

Effets des systèmes de cultures bananières sur un sol brun tropical volcanique sous des simulations de pluies cycloniques en Martinique.

*Bounmanh Benoît KHAMSOUK¹, Eric ROOSE², Eric BLANCHART², Marc DOREL³,
Luc RANGON⁴, Jean-José BANIDOL⁵*

¹ Agronome production végétale, rue Kong Deng wombo, BP 1478, Ouagadougou (Burkina Faso), e-mail : benoit.kamsouk@gmail.com

² IRD Montpellier, Avenue Agropolis, BP 64501, 34 000 Montpellier (France), e-mail : roose@mpl.ird.fr ; blanchart@mpl.ird.fr

³ CIRAD-FLHOR, Neuf châteaux, 97 130 Capesterre Belle Eau (Guadeloupe), e-mail : marc.dorel@cirad.fr

⁴ IRD Martinique – Caraïbes (PRAM), Petit Morne, 97 232 Lamentin (Martinique), e-mail : luc.rangon@ird.fr

⁵ CIRAD-FHLOR (PRAM), Petit Morne, 97 232 Lamentin (Martinique), e-mail : jean-jose.banidol@cirad.fr

RESUME

Principale production végétale sur 9 000 ha en Martinique, la culture bananière d'exportation 'Cavendish' peut présenter un risque de dégradation pour l'environnement (érosion, pollutions aquatiques) en raison de ses pratiques culturales, du relief accidenté des zones de production et de fortes pluies. Récemment, une étude en parcelles expérimentales de 100-200 m² sur un sol brun tropical volcanique a démontré que les systèmes intensifs à gestion de paillis protégeaient le sol de l'érosion hydrique à l'opposé de la culture traditionnelle d'ananas billonné, entrant en rotation avec les bananeraies. Afin d'approfondir ces résultats, une campagne de simulations de pluies cycloniques (19 tests sur des micro-parcelles de 1m² arrosées par une pluie artificielle d'intensité de 100 mm.h⁻¹ durant trois heures) a donc été réalisée *in situ* avec pour objectif de mieux comprendre le fonctionnement hydrique du sol, l'efficacité du paillage et de rechercher des liens hydrodynamiques remarquables entre les parcelles expérimentales de 200 m² sous pluviosité naturelle et les micro-parcelles 1m² sous simulations de pluies.

Les résultats des pluies simulées sont bien conformes aux mesures observées en parcelles d'érosion sous pluies naturelles, notamment à travers les hydrogrammes obtenus sur les différents traitements testés et à travers les paramètres de ruissellement. Le sol brun tropical volcanique présente une forte capacité d'infiltration et même après trois heures de simulation de pluie cyclonique, la saturation du sol superficielle n'est jamais atteinte (Hp<58%). Le paillage protège efficacement le sol du ruissellement (et de l'érosion hydrique) en accentuant l'infiltration totale de la pluie artificielle déversée, même après 180 mm de pluie en trois heures car celui-ci couvre bien la surface du sol et augmente la rugosité superficielle. A l'inverse, les billons concentrent un ruissellement abondant après 40 minutes d'application. D'autres résultats remarquables sont soulignés : (i) – une grande stabilité des agrégats sur les sols nus où la désagrégation n'est que partielle avec des mottes émoussées reposant sur une croûte inférieure formée à partir de particules fines désagrégées ; (ii) - un changement de processus hydrodynamique sur le traitement « sol nu » avec une diminution du ruissellement sur les plus fortes pentes (25 et 40%), provoquée par le maintien de l'ouverture des macro-pores superficielles due à l'énergie décapante de la lame d'eau. Les résultats des pluies simulées sur 1m² ont donc bien permis de préciser le fonctionnement hydrique du sol brun tropical volcanique et de définir le rôle remarquable du paillage dans les systèmes de cultures intensives contre le ruissellement (et l'érosion hydrique).

Mots clés : Martinique, simulations de pluies cycloniques, culture bananière, ananas, systèmes intensifs, sol brun tropical volcanique, parcelles d'érosion, paramètres de ruissellement/infiltration.

1 - INTRODUCTION

En Martinique, île volcanique des Antilles françaises (14-16°N ; 60-62°W ; 1080 km²), la production intensive de banane dessert « Cavendish » qui est un atout économique essentiel, occupe près de 9 000 ha des terres agricoles.

En raison des pratiques agricoles (grande consommation d'intrants) sur un relief montagneux accidenté soumis à de forte pluviosité 2000-5000 mm/an (tempêtes tropicales), les systèmes de cultures bananières peut présenter des risques de dégradation pour l'environnement.

De 1998 à 2001, une étude en parcelles expérimentales sur un sol brun tropical volcanique ou « sol brun rouille à halloysite » selon Colmet-Daage et Lagache (1965) a montré qu'en matière de dégradation du sol sur un versant de pente moyenne 10%, les systèmes intensifs bananiers à gestion de paillis ou *mulch* protégeaient efficacement le sol de l'érosion hydrique (E=0,6 t/ha/an) à l'inverse de la culture d'ananas billonné (E=17 t/ha/an), en rotation avec les bananeraies ou du sol dénudé (E=85 t/ha/an) (Khamsouk et Roose, 2003).

Afin d'approfondir les résultats obtenus en parcelles expérimentales sous pluies naturelles et de déterminer les facteurs explicatifs, des tests de simulations de pluies cycloniques (intensité 100 mm/h) ont été appliqués sur des micro-parcelles de 1m² à l'intérieur des parcelles d'essais cultivés de 200 m² (Khamsouk et al., 2006).

Cet article va présenter les résultats obtenus sous les simulations de pluies cycloniques, notamment l'influence du paillis ou mulch en surface du sol sur le comportement hydrique du sol testé.

2 – SITE, MATERIELS ET METHODES

2.1 – Le site d'étude

Le site d'étude est la station expérimentale Rivière Lézarde (110 ha), situé en région centrale de l'île avec une pluviosité de 2000-2500 mm/an et caractérisé par un sol brun tropical volcanique cultivé en systèmes bananiers. Six parcelles d'érosion (200 m²) sur différentes pentes ont été installées avec quatre traitements dont les caractéristiques mesurées durant deux années sont récapitulées dans le tableau 1 :

- les **sols nus Nu11, Nu25 et Nu40** (sol dénudé, travaillé sur 20 cm) : traitement standard ou témoin sur trois pentes 11-25-40%, permettant de déterminer le comportement du sol sous les averses érosives (Wischmeier et Smith, 1978) ;
- la **canne à sucre avec paillage de résidus organique Ca10** (13 lignes de cannes) : parcelle installée sur une pente de 10%, proposée en rotation avec la bananeraie pour réduire les risques d'érosion et assainir le sol des nématodes parasites ;
- la **bananeraie établie** avec paillis en bandes perpendiculaires à la pente **Ba11** (36 pieds) : traitement situé sur une pente à 11%, préconisée pour lutter contre l'érosion ;
- L'**ananas mécanisé et billonné An7** (sept billons ; 850 plants) : système intensif traditionnel en rotation avec la bananeraie et situé sur une pente de 7% - *labour profond à 60 cm avec enfouissement des résidus et billonnage en descendant la pente.*

Tableau 1. Caractéristiques mesurées des six parcelles d'érosion installées sur le sol brun tropical volcanique (sol brun rouille à halloysite).

Traitements		Sols nus			Bananeraie établie	Canne à sucre paillée	Ananas méca+billonné
Parcelles		Nu11	Nu25	Nu40	Ba11	Ca10	An7
	Pente (%)	11%	25%	40%	11%	10%	7%
Texture	Argile (%)	73,95	72,55	62,05	68,85	66,45	68,05
	Limon (%)	12,25	6,8	17,55	14,35	13,6	11,15
	Sable (%)	11,95	20,34	18,83	15,11	17,22	20,47
Matière Organique	C org (%)	1,34	1,85	1,71	1,99	1,62	1,57
	MO (%)	2,31	3,19	2,94	3,43	2,79	2,71
Ruissellement	Cram* (%)	7,1	5,2	4,3	2,8	0,5	11,4
	Crmax** (%)	45	32	28	27	6	51
Erosion	E (t/ha/an)	85,8	127,5	147,4	0,5	0,1	17,2

* Cram : coefficient de ruissellement annuel ou rapport annuel de la lame d'eau ruisselée sur la pluviosité

** Crmax : coefficient de ruissellement maximal mesuré sous l'épisode pluvial correspondant

Sur ces traitements, 19 simulations de pluies cycloniques (intensité : 100 mm.h⁻¹) ont été appliquées sur des micro-parcelles (1m²) durant trois heures. Les mesures de ruissellement à l'exutoire des micro-parcelles permettent de déterminer les paramètres hydrodynamiques, bien représentatifs du comportement des surfaces de sol (Lafforgue, 1977 ; Collinet et Valentin, 1979) : la **pluie d'imbibition Pi** (mm) ou hauteur d'eau de pluie minimale et nécessaire pour provoquer le ruissellement ; la **lame ruisselée cumulée LR60'** et **LR180'** (mm) correspondant à la hauteur du ruissellement après 60 et 180 minutes de simulation ; le **coefficient de ruissellement Kr60'** et **Kr180'** (%) ou rapport des hauteurs d'eau ruissellement/pluie après 60 et 180 minutes ; le **palier de ruissellement Rx** (mm.h⁻¹) ou intensité maximale et constante d'écoulement d'eau durant le régime permanent du ruissellement. A noter que tous ces paramètres se retrouvent également dans les **hydrogrammes** ou courbes de ruissellement/infiltration durant la durée d'application des pluies artificielles.

A chaque simulation, les conditions initiales et finales des micro-parcelles sont déterminées par cinq mesures : la **pente p** (%) à l'aide d'un mètre, d'une règle et d'un niveau à bulle ; les **humidités pondérales initiale Hpi** (%) et **finale Hpf** (%) par prélèvement du sol sur 10 cm ; la **rugosité de surface Rg** par la méthode de la chaînette (rapport de longueurs chaîne/mètre linéaire) ; la **densité apparente** du sol **Dapp** (g.cm⁻³) avec les cylindres (1000 cm³) ; l'**état de surface du sol** comprenant : les surfaces ouvertes **SO** (%) ou mottes ; les surfaces couvertes **SC** (%) regroupant la litière et les cailloux protégeant le sol ; les surfaces lisses et fermées **SF** (%) ou croûte.

Afin de déterminer des relations remarquables et facteurs explicatifs sur les résultats, des corrélations binaires ont été appliquées sur les résultats : leurs coefficients sont dits « très significatifs » au seuil de 1%, « significatif » au seuil de 5% et « non significatifs » dans les autres cas.

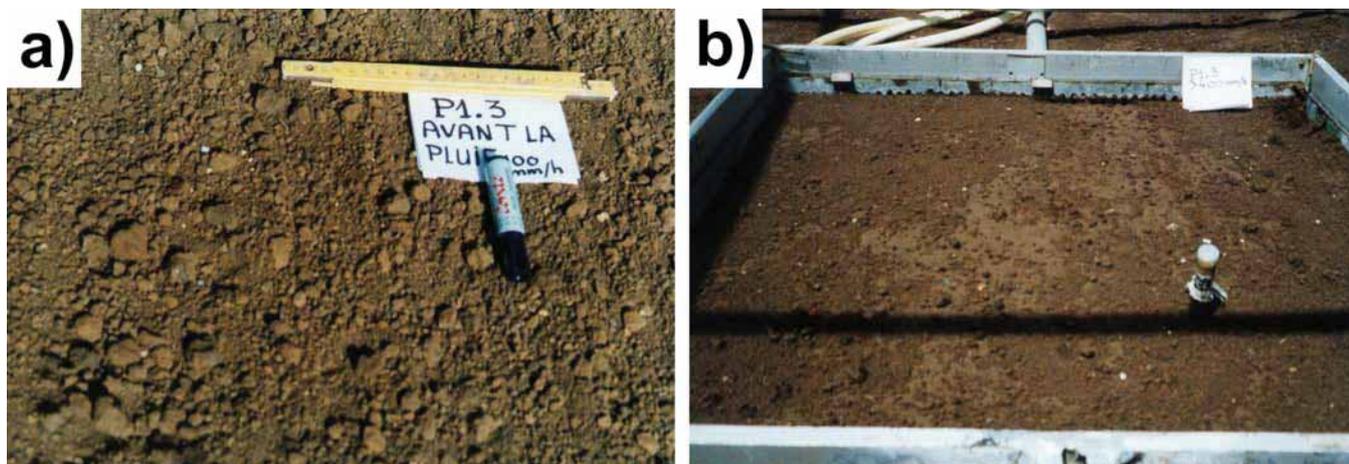


Photo 1 : évolution de l'état de surface du « sol nu » (Nu11) avant (a) puis après (b) la pluie cyclonique simulée.

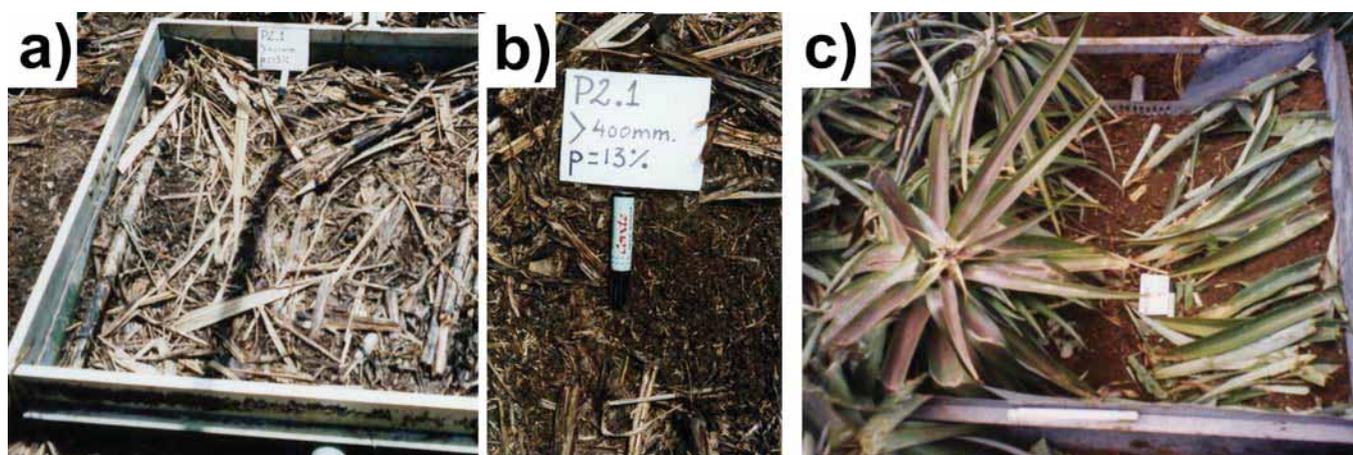


Photo 2 : autres état de surface des traitements « canne à sucre paillé » Ca10 avant et après la simulation de pluie cyclonique (a et b) et « ananas mécanisé et billonné an7 avant la pluie artificielle (c).

Tableau 2. Conditions initiales et finales des 19 micro-parcelles (1 m²) testées sous pluies artificielles.

Traitement	Parcelle	Moyenne écart-type	Paramètres d'états du sol					Etat de surfaces sur 1 m ²		
			Pente (%)	Hpi (%)	Hpf (%)	Dapp (g/cm ³)	Rg	SO (%)	SC (%)	SF (%)
Sol nu	Nu11	Moy	12,33	18,93	49,23	0,78	1,06	98,33	1,67	0
		écart-type	0,003	1,406	5,606	0,019	0,006	1,443	1,443	ND
	Nu25	Moy	24,58	18,48	45,79	0,83	1,04	91,84	8,16	0
		écart-type	0,005	3,176	2,316	0,004	0,007	1,565	1,565	ND
	Nu40	Moy	36,67	34,56	48,55	0,79	1,05	92,47	7,53	0
		écart-type	0,006	0,368	0,427	0,008	0,008	2,894	2,894	ND
Bananaie établie Interligne paillée	Ba11- rés	Moy	16,80	18,94	48,53	0,78	1,22	1,23	96,34	2,44
		écart-type	0,007	2,950	1,004	0,007	0,025	0,870	2,579	3,449
Bananaie établie Interligne nu	Ba11- nu	Moy	13,83	24,67	57,77	0,84	1,03	48,60	16,97	22,60
		écart-type	4,368	3,632	2,461	0,002	0,020	6,929	0,295	16,973
Canne à sucre paillée	Ca10- rés	Moy	12,25	19,64	56,27	0,80	1,17	2,28	97,72	0
		écart-type	0,011	2,275	8,936	0,000	0,005	0,399	0,399	ND
Ananas mécanisé et billonné	An7	Moy	9,17	18,77	56,62	0,87	1,17	4,67	82,01	13,32
		écart-type	0,012	2,559	2,353	0,005	0,000	2,702	4,695	3,653

ND : non déterminé

III – RESULTATS ET DISCUSSION

1. Conditions initiales et finales des micro-parcelles

Ces résultats sont récapitulés dans le tableau 2 : au départ, le sol argileux est sec et peu dense. Les états de surface reflètent bien les caractéristiques des traitements testés : un fort taux de surface couverte sur les essais cultivés paillés (bananeraie et canne à sucre) et un fort taux de surface ouverte ou dénudée sur les sols nus (photos 1 et 2). Après l'arrêt des pluies cycloniques, la saturation du sol n'est jamais atteinte ($H_{pf} < 58\%$) : la forte capacité d'infiltration du sol brun tropical volcanique est remarquable et elle s'expliquerait par la grande stabilité des agrégats soumis à l'eau, résultats déjà démontrés lors d'un test de stabilité structurale en laboratoire (Khamsouk *et al.*, 1999). D'ailleurs, sur les trois sols nus, la réorganisation superficielle du sol après les pluies artificielles est différent du comportement battant des sols sableux et limoneux : pas d'encroûtement lisse en surface et présence d'agrégats émoussés reposant sur une croûte interne et continue formée par le dépôt des particules fines désagrégées (photo 1b).

2. Hydrogrammes et paramètres hydrodynamiques des pluies simulées

Les hydrogrammes de ruissellement reflètent le comportement spécifique des traitements testés, avec la distinction entre parcelle très infiltrant (systèmes paillés) et celles très ruisselant (figure 1).

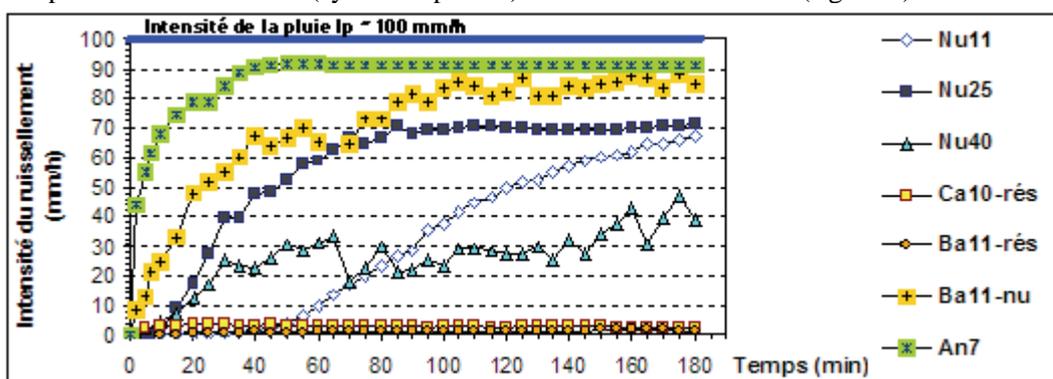


Figure 1. Hydrogrammes moyens du ruissellement issus des traitements testés sous pluies simulées.

Ces comportements sous pluies cycloniques simulées sont bien conformes aux résultats de ruissellement observés en parcelles d'érosion, à savoir :

- l'absence de perte en terre annuelle sur les traitements cultivés paillés bananeraie et canne à sucre (photos 2a et 2b),
- une érosion hydrique favorisée par l'effet des sillons concentrant rapidement le ruissellement, même sur pente faible 7% (ananas mécanisé et billonné (photo 2c)),
- un changement de processus hydrodynamique et d'érosion hydrique du sol dénudé quand la pente dépasse 25%, c'est-à-dire une érosion hydrique linéaire pour des pentes <25% à une érosion hydrique par coulée boueuse sur les pentes à 40% (Khamsouk et Roose, 2003).

Tableau 3. Paramètres hydrodynamiques des 19 simulations de pluies appliquées sur les 6 traitements.

Traitement	Parcelle	Moyenne écart-type	Pluie Ip (mm/h)	Ruissellement							Perte en sédiments	
				Pi (mm)	LR60' (mm)	LR180' (mm)	Kr60' (%)	Kr180' (%)	Rx (mm/h)	Fn (mm/h)	PT60' (t/ha)	PT180' (t/ha)
Sol nu	Nu11	Moy	100,22	66,67	7,76	161,12	7,76	53,71	74,34	25,66	0,04	2,74
		écart-type	0,38	16,67	8,41	42,27	8,41	14,09	9,57	9,57	0,02	1,97
	Nu25	Moy	100,74	18,48	58,95	212,40	58,50	70,24	69,48	31,25	1,46	6,05
		écart-type	1,59	6,10	2,99	14,44	2,86	4,18	7,99	6,98	0,31	1,02
	Nu40	Moy	99,07	14,29	30,78	173,61	30,87	58,50	48,28	50,78	1,10	4,02
		écart-type	2,19	2,34	14,10	32,20	13,66	9,12	10,36	8,31	0,40	0,16
Bananeraie établie Interligne paillée	Ba11-rés	Moy	101,21	100,00	1,00	4,50	0,97	1,47	0,00	100,00	0,00	0,00
		écart-type	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Bananeraie établie Interligne nu	Ba11-nu	Moy	96,22	7,50	61,69	254,16	64,39	88,21	82,61	15,60	1,75	8,24
		écart-type	2,70	1,07	11,95	18,87	14,08	8,60	10,15	11,46	1,94	8,18
Canne à sucre paillée	Ca10-rés	Moy	100,06	100,00	3,45	0,00	3,38	2,78	0,00	100,00	0,00	0,02
		écart-type	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ananas mécanisé et billonné	An7	Moy	101,08	4,23	91,80	272,30	90,76	89,72	90,77	10,32	0,42	1,95
		écart-type	2,47	2,30	9,08	28,22	7,42	7,60	9,42	7,56	0,38	1,09

ND : non déterminé

Au niveau des paramètres hydrodynamiques (tableau 3), les résultats sont également conformes aux mesures réalisées sur les parcelles d'érosion (Khamsouk et Roose, 2003) :

- pas de ruissellement observé sous traitements paillés, très couvert et très rugueux, et une infiltration totale comme dans d'autres études références (Manning *et al.*, 1966 ; Roose, 1977 ; Helming *et al.*, 1998),
- l'effet des sillons concentrant et évacuant le ruissellement, vecteur de la forte érosion et bien souligné dans des études expérimentales sur andosols et ferrisols (Roose et Asseline, 1978 ; El-Swaify *et al.*, 1982 ; Winschester Chromec *et al.*, 1989),
- l'influence négative de la pente sur le ruissellement sur les sols nus où l'infiltration augmente en raison de l'ouverture du sol, provoquée par l'énergie décapante du ruissellement (Heusch, 1971 ; Poesen, 1986 ; Valentin, 1989 ; Roose *et al.*, 1993 ; Janeau *et al.*, 2003 ; Sabir *et al.*, 2004).

Parmi les paramètres de ruissellement, deux principaux (P_i et $LR60'$) sont très représentatifs du comportement hydrique des parcelles testées tandis que d'autres travaux analogues font référence au ruissellement maximal R_x ou l'infiltration permanente F_n , obtenus après 60 minutes de pluies sur des sols sableux tropicaux cultivés ou sur des sols limoneux (Roose et Asseline, 1978 ; Collinet et Valentin, 1979 ; Le Bissonnais *et al.*, 1989).

3. Quelques relations remarquables

Les corrélations significatives établis entre conditions initiales et paramètres hydrodynamiques soulignent bien le rôle très remarquable du paillage (couverture et rugosité au sol) contre le ruissellement ($r^2=-0,538$ pour SC et $LR60'$; $r^2=-0,695$ pour Rg et $LR60'$ (Khamsouk et al., 2006)).

Par ailleurs, la corrélation significative entre ruissellements mesurés en parcelles d'érosion 100-200 m² sous pluies naturelles et en micro-parcelles 1 m² sous simulations de pluies cycloniques confirme bien la similitude du fonctionnement hydrique du sol brun tropical cultivé sur les deux surfaces différentes ($r^2=0,794$ pour Cram et R_x). Cela montre aussi la conformité exceptionnelle des simulations de pluies cycloniques avec la pluviosité naturelle du site au niveau du comportement hydrique des traitements testés (Khamsouk et al., 2006).

Concernant les paramètres de perte en terre, les résultats obtenus ne permettent pas de dresser des relations remarquables car les micro-parcelles 1 m² utilisés pour les simulations de pluies ne présentent pas d'exutoire aval lisse, mais perforé et pouvant piéger les sédiments entraînés par le ruissellement (voir photo1b).

IV – CONCLUSION

Les résultats des pluies cycloniques simulées sont non seulement conformes à ceux mesurés sous pluies naturelles, mais aussi et surtout ils ont permis de préciser le fonctionnement hydrique du sol brun tropical cultivé (sol brun rouille à halloysite) et de déterminer les facteurs explicatifs intervenant dans l'installation du ruissellement, principal vecteur de l'érosion hydrique du sol en Martinique. Dans les productions végétales intensives (bananeraie et canne à sucre) sous climat tropical humide avec des tempêtes cycloniques, limiter le ruissellement par le paillage organique bien couvrant et rugueux reste donc une bonne pratique agricole de lutte antiérosive, combinant à la fois la conservation du sol et la disponibilité des résidus culturales.

BIBLIOGRAPHIE

- Asseline J., Valentin C., 1978 – Construction et mise au point d'un infiltromètre à aspersion., *Cahiers ORSTOM Hydrologie*, 15, 4 : 321-347.
- Casenave C., Valentin C., 1989 – Les états de surfaces de la zone sahélienne. Influence sur l'infiltration. Ed. ORSTOM, Paris, 229 pages.
- Colmet-Daage F. et Lagache P., 1965 – Caractéristiques de quelques groupes de sols dérivés de roches volcaniques aux Antilles françaises. *Cahiers de l'ORSTOM Pédologie* : 91-121.
- El-Swaify S.A., Dangler E.W, Armstrong C.L., 1982 – Soil erosion by water in the tropics., HITADR, Research extension series n°24, Hawaii, 173 pages.
- Helming K., Römken M.J.M., Prasad S.N., 1998 – Surface roughness related processes of runoff and soil loss : a flume study., *Soil Sciences Society of American Journal* 62 : 243-250.
- Heusch B., 1971 – Estimation et contrôle de l'érosion hydrique. *Société des Sciences Naturelles et Physiques, Maroc*, C.R. 37 : 41-54.
- Khamsouk B., Roose E., Dorel M., Blanchart E., 1999 – Effets des systèmes de culture bananière sur la stabilité structurale et l'érosion d'un sol brun rouille à halloysite en Martinique., *Bulletin Réseau Erosion* n°19, 1 : 206-215.

- Khamsouk B., Roose E., 2003** – Ruissellement et érosion d'un sol volcanique tropical cultivé en systèmes intensifs en Martinique, *Cahier Agricultures* n°12 : 145-151.
- Khamsouk B., Roose E., Blanchart E., Dorel M., Rangon L., Louri J., Banidol J.J., 2006** – Comportement hydrique d'un nitisol cultivé sous simulations de pluies extrêmes. Cas des systèmes intensifs de production bananière en Martinique., ISCO Marrakech 2006, 4 pages.
- Janeau J.L., Bricquet J.P., Planchon O., Valentin C., 2003** – Soil crusting and infiltration on steep slopes in northern Thailand, *European Journal of Soil Science*, 54 : 543-553.
- Lafforgue A., 1977** – Inventaire et examen des processus élémentaires de ruissellement et d'infiltration sur parcelles. Applications à une exploitation méthodique des données obtenues sous pluies simulées., *Cahiers ORSTOM Hydrologie*, 14, 4 : 299-344.
- Le Bissonais Y., Bruand A., Jamagne M., 1989** – Etude expérimentale sous pluie simulée de la formation des croûtes superficielles. Apports à la notion d'érodibilité des sols. *Cahiers ORSTOM Pédologie* 25, 1-2 : 31-40.
- Mannering J.V., Meyer L.D., Johnson C.B., 1966** – Infiltration and erosion as affected by minimum tillage for corn. *Soil Sciences, Society of America Proc.* 30, 1 : 101-105.
- Poesen J., 1986** – Surface sealing as influenced by slope angle and position of simulated stones in the top layer of loose sediments., in *Assessment of soil surface sealing and crusting*, Ed. F. Callebaut, D. Gabriels and M. De Boodt, Flanders Research Centre for Soil Erosion and Soil Conservation, Belgium, 354-362.
- Roose E., Asseline J., 1978** – Mesures des phénomènes d'érosion sous pluies simulées aux parcelles d'érosion d'Adiopodoumé : II – Les charges solides et solubles des eaux de ruissellement sur sol nu et diverses cultures d'ananas., *Cahiers ORSTOM série Pédologie*, 16, 1 : 43-72.
- Roose E., Arabi M., Brahamia K., Chebbani R., Mazour M., Morsli B., 1993** – Erosion en nappe et ruissellement en montagne méditerranéenne algérienne. Réduction des risques érosifs et infiltration de la production agricole pour la GCES. Synthèse des campagnes 1984-1995 sur un réseau de 50 parcelles d'érosion., *Cahiers ORSTOM Pédologie*, 28, 2 : 289-308.
- Sabir M., Barthès B., Roose E., 2004** – Recherche d'indicateurs de ruissellement et d'érosion sur les principaux sols des montagnes méditerranéenne du Rif occidental (Maroc), *Sécheresse*, 15, 1 : 105-110.
- Valentin C., 1989** – Surface crusting, runoff and erosion on steeplands and coarse material., in *The establishment of soil management experiments on sloping lands*, IBSRAM Technologic Notes n°3, Bangkok, 285-312.
- Winschester Chromec F., El-Swaify S.A., Lo A.K.F., 1989** – Erosion Problems and Research in Hawaii., *Topic in applied resource management*, 1 : 143-174.
- Wischmeier W.H., Smith D.D., 1978** – Predicting rainfall erosion losses – A guide to conservation planning., U. S. Department of Agriculture, *Agriculture Handbook* n°282, 58 pages.



Ambassade de France en Haïti

Lutte antiérosive, réhabilitation des sols tropicaux et protection contre les pluies exceptionnelles

Editeurs scientifiques

Eric ROOSE, Hervé DUCHAUFOUR et Georges DE NONI

avec le soutien de

l'Université d'État d'Haïti

l'Université de Quisqueya

le SCAC de l'Ambassade de France en Haïti

l'Institut de recherche pour le développement (IRD)

IRD EDITIONS

Marseille, 2012