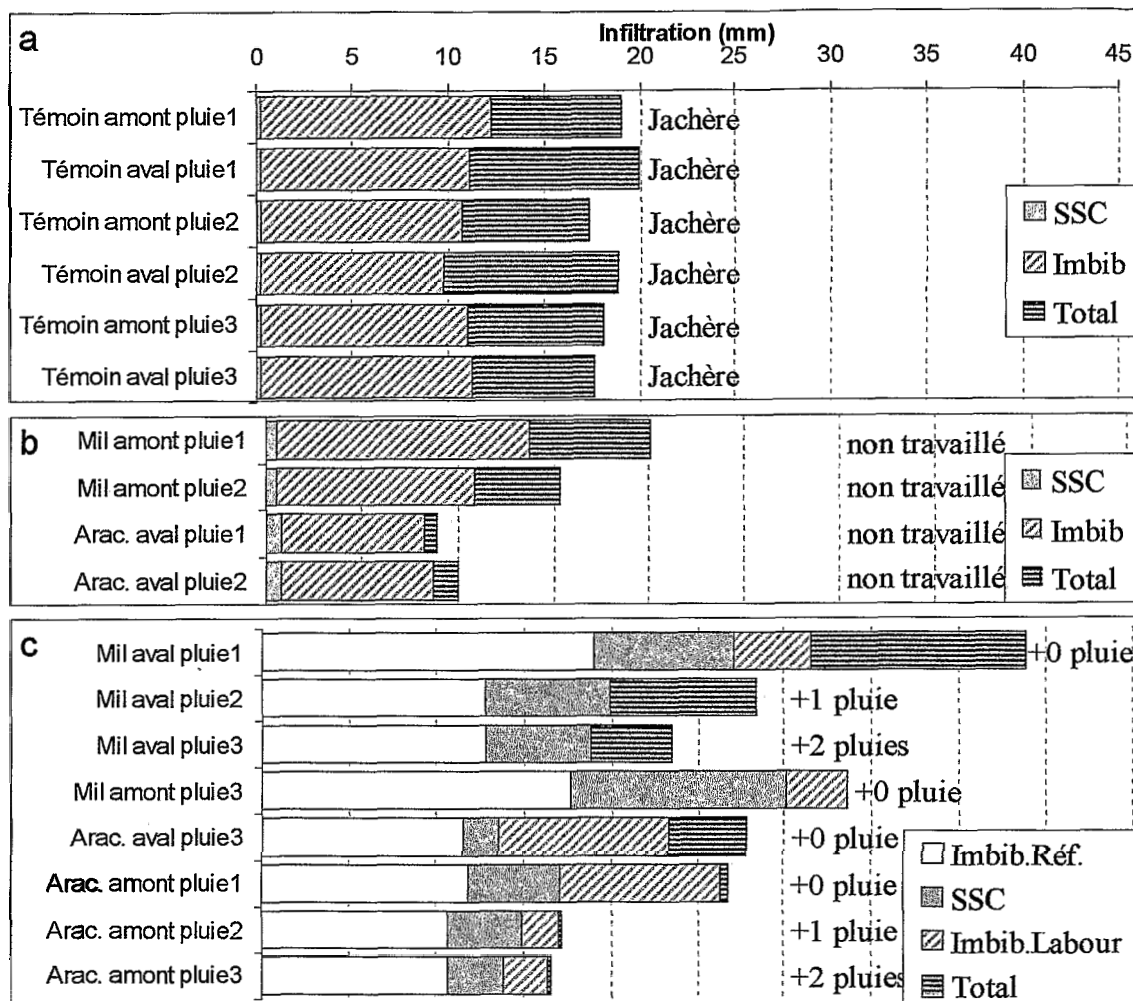


Figure 2. Décomposition des lames infiltrées. (a) sur la parcelle témoin et (b) sur les parcelles non travaillées : Imbib = lame infiltrée au début du ruissellement. (c) sur les parcelles sarclées : +n = nombre de pluies depuis le sarclage ; Imbib. Réf. = lame qui se serait infiltrée à la date de début du ruissellement si la parcelle n'avait pas été sarclée. Imbib. Labour = part de la lame infiltrée au début du ruissellement spécifiquement due au sarclage.

La figure 2a représente la décomposition de la lame infiltrée pour la parcelle témoin. Cette parcelle n'a pas été cultivée pendant les deux années précédentes. Les propriétés d'infiltration y sont relativement médiocres : le ruissellement commence dès 10 à 12 mm de pluie, ce qui n'est pas une performance pour un parcelle grande (50 m²) et recouverte de végétation. Par ailleurs, l'infiltrabilité n'évolue pas d'une pluie à l'autre, ce qui laisse supposer que l'infiltrabilité est commandée, sur cette parcelle, par les propriétés de la croûte de surface et non par celles du sol.

La figure 2b représente les parcelles non labourées qui servent de référence. Avant la première pluie, les croûtes de surfaces formés en fin de saison de culture avaient été détruites par

les opérations de récolte et plus tard, par le piétinement des animaux venant manger les résidus de récolte. Sur la parcelle Mil, lors de la première pluie, l'infiltration a à peu près les mêmes caractéristiques que sur le témoin, légèrement supérieure en raison de l'absence de croûte. Ces deux parcelles se trouvent dans le même champ et sont espacées de 15 mètres l'une de l'autre. Pendant la pluie suivante, l'infiltrabilité décroît. Ceci peut être interprété comme un effet d'encroûtement. La parcelle Arachide a une infiltrabilité très inférieure.

La figure 2c représente les parcelles sarclées. L'effet spécifique du sarclage peut être évalué à tout instant t en comparant la lame infiltrée $I(t)$ à celle qui se serait infiltrée au même instant t sur une parcelle témoin non travaillée. L'hydrogramme témoin utilisé est la moyenne des hydrogrammes des pluies 1 et 2 sur la demi-parcelle nue. La comparaison est faite à la date du début du ruissellement, appelée "durée d'imbibition". La lame précipitée à cette date est ainsi partagée en trois parties : la SSC, calculée d'après le microrelief mesuré à la fin de la pluie, correspond à la lame d'eau à la surface du sol ; la lame "Imbib.Ref" correspond à la lame qui se serait infiltrée à cette date en absence de travail du sol. La lame "Imbib.Labour" correspond à l'éventuel supplément d'infiltration spécifiquement du au travail du sol. Enfin, sous la dénomination "Total", la figure 3 indique la lame infiltrée après le début du ruissellement.

Les résultats suivants peuvent être relevés :

- L'infiltration après le début du ruissellement est minime, sauf lorsque la parcelle est alimentée en amont par une parcelle lisse qui a l'effet d'un impluvium (Mil aval, pluie 1 & 2 ; Arachide aval pluie 3).
- L'amélioration de l'infiltrabilité provoquée par le travail du sol est très éphémère. L'infiltration spécifiquement attribuable à l'effet du sarclage est en effet réduite à zéro après la première pluie sur la parcelle Mil, et est très fortement diminué sur la parcelle Arachide.

En conclusion, le labour augmente à la fois l'infiltration et le stockage superficiel. L'augmentation du stockage de surface diminue au fur et à mesure que le microrelief du labour s'érode et que le ruissellement s'est frayé un passage à travers eux. L'augmentation de l'infiltration par rapport à un témoin non labouré est très importante (+70% et +42% selon les parcelles) mais très éphémère puisqu'il ne concerne que la première pluie après le labour.

L'effet de l'encroûtement sur l'infiltrabilité a déjà fait l'objet de nombreuses études, en particulier depuis les travaux de Boiffin (1984) et de Casenave et Valentin (1988). Dans les paragraphes qui suivent, nous allons analyser une autre composante, également à l'origine de la péjoration de l'infiltration quoique moins souvent étudiée : la diminution de la rugosité de la surface du sol.

4. Modèle d'érosion des billons

Planchon et al. (2000 b) ont mis en œuvre un modèle particulièrement simple d'érosion par splash. Le modèle utilisé assimile la succession des billons et des sillons à une sinusoïde (équation 1). L'impact d'une goutte de pluie donnée est par ailleurs supposé avoir un effet constant dans le temps et l'espace.

$$Z(x) = 1/2 \cdot Z_m \sin(2\pi x / L) \quad (1)$$

où :

- L : distance entre deux billons (m).
- Z_m : amplitude maximale du microrelief (m).
- x : position (m).

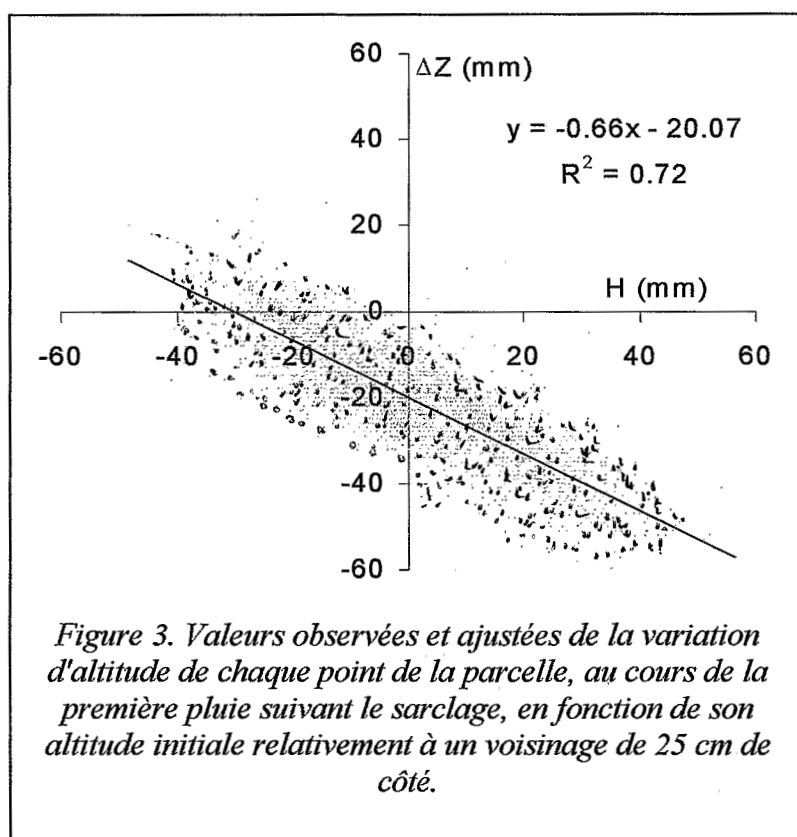
Sous ces hypothèses, la surface reste sinusoïdale et son amplitude décroît exponentiellement avec le temps (équation 2). Ainsi, et toujours selon ce modèle, la variation d'altitude d'un point x , est fonction de la seule altitude initiale $Z(x,0)$ du point relativement au plan moyen et se rapproche de ce plan moyen selon une exponentielle décroissante. Le coefficient K de l'exponentielle dépend, en particulier, du flux de particules détachées ($m^3/s/m^2$), supposé constant dans l'espace et dans le temps.

$$Z(x,t) = Z(x,0) \cdot \exp(-Kt) \quad (2)$$

où :

- Z : Altitude relativement au plan moyen de la sinusoïde.
- x : position (m).
- t : temps (s)
- K : constante

Ce modèle explique de 37% à 72% de la variance de la variation d'altitude d'un point au cours d'une averse (valeur médiane 50%). La figure 3 représente cette relation pour la première pluie après sarclage sur l'une des parcelles. Les abscisses représentent l'altitude initiale du point relativement au plan de référence (on a pris ici l'altitude du point, avant la pluie, relativement à la moyenne des altitudes dans un carré de 25 cm de côté centré sur le point). Les ordonnées représentent la variation d'altitude du point provoquée par la pluie.



Il est remarquable de constater le pouvoir explicatif de ce modèle dont les hypothèses de départ sont pourtant très frustrées. En particulier, la surface initiale est loin d'être sinusoïdale. De plus, l'effet de l'impact d'une goutte de pluie dépend des conditions du choc avec le sol (Nearing et Bradford, 1985), du taux d'humidité (Helming et al., 1998) et de l'épaisseur du film ou de la lame d'eau présente en surface. Tous ces paramètres sont, dans une plus ou moins large mesure, intégrés à des modèles d'érosion par splash (Poesent et Savat, 1981; Wainwright et al., 1995) plus sophistiqués que celui que nous présentons, lequel n'a d'ailleurs pas d'autre objectif que de souligner les phéno-

mènes physiques sous-jacents susceptibles d'expliquer l'aspect très linéaire des nuages de points expérimentaux dont la figure 3 est un exemple.

Un modèle plus fin est actuellement en chantier. Il permettra, en particulier, d'éviter la contraignante hypothèse de la forme sinusoïdale du terrain. En attendant que ce modèle vienne préciser les résultats actuels, nous pouvons d'ores et déjà affirmer que l'impact des gouttes de

pluies à la surface du sol est, de loin, le phénomène dominant dans l'évolution du microrelief généré par le travail du sol lorsque le sol en surface est sableux fin, peu cohésif, et mal couvert par la végétation.

5. Vitesse d'érosion des billons

Le deuxième point qui ressort de la modélisation de l'érosion des billons sous pluie simulée est que l'intensité du phénomène, élevée au début, diminue plus vite que ne le laisse supposer le modèle. Comme le montre en effet l'équation (2), un pouvoir érosif fixe K , provoque une décroissance exponentielle du microrelief. Cela est dû au fait que pour une goutte de pluie qui projette la même quantité de sol de manière anisotrope, le flux net résultant dépend de la pente locale et que cette pente diminue sous l'effet même de la redistribution du sol.

Le tableau 3 récapitule les résultats de l'ajustement du modèle sur chaque pluie. Il montre une décroissance du paramètre K d'une pluie à la suivante. Ainsi, non seulement l'érosion par splash provoque intrinsèquement une décroissance exponentielle du microrelief mais, de plus, son efficacité diminue avec le temps. Ceci est dû aux réorganisations superficielles du sol : compaction, développement de croûtes d'érosion (Casenave et Valentin, 1988), mobilisation différentielle des particules selon leur granulométrie (Poesen et Savat, 1981). La conséquence pratique de l'ensemble de ces phénomènes est que le microrelief tel qu'on peut l'observer après le travail du sol est une forme extrêmement éphémère dont les propriétés géométriques sont amenées à évoluer très vite au cours des premières averses suivant le travail du sol.

La ligne "compaction" du tableau 3 mérite quelques commentaires. Le travail du sol diminue sa densité apparente. On remarque cependant que celle-ci se stabilise dès la première pluie : les deux pluies suivantes ne font plus évoluer l'altitude moyenne de la parcelle (+0.3 mm dans un cas, -0.2 mm dans l'autre). L'altitude moyenne initiale de la parcelle n'est pas connue. Devant une telle stabilité de l'altitude moyenne au cours des pluies 2 et 3, on peut toutefois supposer que le sol a retrouvé sa densité apparente d'origine. Ceci est un signe supplémentaire de la faible cohésion des sols étudiés qui exacerbe le caractère naturellement fragile des microreliefs générés par le travail du sol.

		Arachide Amont		Mil Aval		Arachide Aval	Mil Amont
		Pluie 1	pluies 2+3	pluie 1	pluies 2+3	pluie 3	pluie 3
Pluie	(mm)	29	70	38	75	34	40
Intensité	(mm/h)	58	70	76	75	69	80
Erosion par splash							
taux brut	(m/m)	-0.48	-0.41	-0.58	-0.35	-0.66	-0.63
compaction	(mm)	-7.6	0.3	-16.6	-0.2	-20.4	-13.6
Taux spécifique	(m/m/mm)	$-22.6 \cdot 10^{-3}$	$-7.5 \cdot 10^{-3}$	$-22.3 \cdot 10^{-3}$	$-5.6 \cdot 10^{-3}$	$-31.1 \cdot 10^{-3}$	$-24.7 \cdot 10^{-3}$
coeff. corr. r^2	(%)	48	49	51	37	72	65

Tableau 3. Ajustement du modèle d'érosion par splash sur les trois pluies. Taux brut et compaction : pente et origine, resp., de la droite de régression du modèle. Taux spécifique : taux brut ramené à la hauteur d'averse.

6. Pluies naturelles

Les observations sur l'effondrement du microrelief généré par le travail du sol sont confirmées par les mesures effectuées sous pluie naturelle (Planchon et al, 1998).

La figure 4 montre l'évolution des caractéristiques de la surface de la parcelle Arachide durant la saison de culture 1997. L'altitude moyenne de la parcelle, la rugosité (SSA, en %) et la rétention (SSC, en mm) y sont représentées. Les dates des travaux agricoles ainsi que la hauteur de chaque averse sont également indiquées sur la figure.

On constate que l'ensemble des caractéristiques de la surface du sol évoluent de pair : à chaque travail du sol, l'altitude moyenne augmente (diminution de la densité apparente) et la rugosité comme la SSC augmentent également. Ces propriétés se dégradent pourtant rapidement pour se stabiliser, en septembre, dans un état lisse et stable, le sol étant protégé par l'arachide qui couvre bien le sol en fin de cycle.

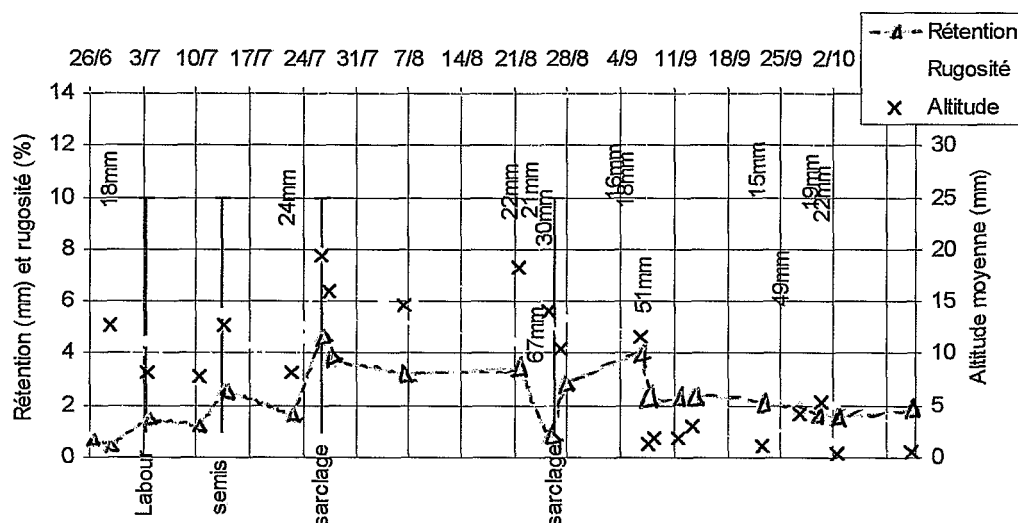


Figure 4. Evolution des caractéristiques de la surface du sol, sous pluies naturelles, pour la parcelle Arachide.

La figure 5 présente le résultat de l'application aux pluies naturelles du modèle d'érosion des billons présenté plus haut pour les pluies artificielles. La période étudiée va du 26 juillet au 25 août 1997. C'est la période entre les deux sarclages, durant laquelle l'arachide couvre peu le sol. On constate sur la figure que, comme pour les pluies artificielles, la vitesse d'érosion par splash, qui représente le taux d'aplanissement du microrelief, par millimètre de pluie, diminue avec le temps. De même que pour les pluies naturelles, cette diminution de la vitesse de réorganisation du microrelief peut être attribuée à une diminution de l'érodibilité de la surface du sol vis-à-vis de l'érosion par splash : le même impact de goutte de pluie détache et projette de moins en moins de particules. Ceci est dû à la réorganisation de la surface du sol : compaction et développement des croûtes d'érosion. Le tri granulométrique des particules par le splash joue certainement également un rôle dans cette évolution, comme l'ont montré Wainwright et al (1995) : les particules les plus sensibles au splash sont transportées les premières et le matériau résiduel est moins facilement transporté.

La différence de niveau entre les pluies naturelles et artificielles est liée à la différence d'intensité entre ces pluies.

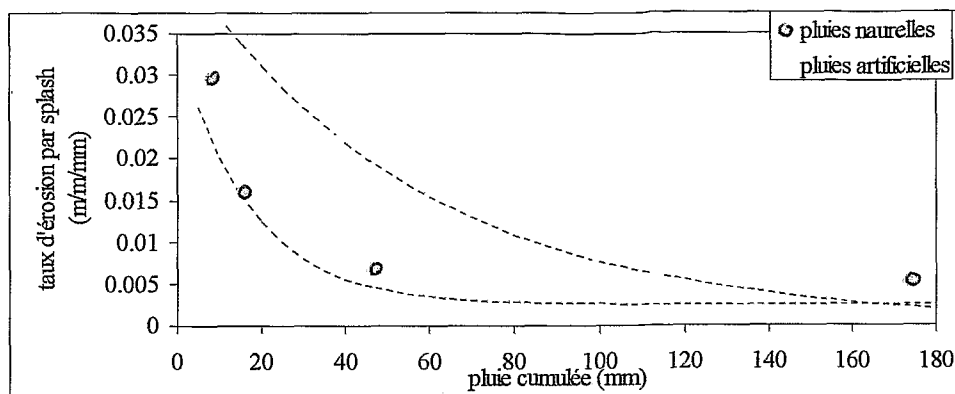


Figure 5. Evolution du taux d'érosion des billons avec la pluie cumulée, sous pluies naturelles et artificielles. (mm d'érosion par mm d'altitude reative et par mm de pluie).

7. Conclusion

Au cours de cet article, nous avons tout d'abord mis en évidence l'importance de l'effet du sarclage sur l'infiltrabilité du sol, mais aussi le caractère éphémère de cette amélioration sur les sols à sables fins, pauvres en matière organique, du Sud du bassin arachidier sénégalais. Cette diminution rapide de l'infiltrabilité est classiquement attribuée aux réorganisations pelliculaires superficielles. Ce phénomène d'encroûtement est important sur notre site d'étude, mais il n'est pas le seul en cause. Nous montrons en effet que la pluie d'imbibition représente une part déterminante de la lame infiltrée totale, et ce quelque soit le niveau d'encroûtement de la parcelle. Cette pluie d'imbibition a été décomposée en trois parties : (a) une partie infiltrée, qui représente la capacité d'infiltration de référence d'une parcelle identique mais non travaillée ; (b) une partie infiltrée en plus, du fait du travail du sol ; cette partie n'est significative que pour la première pluie qui suit le travail du sol ; (c) enfin, une partie retenue à la surface du sol qui s'infiltré après la fin de la pluie ; c'est la SSC ; elle dépend directement de la persistance du microrelief généré par le travail du sol.

Nous avons alors analysé l'évolution du microrelief au cours des pluies successives, tout d'abord sous pluies artificielles, puis sous pluies naturelles. L'application d'un modèle simple d'érosion par splash a permis de mettre en évidence que, dans un cas comme dans l'autre, la vitesse d'aplanissement du microrelief généré par le travail du sol décroît extrêmement rapidement, plus vite qu'une exponentielle. En effet, d'une part, par la nature même du processus d'érosion par splash, l'amplitude moyenne des reliefs est supposée décroître exponentiellement avec le temps, mais de surcroît, les reliefs résiduels apparaissent de plus en plus résistants à l'érosion, c'est à dire qu'une même goutte de pluie arrache de moins en moins de matériau au fur et à mesure qu'ils s'érodent.

Dans ces conditions, l'amélioration des techniques de sarclage, en vue d'augmenter leur efficacité vis-à-vis de l'infiltration, apparaît comme un enjeu important dans le contexte des cultures sarclées, mil et arachide, au Sénégal. Cette amélioration passe par plusieurs actions :

- Diffuser largement les techniques de sarclage améliorées, telles que le "radou-baling" mis au point par Sene (1995) ;
- Introduire la gestion conservatoire de l'eau dans le processus de décision des travaux de sarclage.

Remerciements

Les expérimentations de simulation de pluie ont été réalisées dans le cadre du programme RIDES ("Ruissellement Infiltration Détention Etat de Surface") qui est un projet du PNRH (Programme National pour la Recherche Hydrologique). Les auteurs remercient également Monsieur Paul Mazoyer pour son aide précieuse dans la confection de certaines pièces du rugosimètre. et Monsieur Kokou ABOTSI pour sa participation déterminante à la conception et la construction du simulateur de pluie.

Bibliographie

- BOIFFIN J. (1984). La dégradation structurale des couches superficielles du sol sous l'action des pluies. Thèse de docteur Ingénieur. INAPG 320 p. +Ann.
- CASENAVE A. et VALENTIN C. (1988) Les états de surface de la zone sahélienne : influence sur l'infiltration. Ed ORSTOM. 230 p.
- ESTEVEES M., PLANCHON O., LAPETITE J.M., SILVERA N., CADET P. (2000) The "EMIRE" large rainfall simulator: design and field testing. *Earth Surface Processes and Landforms* 25. Sous presse.
- HELMING K., M. J. M. RÖMKENS & S. N. PRASAD. (1998) Surface Roughness related Processes of Runoff and Soil Loss : A Flume Study. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62 : 243-250 (1998).
- LASCANO R. J., VORHEIS J. T., BAUMHARDT R. L. et SALISBURY D. R. 1997. Computer controled variable intensity rain simulator. *SSSAJ* 61(4):1182-1189.
- NEARING M.A. et BRADFORD. J.M. (1985) Single waterdrop splash detachment and mechanical properties of soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49; 3, 547:552
- PLANCHON O. et DARBOUX F. (2000) An efficient method for calculating depression storage capacity *IN V. Auzet, J. Poesen and C. Valentin (editors) "Soil pattern as a key factor of water and/or wind erosion"*, Catena special issue. Accepté.
- PLANCHON O., CADET P., LAPETITE J.M., SILVERA N., ESTEVEES M., (2000b) Relationship between raindrop erosion and runoff erosion under simulated rainfall in the Sudano-Sahel. Consequences for the spread of nematodes by runoff. *Earth Surface Processes and Landforms*. 25. Sous presse.
- PLANCHON O., ESTEVEES M., SILVERA N., LAPETITE J.M. (2000a) Raindrop erosion of tillage induced microrelief. *Soil and Tillage Research*. Accepté.
- POESEN J. & J. SAVAT. (1981) Detachment and transport of loose sediments by raindrop splash. Part II Detachability and transportability measurements. *Catena* Vol. 8, 19-41.
- RUDOLPH A., HELMING K. & DIESTEL H. (1997) Effect of antecedent soil water content and rainfall regime on microrelief changes. *Soil Technology* 10 (1997) 69-81.
- SENE M. (1995) Amélioration de la fertilité des sols cultivés sableux ferrugineux du Sine Saloum. Influence des caractéristiques hydro mécaniques du sol sur l'implantation, la fructification et la récolte de l'arachide. Thèse ENSAM. Montpellier.
- WAINWRIGHT J., PARSONS A.J., ABRAHAMS A.D., 1995. A simulation study of the role of raindrop erosion in the formation of desert pavements. *Earth surface processes and landforms*, 20: 277-291.