

# Effets de la gestion des résidus de culture sur un sol brun tropical volcanique : tests sur divers systèmes de culture intensive d'exportation sous pluies naturelles et simulées en Martinique

Benoît KHAMSOUK<sup>1</sup> et Eric ROOSE<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Agronome, 1 Rue 14 Hay Ennaser, Ville Nouvelle, Meknès (Maroc), courriel : benoit.khamsouk@gmail.com

<sup>2</sup>Agro-pédologue IRD, BP 64501, F34 394 Montpellier (France), courriel: Eric.Roose@ird.fr

## Résumé

En Martinique, les cultures d'exportation (banane, ananas, canne à sucre) peuvent présenter un risque de dégradation pour l'environnement (érosion, pollutions des sols et des eaux) en raison du relief accidenté, des pluies cycloniques et des pratiques culturales très consommatrices d'intrants. Une étude sur dix parcelles d'érosion de 200 m<sup>2</sup> a été mise en place (1998-2001) sur un sol brun tropical volcanique. Elle a démontré que les systèmes intensifs de cultures à gestion superficielle des résidus de culture protégeaient le sol de l'érosion hydrique, à l'opposé du sol nu et de la culture traditionnelle d'ananas billonné. Sur sol nu labouré de pente croissant de 10 -25 à 40%, l'érosion augmente linéairement de 86 à 147 t.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup>, alors que le ruissellement diminue de 7 à 4 %, le type d'érosion passant de l'érosion en nappe, aux rigoles et au creeping. Afin d'approfondir les connaissances sur ces processus, une campagne de simulation de pluies cycloniques (19 tests sur des micro-parcelles de 1m<sup>2</sup> arrosées par une pluie artificielle d'intensité de 100 mm.h<sup>-1</sup> durant trois heures) a été réalisée *in situ* pour mieux comprendre le fonctionnement hydrique du sol.

Les résultats des pluies simulées sur 1m<sup>2</sup> se sont avérés conformes aux mesures observées en parcelles d'érosion (200 m<sup>2</sup>) sous pluies naturelles. Le sol brun tropical sur cendres volcaniques présente une forte capacité d'infiltration et même après trois heures de simulation de pluie très intense, la saturation du sol superficiel 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, même après 300 mm de pluie en trois heures. Par contre, les billons concentrent un ruissellement abondant après 40 minutes de pluie de même intensité. 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 superficiels due à l'énergie décapante de la lame de ruissellement.

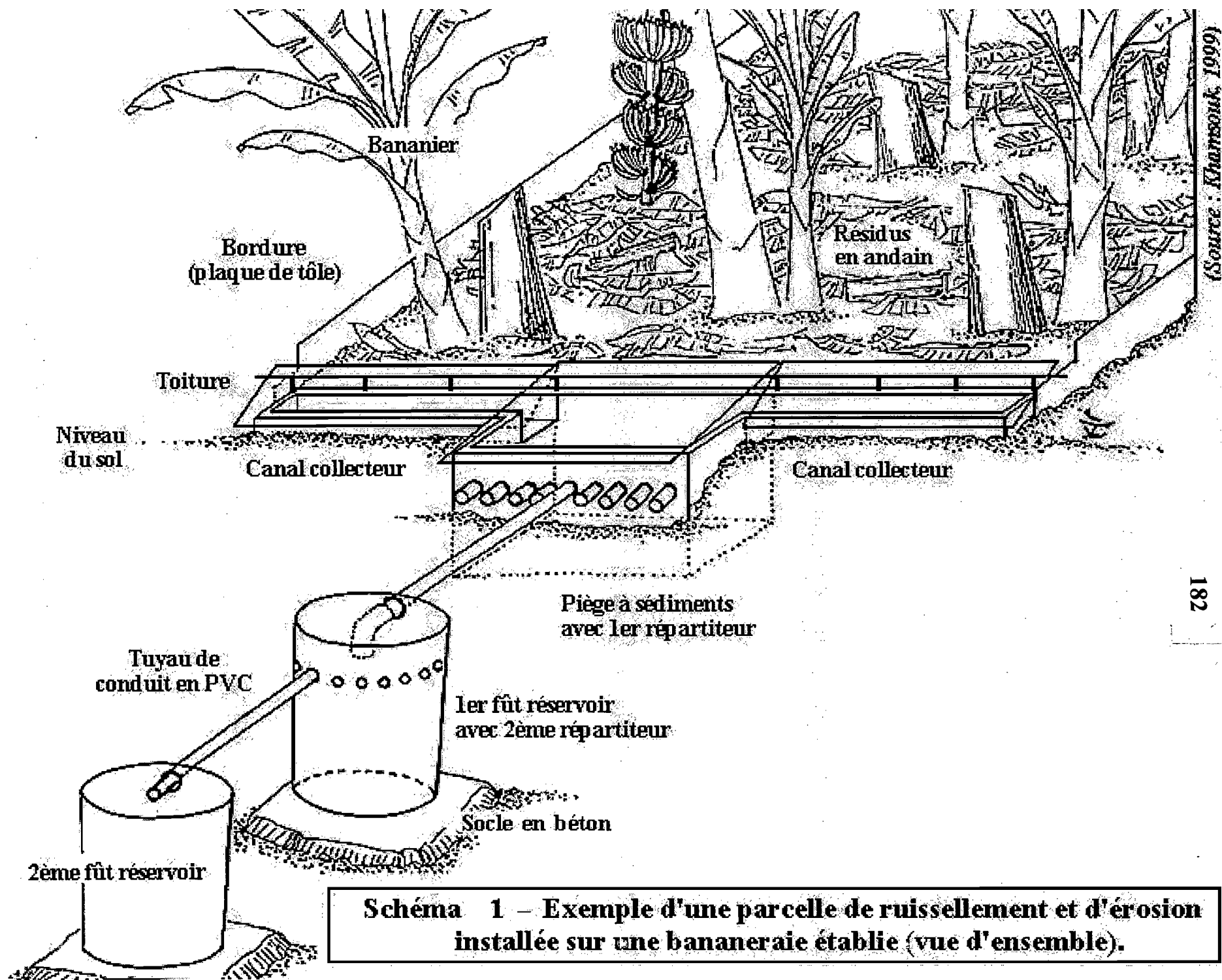
**Mots clés :** Martinique, parcelles d'érosion, simulations de pluies cycloniques, culture bananière, ananas, canne à sucre, systèmes intensifs, paillage par résidus de culture, sol brun tropical volcanique

## Abstract

In Martinique Island, intensive plantations of bananas, pineapple or sugar cane present a risk of erosion and soil + water pollution in relation to steep slopes, intensive cyclonic rainstorms and cultural practices. A study on ten runoff plots (200 m<sup>2</sup>) on a volcanic brown tropical soil demonstrated that intensive cropping systems with complete mulching (with crops residues) protected the soil against erosion when the conventional cropping system of pineapple on ridges lost more than 17 t.ha<sup>-1</sup>.year<sup>-1</sup> of topsoil. On bare plots, on slopes increasing from 10 to 25 & 40%, soil erosion increased linearly from 86 to 128 and 148 t.ha<sup>-1</sup>.year<sup>-1</sup> when runoff decreased from 7 to 4 %, the type of erosion varying from sheet to rill and even creep erosion. In order to better understand erosion processes, 19 tests of cyclonic simulated rainfalls on micro-plots of 1m<sup>2</sup> were irrigated during 3 hours with 100 mm.hour<sup>-1</sup> intensity.

Conclusions under intensive simulated rainfalls confirmed those under natural rainfalls on 200 m<sup>2</sup> runoff plots, particularly concerning runoff and soil losses under different treatments. This volcanic brown soil kept a strong infiltration capacity even after 3 hours of simulated heavy rainfalls: the soil saturation was never attained (Hp<58 %). Mulching protects the soil surface very efficiently against rainfall and runoff energy and against erosion, even during a cyclonic very intense rainstorm. It was not the case for the ridges of denuded soil where runoff became very active after 40 minutes of simulated rain. The rain simulation tests have demonstrated the strong stability of aggregates on bare plots where the structure degradation was only partial with rounded clods sitting on a crust build with fine particles infiltrated. It was also observed a change of erosion processes on bare plots with a decreasing runoff on the steepest slopes (25 and 40 %), due to scouring of the topsoil opening continuously macro-pores.

**Keywords :** Martinique Island, rainstorm simulation, banana plantations, pineapple, sugar cane, volcanic brown tropical soil, runoff plots.



(Source : Khamsouk, 1999)

**Schéma 1 – Exemple d'une parcelle de ruissellement et d'érosion installée sur une bananeraie établie (vue d'ensemble).**

## 1. Introduction

Les sols volcaniques sont intensivement cultivés dans le monde en raison de leurs propriétés physico-chimiques remarquables et de leur bonne fertilité. Les experts considèrent que ces sols sur cendres volcaniques sont stables, bien agrégés et très résistants à l'érosion hydrique (Cabidoche, 1999). Cependant, en Martinique, île volcanique des Antilles françaises (14-16°N ; 60-62°W ; 1080 km<sup>2</sup>), ces sols sont peu étudiés alors que les systèmes de cultures intensives d'exportation (bananes, ananas, cannes à sucre) peuvent présenter des risques de dégradation pour l'environnement (érosion et pollutions) en raison des pratiques agricoles (grande consommation d'intrants et nombreux passages des planteurs) sur un relief montagneux accidenté (pentes de 10 à > 40 %) soumis à une forte pluviosité (2000-5000 mm.an<sup>-1</sup>) et à des tempêtes tropicales. Les dégâts lors des cyclones (décapage des sols labourés, coulées boueuses, ravines, pollutions des eaux de surface) peuvent être très sévères car les cultures sont situées près des habitations. Certaines études en bananeraies ont montré l'importance des pertes de nutriments lors des averses (Godefroy et Dormoy, 1989) et la pollution du ruissellement suite à l'application de pesticides à l'échelle d'un petit bassin versant (Dorel et al., 1996).

De 1998 à 2001, une étude sur dix parcelles d'érosion sur un sol brun tropical volcanique ou « sol brun rouille à halloysite » (Colmet-Daage et Lagache, 1965) a montré qu'en matière de dégradation du sol sur un versant de 10 à 40 % de pente, les systèmes intensifs de culture bananière à gestion des résidus de culture en surface protégeaient efficacement le sol de l'érosion hydrique ( $E = 0,6 \text{ t.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$ ) à l'inverse de la culture d'ananas sur billons ( $E = 17 \text{ t.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$ ), en rotation avec les bananeraies ou du sol dénudé ( $E = 85 \text{ à } 145 \text{ t.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$  en fonction de la pente) (Khamsouk, 2001, Khamsouk et Roose, 2003).

Afin d'approfondir les connaissances obtenues en parcelles expérimentales sous pluies naturelles et de déterminer les facteurs explicatifs, 19 tests de simulation de pluies cycloniques (intensité 100 mm.h<sup>-1</sup> durant plus de trois heures) ont été appliqués sur des micro-parcelles de 1m<sup>2</sup> situées à l'intérieur des parcelles d'érosion de 200 m<sup>2</sup> (Khamsouk et al., 2006).

Ce chapitre présente les résultats obtenus sous pluies naturelles et sous simulation de pluies cycloniques, notamment l'influence du paillis de résidus de culture étalés en surface du sol, sur le comportement hydrique du sol testé. La fertilisation du sol est assurée par des apports raisonnés d'engrais minéraux (Khamsouk, 2001).

## 2. Site, matériels et méthodes

### 2.1 – Le site d'étude

L'étude a été réalisée à la station expérimentale du Cirad-Fhlor de Rivière Lézarde, située en région centrale de l'île avec une pluviosité de 2000-2500 mm.an<sup>-1</sup> et un sol brun tropical sur cendres volcaniques, cultivé en systèmes bananiers, canne à sucre et ananas. Six parcelles d'érosion (200 m<sup>2</sup>) sur différentes pentes (7 à 40 %) 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* (parcelles dénudées sur des pentes de 11, 25 et 40 % d'inclinaison, labourées sur 20 cm) : traitement standard ou témoin sur trois pentes, 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 de 11% *Ba11* (36 pieds) : traitement préconisé pour réduire 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 de la culture précédente et billonnage dans le sens de la pente.

**Tableau 1. Caractéristiques des six parcelles d'érosion installées sur le sol brun tropical volcanique (sol brun rouille à halloysite ou Nitisol selon FAO).**

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

Les parcelles d'érosion (25 x 8m) ont été isolées sur des pentes rectilinéaires qui se terminent par un canal de capture du ruissellement et des sédiments, lequel aboutit à trois cuves calibrées reliées par des partiteurs (voir figure 1) (Roose, 1981 ; Rishirumhirwa, 1997). Après chaque pluie, le ruissellement et l'érosion sont directement mesurés au champ avec une grande précision pour les averses ordinaires < 200 mm (0,01mm pour le ruissellement et 0,2 kg pour les pertes en terre) et une approximation acceptable pour les pluies cycloniques (10 mm pour le ruissellement et 5 kg pour l'érosion).

Pour mieux comprendre ce qui se passe lors des averses cycloniques, 19 simulations de pluies cycloniques (intensité : 100 mm.h<sup>-1</sup> durant trois heures) ont été appliquées sur des micro-parcelles (1m<sup>2</sup>) situées dans les grandes parcelles d'érosion. 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) : la **pluie d'imbibition Pi** (mm) ou hauteur d'eau de pluie 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<sup>-1</sup>) 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 de l'état de surface 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 de chaîne plaquée au sol/mètre linéaire) ; la **densité apparente** du sol **Dapp** (g.cm<sup>-3</sup>) avec les cylindres (1000 cm<sup>3</sup>) ; 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 fermées **SF** (%) tassées ou encroûtées (Roose, 1996).

Afin de déterminer les relations remarquables et les 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.

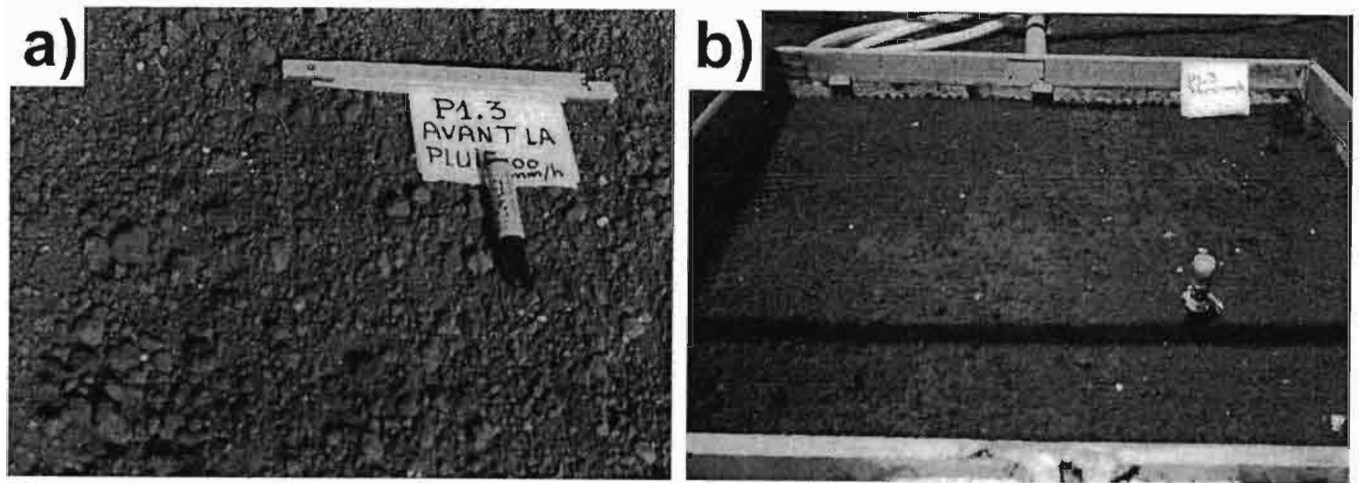


Photo 1 : évolution de l'état de surface du « sol nu » (Nu11) avant (a) puis après (b) la pluie cyclonique simulée.

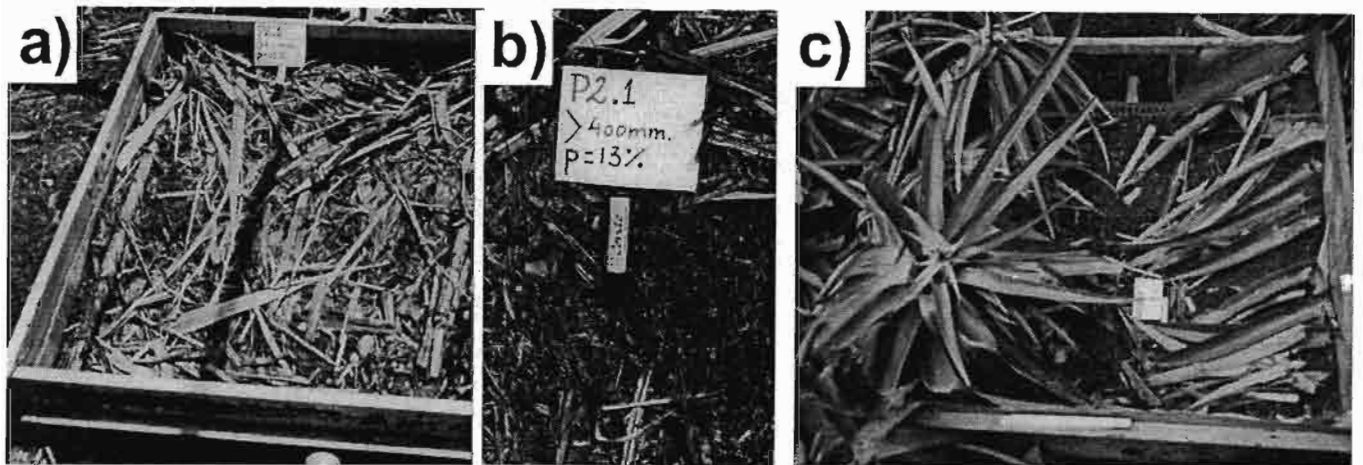


Photo 2 : autres états de surface des traitements « canne à sucre paillée » Ca10 avant et après la simulation de pluie cyclonique (a et b) et « ananas mécanisé et billonné » avant la pluie artificielle (c).

Tableau 2. Conditions initiales et finales des 19 micro-parcelles (1 m<sup>2</sup>) testées sous pluies artificielles.

Traitement	Parcelle	Moyenne écart-type	Paramètres d'états du sol					Etat de surfaces sur 1 m <sup>2</sup>		
			Pente (%)	Hpi (%)	Hpf (%)	Dapp (g/cm <sup>3</sup> )	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
Bananeraie 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
Bananeraie 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

### 3. Résultats et discussion

#### 3.1. La pluviosité

La pluie annuelle moyenne entre 1978 et 1998 s'élève à 2420 mm avec un indice d'agressivité R index de 915 MJ.mm/ha.h, caractéristique des climats tropicaux humides (Wischmeier and Smith, 1978 ; Roose, 1994). En 1999, l'essentiel de l'érosion provient de trois tempêtes tropicales de 74 à 94 mm avec des intensités max. en 30 minutes de 76 mm/h. En 2000 par contre, il n'y eu pas de tempête tropicale mais l'agressivité de chaque pluie a été plus forte.

#### 3.2. Le taux de couverture végétale sur les grandes parcelles

Sur les parcelles nues, les cailloux et adventices n'ont jamais couvert plus de 15 % de la surface du sol, tandis que sur les parcelles cultivées le taux de couverture varie de 30 à 60 % sur ananas billonnés et de 60 à 100 % sur les cultures paillées. Sur sol nu de plus de 20 % de pente, la surface couverte par les rigoles atteint jusqu'à 40 %: aucune rigole n'a été observée sous cultures.

#### 3.3. Le ruissellement et l'érosion sur les grandes parcelles

Au tableau 1, il apparait que les parcelles nues et la culture d'ananas sont les moins bien couvertes et les plus sensibles au ruissellement et à l'érosion. Sur les parcelles d'ananas billonnées dans le sens de la pente, le ruissellement se concentre, s'accélère dans les sillons et augmente l'érosion. Sous bananeraie, le paillage, même partiel en bandes perpendiculaires à la pente, dissipe l'énergie des gouttes de pluie et du ruissellement et maintient une bonne capacité d'infiltration, y compris lors des averses tropicales. Cependant sur les parcelles nues, lorsque la pente augmente de 11 à 40 %, le ruissellement diminue (de 7 à 4 %) mais l'érosion augmente (de 85 à 147 t.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup>). Des résultats semblables ont été obtenus sur parcelles d'érosion nues en Afrique. Heusch (1971) suggère que sur forte pente le drainage interne est plus rapide et donc le sol se sature moins vite. Roose (1981) a observé que sur les faibles pentes, le ruissellement a moins de puissance et il se forme des croûtes plus rapidement. Sur forte pente, l'énergie du ruissellement augmente et lacère les croûtes en voie de formation. L'érosion sur ces pentes fortes et mal couvertes n'est plus sélective : la force du ruissellement emporte même les agrégats et les cailloux (Khamsouk et Roose, 2003). Ceci démontre la forte énergie du ruissellement sur les fortes pentes mais aussi la grande résistance des agrégats de ces sols volcaniques soumis à la pluie et leur faible érodibilité. Cette résistance a d'ailleurs été confirmée par l'absence de croûtes d'érosion sur ces terrains (Roose et al., 1999) et par la grande résistance des agrégats aux tests de tamisage dans l'eau au laboratoire (Khamsouk et al., 1999).

#### 3.4. Les conditions initiales et finales des micro-parcelles sous pluies simulées

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 couverture sur les essais sur parcelles cultivées paillées (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<sub>pf</sub> < 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 parcelles nues, la réorganisation superficielle du sol après les pluies artificielles est différente du comportement battant des sols tropicaux sableux et limoneux : pas d'encroûtement lisse en surface, mais présence d'agrégats émoussés reposant sur une croûte interne et continue formée par le dépôt des particules fines désagrégées (photo 1b).

#### 3.5. Les hydrogrammes et les paramètres hydrodynamiques des pluies simulées

Les hydrogrammes de ruissellement reflètent le comportement spécifique des traitements testés, avec la distinction entre parcelles très filtrantes (systèmes paillés) et celles qui ruissellent beaucoup (figure 2).

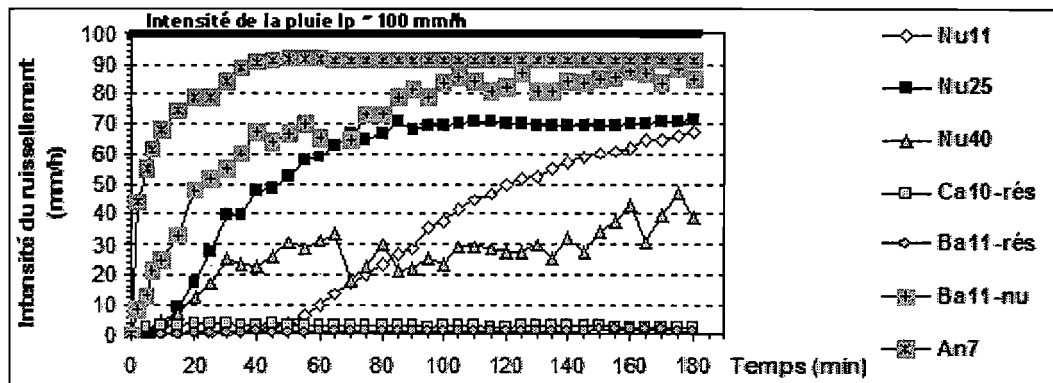


Figure 2. Hydrogrammes moyens du ruissellement issus des traitements testés sous pluies simulées.

Ces comportements sous pluies très intenses simulées sont bien conformes aux résultats de ruissellement observés en parcelles d'érosion (200m<sup>2</sup>), à savoir :

- l'absence de perte en terre sur les traitements cultivés paillés bananeraie et canne à sucre (photos 2a et 2b),
- une érosion hydrique favorisée par les 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 augmente : une érosion hydrique en nappe sur les pentes de <12%, combinée à une érosion linéaire pour des pentes <25% et à une érosion hydrique par coulée boueuse sur les pentes de 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)	Fu (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	8,11
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 les traitements paillés, très couverts et très rugueux, et une infiltration totale comme dans d'autres études référencées (Mannering *et al.*, 1966 ; Roose, 1977 ; Helming *et al.*, 1998),
- l'effet des sillons concentrant et évacuant le ruissellement, vecteur de la forte érosion est bien souligné dans des études expérimentales sur andosols et ferrisols (Roose et Asseline, 1978 ; El-Swaify *et al.*, 1982 ; Winchester 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 ; Roose, 1977 ; Poesen, 1986 ; Valentin, 1989 ; Roose *et al.*, 1993 ; Janeau *et al.*, 2003 ; Sabir *et al.*, 2004).

Parmi les paramètres de ruissellement, les 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 à l'infiltration permanente  $F_n$ , obtenus après 60 minutes de pluie sur des sols sableux tropicaux cultivés ou sur des sols limoneux tempérés (Roose et Asseline, 1978 ; Casenave et Valentin, 1989 ; Le Bissonnais *et al.*, 1989).

### 3.6. Quelques relations remarquables sous pluies simulées

Les corrélations significatives établies 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 de 200 m<sup>2</sup> sous pluies naturelles et en micro-parcelles 1 m<sup>2</sup> 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 de 1 m<sup>2</sup> utilisées pour les simulations de pluies ne présentent pas d'exutoire aval lisse, mais une tôle perforée et pouvant piéger les sédiments entraînés par le ruissellement (voir photo1b).

## 4. Conclusion

Sur les nitisols volcaniques cultivés en Martinique, l'érosion peut être sévère si le sol n'est pas totalement couvert. Bien que ces sols volcaniques aient des agrégats très stables à l'eau, ils sont emportés par le ruissellement dès que les sols cultivés sont dénudés sur fortes pentes.

Les résultats de cette étude montrent cependant qu'il est possible de développer des cultures industrielles intensives sur des pentes dépassant 40 %, à condition de respecter une technique antiérosive très simple, à savoir de recouvrir le sol complètement, ou, en absence d'une quantité suffisante de paillage, en étalant les résidus de culture en bandes perpendiculaires à la pente. Ces deux techniques permettent d'augmenter suffisamment la capacité d'infiltration des sols et de ralentir la vitesse et l'énergie du ruissellement. Cette pratique très simple de déposer les feuilles des bananiers, de cannes à sucre ou les plants broyés des ananas en bandes isohypses peut être facilement acceptée par les petits producteurs : elle suffit à maîtriser la circulation des eaux de surface dans cet environnement de collines.

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 ou Nitisols) et de déterminer les facteurs explicatifs intervenant dans l'installation du ruissellement lors des pluies cycloniques, principal vecteur de l'érosion hydrique des collines en Martinique. Dans les productions végétales intensives (bananeraie, ananas 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 valorisation des résidus de cultures pour améliorer les propriétés hydrodynamiques de ces sols bruns tropicaux très argileux.

## BIBLIOGRAPHIE

- Asseline J., Valentin C., 1978 – Construction et mise au point d'un infiltromètre à aspersion. *Cahiers ORSTOM Hydrologie*, 15, 4 : 321-347.
- Cabidoche Y.M., 1999. Conservation des milieux insulaires volcaniques tropicaux et bonnes pratiques agricoles. Cinquantenaire de l'INRA aux Antilles. Table ronde de l'Agriculture raisonnée : 1-11.
- 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 ORSTOM sér. Pédologie* : 91-121.



- Dorel M., Lafforgue A., Bretaud P. et Le Breton M., 1996.** Etude de la contamination des eaux de ruissellement par les pesticides utilisés en bananeraie. Projet CORDET 93DA14, rapport Cirad-Orstom Guadeloupe, 28 p.
- 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.
- Godefroy J. et Dormoy M., 1989.** Dynamique des éléments minéraux fertilisants dans le complexe sol-banane-climat. Cas d'es sols bruns à halloysite. *Fruits*, 44 : 3-12.
- Helming K., Römken M.J., 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 : 206-215.
- Khamsouk B., 2001.** Impact de la culture bananière sur l'environnement. Influence sur l'érosion, le bilan hydrique et les pertes en nutriments sur un sol volcanique en Martinique (cas d'un sol brun rouille à halloysite). Thèse d'Etat, ENSAM. Montpellier, France, 214 p.
- 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 p.
- 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 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. *Cahier 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 Science 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". F. Callebaut, D. Gabriels and M. De Boodt, eds, Flanders Research Centre for Soil Erosion and Soil Conservation, Belgium, 354-362.
- Rishirumuhirwa T., 1997.** Rôle du bananier dans le fonctionnement des exploitations agricoles dans les hauts plateaux de l'Afrique orientale. Thèse doctorat de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 320 p.
- Roose E., 1977.** Erosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest. Vingt années de mesure en petites parcelles expérimentales. Travaux et documents de l'ORSTOM, Paris, n°78, 108 p.
- 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. *Cahier ORSTOM série Pédologie*, 16, 1 : 43-72.
- Roose E., 1981.** Dynamique actuelle des sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique occidentale. Orstom Paris, Collection Travaux et Documents 130, 587 p.
- 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 intensification de la production agricole par la GCES. Synthèse des campagnes 1984-1995 sur un réseau de 50 parcelles d'érosion. *Cah. ORSTOM Pédologie*, 28, 2 : 289-308.
- Roose E., 1994.** Introduction à la gestion conservatoire de l'eau et des sols (GCES). *Bull. des sols FAO*, 70, 422 p.
- Roose E., 1996.** Méthodes de mesures de l'état de surface du sol, de la rugosité et des autres caractéristiques qui peuvent aider au diagnostic de terrain des risques de ruissellement et d'érosion sur les versants des montagnes. *Bull ; Réseau Erosion Orstom Montpellier*, 16 : 87-97.
- Roose E., Khamsouk B., Lasoudière A., Dorel M., 1999.** Origine du ruissellement et de l'érosion sur sols bruns à halloysite de Martinique : observations sous bananeraie. *Bull. Erosion Orstom*, 19 : 139-147.
- Sabir M., Barthès B., Roose E., 2004** – Recherche d'indicateurs de ruissellement et d'érosion sur les principaux sols des montagnes méditerranéennes du Rif occidental (Maroc), *Sécheresse*, 15, 1 : 105-110.
- Valentin C., 1989** – Surface crusting, runoff and erosion on steep lands 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., 1989** – Erosion problems and research in Hawai., *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 p.

**Restauration de la productivité  
des sols tropicaux et méditerranéens**

**Contribution à l'agroécologie**

Version préliminaire



**Eric ROOSE**  
Editeur scientifique

**IRD Editions**  
INSTITUT DE RECHERCHE POUR LE DEVELOPPEMENT  
MONTPELLIER, JUILLET 2015