

Comportement hydrique d'un nitisol cultivé sous simulations de pluies extrêmes Cas des systèmes intensifs de production bananière en Martinique.

Bounmanh Benoît KHAMSOUK¹, Eric ROOSE², Eric BLANCHART², Marc DOREL³, Luc RANGON⁴,
Joelle LOURI²

¹BANALLIANCE, Centre d'affaires le Baobab, Rue Léon Gontran Damas, 97 232 Lamentin (Martinique), e-mail : kamsouk@wanadoo.fr

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

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

⁴IRD Martinique – Caraïbes (PRAM), Petit Morne, 97 232 Lamentin (Martinique), e-mail : luc.rangon@ird.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 (100-200 m²) sur un nitisol volcanique a démontré que les systèmes intensifs bananiers 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. Devant la nécessité d'approfondir ces premiers 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 et de rechercher les facteurs explicatifs du ruissellement, principal vecteur de l'érosion du sol.

Les résultats des pluies simulées sont bien conformes aux mesures et relations remarquables observées en parcelles d'érosion sous pluies naturelles, notamment à travers les hydrogrammes des différents traitements et les paramètres de ruissellement. Le paillis protège efficacement le sol du ruissellement (et de l'érosion) en infiltrant la totalité 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) - 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 du ruissellement ; (iii) – l'influence de la densité apparente (porosité du sol) sur les processus de ruissellement/infiltration. Les résultats des pluies simulées sur 1m² ont donc bien permis de préciser le fonctionnement hydrique du nitisol cultivé et de définir les déterminants des processus du ruissellement (et de l'érosion hydrique). Cette étude pourrait être plus tard étendue sur d'autres types de sols cultivés de l'île afin de déterminer leur fonctionnement hydrique, d'adapter les bonnes pratiques agricoles, voire de définir une cartographie de l'érosion et dégradation environnementale. Elle a toute son importance car les ressources en eau potable de l'île dépendent entièrement de la qualité du réseau hydrographique où l'érosion et les pratiques agricoles peuvent être un risque important de pollution.

Mots clés : Martinique, simulations de pluies cycloniques, culture bananière, systèmes intensifs, nitisol, parcelles d'érosion, paramètres de ruissellement/infiltration.

I - INTRODUCTION

Principale production végétale d'exportation sur 9 000 ha en Martinique, île volcanique des Antilles françaises (14-16° N ; 60-62°W ; 1 080 km²), la culture bananière 'Cavendish' peut présenter un risque de dégradation pour l'environnement en raison de ses pratiques culturales (grande consommation d'intrants, lourde préparation de sol), du relief accidenté des zones agricoles et de la forte pluviosité 300-5 000 mm/an (tempêtes tropicales). Récemment, une étude en parcelles expérimentales sur un nitisol volcanique a démontré qu'en matière de dégradation du sol, les systèmes intensifs bananiers à gestion de paillis protégeaient le sol de l'érosion hydrique (E=600 kg/ha/an) à l'opposé de la culture d'ananas billonné (E=17 t/ha/an), entrant en rotation avec les bananeraies (Khamsouk et Roose, 2003). Devant la nécessité d'approfondir ces premiers résultats, une campagne de simulations de pluies cycloniques a donc été réalisée *in situ* avec pour objectif de mieux comprendre le fonctionnement hydrique du sol et de rechercher les facteurs explicatifs du ruissellement, principal vecteur de l'érosion du sol

(Lafforgue, 1977 ; Roose et Asseline, 1978 ; Collinet et Valentin, 1979). Le présent article va traiter des résultats obtenus par cette campagne de simulations de pluies cycloniques.

II – SITE, MATERIELS ET METHODES

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 nitisol volcanique cultivé en systèmes bananiers. Six parcelles d'érosion (100-200 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** (100 m² ; 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** (200 m² ; 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** (200 m² ; 36 pieds) : traitement situé sur une pente à 11%, préconisée pour lutter contre l'érosion ;
- L'**ananas mécanisé et billonné An7** (200 m² ; 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 nitisol volcanique.

Traitements	Sols nus			Bananeraie établie	Canne à sucre paillée	Ananas méca+billonné	
Parcelles	Null	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

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 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.

III – RESULTATS ET DISCUSSION

1. Conditions initiales et finales des micro-parcelles

Ces résultats sont récapitulées dans le tableau 2 : au départ, le sol 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 cannier et bananier paillés et un fort taux de surface ouverte sur les sols nus. Après l'arrêt des pluies cycloniques, la saturation du sol n'est jamais atteinte ($H_{pf} < 58\%$) : la forte capacité d'infiltration du nitisol 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 diffère 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.

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

Traitement	Parcelle	Moyenne écarti-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
		écarti-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
		écarti-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
		écarti-type	0,006	0,368	0,427	0,008	0,008	2,894	2,894	ND
Bananeraie établie Interligne paillée	Ball-rés	Moy	16,80	18,94	48,53	0,78	1,22	1,23	96,34	2,44
		écarti-type	0,007	2,950	1,004	0,007	0,025	0,870	2,579	3,449
Bananeraie établie Interligne nu	Ball-nu	Moy	13,83	24,67	57,77	0,84	1,03	48,60	16,97	22,60
		écarti-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
		écarti-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
		écarti-type	0,012	2,559	2,353	0,005	0,000	2,702	4,695	3,653

ND : non déterminé

2. Hydrogrammes et paramètres hydrodynamiques des pluies simulées

D'après la figure 1, les hydrogrammes de ruissellement reflètent le comportement spécifique des traitements, avec la distinction entre parcelle très infiltrant (systèmes paillés) et celles très ruisselant. Ces comportements sous pluies cycloniques simulées sont bien conformes aux résultats de ruissellement observés en parcelles d'érosion.

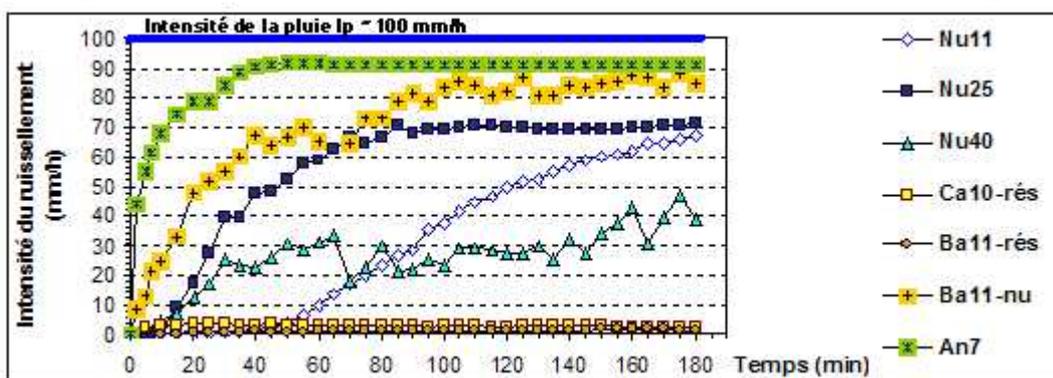


Figure 1. Hydrogrammes moyens du ruissellement issus des traitements testés sous pluies simulées.

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

Traitement	Parcelle	Moyenne écart-typs	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	Null	Moy	100,22	66,67	7,76	161,12	7,76	53,71	74,34	25,66	0,04	2,74	
		écart-typs	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-typs	1,59	6,10	2,99	14,44	2,86	4,18	7,99	6,98	0,51	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-typs	2,19	2,34	14,10	32,20	13,66	9,12	10,36	8,31	0,40	0,16	
Bananeraie établie Interligne paillée	Ball- rés	Moy	101,21	100,00	1,00	4,50	0,97	1,47	0,00	100,00	0,00	0,00	
		écart-typs	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
Bananeraie établie Interligne nu	Ball- nu	Moy	96,22	7,50	61,69	254,16	64,39	88,21	82,61	15,60	1,75	8,24	
		écart-typs	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-typs	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-typs	2,47	2,30	9,08	28,22	7,42	7,60	9,42	7,56	0,38	1,09	

Au niveau des paramètres hydrodynamiques, les résultats sont également conformes aux mesures réalisées sur les parcelles d'érosion (tableau 3) : (i) - pas de ruissellement observé sous traitements paillés, très couverts et très rugueux, et une infiltration totale comme dans d'autres études références (Mannering *et al.*, 1966 ; Roose, 1977 ; Helming *et al.*, 1998) ; (ii) - 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 ; Winstchester Chromec *et al.*, 1989) ; (iii) - 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 (Pi et LR60') sont très représentatifs du comportement hydrique des parcelles testées tandis que d'autres travaux analogues font référence au ruissellement maximal Rx, obtenus après 60 minutes de pluies (Roose et Asseline, 1978 ; Collinet et Valentin, 1979 ; Le Bissonnais *et al.*, 1989).

3. Relations remarquables

Les corrélations significatives établies entre conditions initiales et paramètres hydrodynamiques soulignent bien le rôle antagoniste du paillage dans l'installation du ruissellement ($r^2=-0,538$ pour SC et LR60' ; $r^2=-0,695$ pour Rg et LR60'). Par ailleurs, la porosité du sol (exprimée à travers la densité apparente) et le ruissellement sont étroitement et négativement liés, d'après les coefficients de corrélation ($r^2=0,893$ pour Dapp et LR60' ; $r^2=-0,641$ pour Dapp et Pi). La corrélation significative entre ruissellements mesurés en parcelles d'érosion (pluies naturelles) et en micro-parcelles (pluies cycloniques artificielles) confirme bien la similitude du fonctionnement hydrique du nitisol cultivé sur les deux surfaces d'investigation 200 m² et 1 m² ($r^2=0,794$ pour Cram et Rx).

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 nitisol cultivé et de déterminer les facteurs explicatifs intervenant dans l'installation du ruissellement, principal vecteur de l'érosion hydrique. Dans les productions végétales intensives, limiter le ruissellement par une amélioration de la macroporosité du sol ou par le paillage bien couvrant et rugueux reste donc une bonne pratique agricole de lutte anti-érosive. Cette étude pourrait être étendue sur d'autres types de sols cultivés de l'île afin de déterminer leur fonctionnement hydrique, d'adapter les bonnes pratiques agricoles au contexte spécifique, voir de définir une cartographie des zones sensibles à l'érosion et à une dégradation environnementale. Cette approche est primordiale en Martinique car sur cette petite île volcanique, car les ressources en eau potable dépendent entièrement de la qualité du réseau hydrographique où l'érosion et les pratiques agricoles peuvent être une menace importante de pollution.

BIBLIOGRAPHIE

- Asseline J., Valentin C., 1978 – Construction et mise au point d'un infiltromètre à aspersion., Cahiers ORSTOM Hydrologie vol.15 n°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.
- El-Swaify S.A., Dangler E.W, Armstrong C.L., 1982 – Soil erosion by water in the tropics., HITAHR, Research extension series n°24, Hawaii, 173 pages.
- Helming K., Römkens 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 n°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.
- 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 n° 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 vol.14 n°4, 299-344.
- Le Bissonnais 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 vol.25 n°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. Vol. 30, n°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, vol. 16, n°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 n°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 vol. 15, n° 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.
- Winstchester Chromec F., El-Swaify S.A., Lo A.K.F., 1989** – Erosion Problems and Research in Hawaii., Topic in applied resource management n°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.