

# ORIGINE DU RUISSELLEMENT ET DE L'ÉROSION SUR SOLS BRUNS A HALLOYSITE DE MARTINIQUE. PREMIERES OBSERVATIONS SOUS BANANIERES

par

Roose E. \*, Khamsouk B. \*\*, Lassoudière A. \*\* et M. Dorel \*\*

\* IRD-ORSTOM, BP 5042, 34042 Montpellier, France. Fax : (33) 467. 41 62.94

\*\* CIRAD-FLHOR, BP 153, 97202 Fort de France, Martinique. Fax : (0596) 63.07.24

---

## RESUME.

Erosion et environnement sont des sujets sensibles aux Antilles. Les rivières torrentielles qui dévalent les montagnes volcaniques provoquent des crues spectaculaires et leurs eaux brunâtres traversent les plantations, envasent les anses maritimes et polluent les côtes touristiques. Cependant, quand on parcourt les bananeraies qui couvrent les mornes de Martinique, les indices d'érosion ne sont pas nombreux : on observe des zones de tassement de la surface du sol, quelques rigoles sur les pentes de plus de 20%, de profondes ravines qui drainent les flancs des collines, mais aucune croûte de battance. Localement, le long des routes et des torrents, on aperçoit des glissements de terrain sur des pentes très raides (>50%). Sur les terres travaillées fréquemment, on peut observer des talus (hauteur dépassant un mètre en une dizaine d'années), conséquences de l'érosion mécanique sèche provoquée par les outils de travail du sol. Les pluies se répartissent de façon très hétérogène sous bananeraie ; on a observé une zone de concentration des eaux le long des faux troncs et sur le glacis dénudé autours des souches (où sont concentrés les engrais et nématicides), puis une zone protégée par la canopée en forme de parapluie et enfin, une zone pilonnée par de grosses gouttes qui se concentrent au bout des feuilles, découpent des agrégats et creusent des petites dépressions. Au-delà de 15% de pente, on observe quelques griffes d'érosion qui concentrent les eaux de ruissellement dans l'interrang, mais les vieilles feuilles et autres résidus de culture ralentissent les eaux de surface et limitent très efficacement l'érosion linéaire.

L'étude (par la méthode des points quadrats) des états de surface du sol sous bananeraie établie a montré que la canopée couvre 64% de la surface, les souches et glacis peu perméables occupent 18%. Au niveau du sol, la litière couvre 70%, les adventices 1%, les mousses 8% : il ne reste que 21% de surface nue. Les zones compactes (quoique fissurées en saison sèche) occupent 54% et les zones grenues (perméables et bien structurées) 46%. Le sol étant jonché de litière, les eaux de ruissellement qui débordent des flaques sont peu chargées : les flux sont lents et peu capables de déplacer les agrégats issus de la battance sur ces sols argileux (70%) bien structurés (très acides). Les sols bruns à halloysite sont très poreux ( $d_{app} = 0.8$  à  $1.2$ ) et très résistants à la battance, mais sensibles au ravinement et aux glissements de terrain. Des mesures d'infiltration au monocylindre sous la bananeraie établie de la station CIRAD de Rivière Lézarde, ont montré une forte variabilité de la capacité d'infiltration de l'horizon de surface : > 500 mm/h dans les "pièges biologiques" (vieilles souches et racines) et aux passages de la dent sous-soleuse, 50 à 150 mm/h dans les zones grenues et sur les croûtes tassées fissurées, de 30 à 5 mm/h dans les zones tassées non fissurées humides. La capacité d'infiltration reste bonne (30 à 130 mm/h) dans l'horizon jaune tassé argileux à concrétions manganiques observé vers 60 cm.

La lutte antiérosive pourrait s'organiser à partir de la couverture du sol (orientation des résidus de cultures, gestion des adventices, plantes de couverture au moment de la plantation, rotation avec la canne à sucre), de la gestion des eaux de surface (augmenter la rugosité du terrain, réduire la longueur des pentes par des lignes de résidus, bandes enherbées ou haies vives et pistes empierrées en contre pente, pas de fossés), de la limitation du tassement du sol (réduction du travail du sol et des passages des ouvriers) et du drainage souterrain des bas de pente.

**Mots clés :** Martinique, bananeraies, sols bruns à halloysite, processus d'érosion, états de surface, capacité d'infiltration, canopée, compaction.

## **Abstract**

Martinique island is susceptible to erosion, pollution of waters, sedimentation in the tourist sea sides. To produce more properly bananas, pineapple and sugarcane without pollution, a research program has been developed to evaluate the efficiency of their rotation in space and time. Ten runoff plots and five lysimeters have been set up to evaluate the risks of erosion, runoff and leaching of fertilisers in banana/sugarcane/pineapple plantations submitted to conventional hard tillage practices or reduced tillage with litter of crops residues.

Observations and five months measurement data are presented. As long as the topsoil is protected by a litter, runoff and erosion remained very low. On bare fallow, runoff and erosion do not increase regularly with the slope : the processes are changing from sheet erosion to rill erosion on 25% slope and mass movement on > 40% slope. The soil is so stable that the sediment remains aggregated as in the initial topsoil. There is no selective erosion of clay and loam. Fighting erosion could be organised by the management of litter, weeds and reducing cultural practices and by dispersing the runoff energy.

**Key-words** : Martinique, Runoff, Erosion, Cultural practices, Slope steepness, Bananas, Pineapple, Sugarcane.

## **1. PROBLEMATIQUE**

Au centre de la Martinique, la population est très dense (450 hab/km<sup>2</sup>) de telle sorte qu'en dehors des versants les plus raides (couverts de forêts et de parcours), toutes les collines sont occupées par des cultures de bananes, de cannes à sucre (rhum) et d'ananas (en majorité destinés à l'exportation), ainsi que diverses cultures vivrières. Mais avec les salaires de France, le prix de revient des denrées d'exportation est largement supérieur à celui du marché mondial, en particulier pour la banane. La communauté européenne qui préfère payer des subsides pour garder les ouvriers au travail plutôt que de leur payer des allocations de chômage pour ne rien faire, se voit attaquée par les gros producteurs américains qui souhaiteraient récupérer cette part du marché. Face à "cette guerre de la banane", on recherche un moyen de justifier le maintien de prix préférentiels pour produire des "bananes propres", qui utilisent moins de pesticides/nématicides (en particulier grâce à des rotations avec des cultures de cannes et ananas), dégradent moins les sols par l'érosion et polluent moins les eaux de surface.

Le CIRAD et l'IRD ont unis leurs efforts pour développer un projet de recherche sur l'influence environnementale des cultures de banane et d'ananas. Il comprend deux volets : l'un cherche à évaluer l'importance des rejets de C, N, P, K et de pesticides par ces cultures et de mettre au point des systèmes de culture bananière moins consommateurs d'énergie et de polluants. L'autre volet cherche à définir l'origine et les facteurs du ruissellement et de l'érosion (pas de croûte, mais des zones tassées), ainsi que le bilan du carbone dans des systèmes agro-écologiques (séquestration du carbone et réduction des gaz à effets de serre). Dans cet article, la problématique a été définie en tenant compte des premières observations et des mesures de terrain durant les cinq premiers mois de la campagne 1999.

## 2. LE MILIEU

L'île de la Martinique est formée d'une série de volcans d'âge décroissant du sud (collines et zones basses couvertes de vertisols calco-magnésiens fragiles) vers le nord de plus en plus montagneux et découpé de profondes ravines torrentielles (sols volcaniques sur cendres et ponces très perméables) (Colmet-Daage et Lagache, 1965).

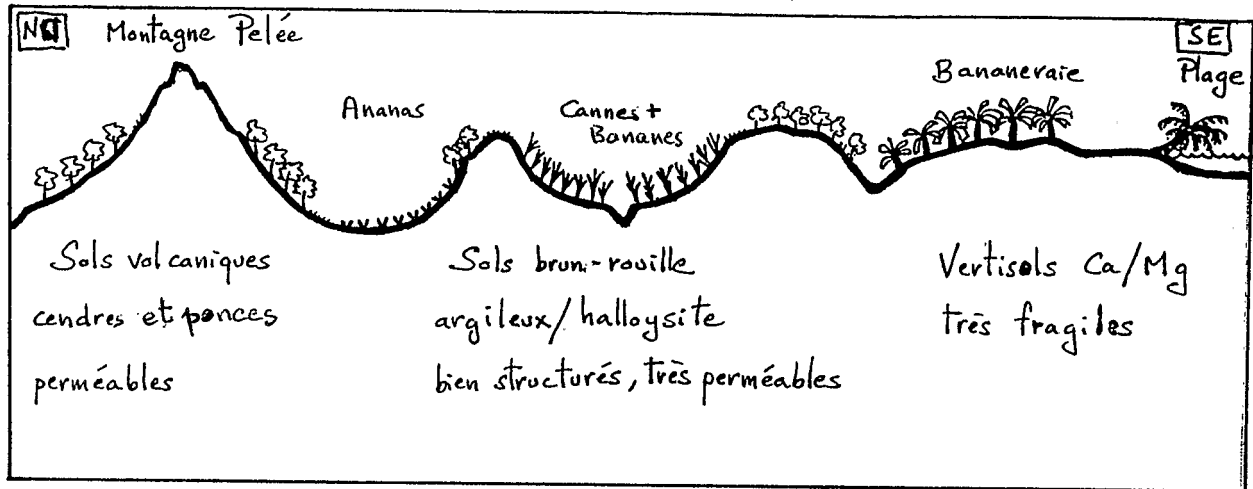


Figure 1. Coupe schématique NO-SE des paysages de la Martinique.

L'habitation de Rivière Lézarde (station Cirad-Flhor) est située à 25 km à l'ouest de Fort de France (latitude  $14^{\circ}40'$  N, longitude  $61^{\circ}$  W et 38 à 110 m d'altitude). Les précipitations annuelles varient de 2000 à 2500 mm réparties en deux saisons, de juin à décembre une saison humide au cours de laquelle on peut observer des pluies cycloniques pouvant dépasser 500 mm en quelques jours, puis une saison relativement sèche ( $< 100$  mm/mois) et chaude. L'évapotranspiration potentielle varie de 110 à 150 mm/mois (soit 1600 mm/an). Des sols brun-rouille à halloysite (nitosol selon la classification FAO), profonds de 0.5 à 2 m, recouvrent des paysages vigoureusement ondulés (figure 2). Ils sont issus de l'altération d'une série d'épandages de cendres et ponces, mélangées à des boules de roches altérées (bombes) dégagées par l'érosion sur les versants pentus (10 à  $< 40\%$ ) et dans les lits des rivières. On y observe des ravines torrentielles profondes et boisées, quelques glissements de terrain et du creeping sur les versants les plus pentus, quelques griffes d'érosion évoluant en rigoles dès que la pente dépasse 20%.

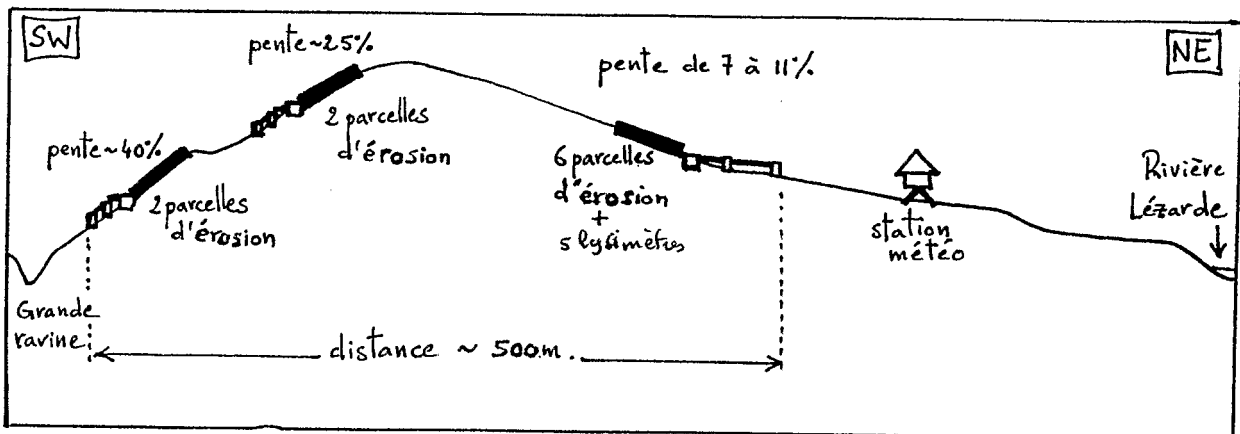


Figure 2. Position des parcelles d'érosion dans le paysage de la station de Rivière Lézarde.

La canopée des bananiers dépasse 2 à 5 mètres de haut et couvre 64% du sol. La litière recouvre 70%. La surface du sol d'une bananeraie établie est donc bien protégée de l'énergie des gouttes de pluie et du ruissellement.

Le sol de la parcelle Ponterre est très poreux : la densité apparente sèche augmente de 0.8 en surface à 1.2 vers 60 cm. L'horizon humifère est très argileux (70%), pauvre en limons (14%) et sables (16%), riche en carbone (C = 2.9%) et pauvre en azote (C/N = 17). Le pH est très acide (4.9) et les bases bien équilibrées. La CEC est voisine de 13 meq/100 g de terre fine (Lassoudière, communication personnelle 1999). Le sol est carencé en phosphore assimilable. Les racines des bananiers exploitent 60 cm, les cannes plus d'un mètre et les ananas seulement 40 cm. Un lit de concrétions de manganèse recouvre le deuxième horizon (vers 60 cm) sans qu'il soit possible de mettre en évidence des traces d'hydromorphie. Avant la plantation, le sol est sous-solé jusqu'à 60 cm et il n'est pas rare d'observer après les plus grosses averses des suintements dans les fossés de drainage au débouché des zones sous-solées.

### 3. LES METHODES

La dynamique de l'eau, l'évolution de l'horizon superficiel et les transports solubles et solides sont mesurés à différentes échelles de temps (jour, mois, année) et d'espace (agrégats au laboratoire, 1 m<sup>2</sup> sous pluies simulées, 100 à 200 m<sup>2</sup> sous pluies naturelles).

**3.1. Les pluies naturelles :** les intensités en 6 minutes et les hauteurs de pluie sont mesurées dans un pluviographe et deux pluviomètres à lecture directe répartis sur les trois blocs (données de METEOFRACTANCE).

**3.2. Les états de la surface du sol** sont estimés mensuellement à partir des observations de 200 points répartis sur les diagonales des parcelles d'érosion. On distingue la surface couverte (canopée, litière, adventices, lichens, cailloux) en %, la surface fermée (croûtes de battance, semelle compacte peu poreuse, pierres), l'humidité préalable ou mieux le déficit de saturation sur 10 cm, la rugosité (à la chaînette) et le tassement (au pénétromètre de poche).

**3.3. Les paramètres de la dynamique de l'eau du sol :** densité apparente et porosité sont mesurées sur des cylindres d'un litre, la capacité d'infiltration sur des monocylindres de 10 cm de diamètre (Roose et al., 1993). L'évolution de l'humidité du sol vers 30 cm est suivie à l'aide de trois à six tensiomètres par parcelle.

**3.4. Une simulation des averses cycloniques sur 1 m<sup>2</sup> à l'aide du simulateur de pluies de l'IRD** (Asseline et Valentin, 1980). Des pluies de 100 mm/h sont simulées pendant trois à quatre heures jusqu'à atteindre la pluie d'imbibition (Pi = hauteur limite de pluie avant ruissellement) et le taux d'infiltration stabilisé (~ l'infiltration à saturation). Ces simulations devraient permettre d'évaluer le rôle des états de surface et/ou de la saturation du profil sur la naissance du ruissellement.

**3.5. Dix parcelles d'érosion :** elles sont composées d'une parcelle isolée (tôles fichées de 20 cm dans le sol) de 100 à 200 m<sup>2</sup>, d'un canal de réception et d'une première cuve de 1 m<sup>3</sup> et de deux fûts de 200 litres reliés par des partiteurs à 17 et 23 tubes. Ce dispositif permet de mesurer très précisément l'érosion et le ruissellement des pluies ordinaires de 60 mm et

d'estimer avec une précision acceptable le ruissellement des grosses averses de fréquence annuelle (120 mm) et des cyclones (jusqu'à 400 mm pendant trois jours).

Les parcelles sont réparties sur trois blocs :

- \* pente de 7 à 12 %, jachère nue, cannes, 2 bananeraies et 2 ananas (billons ou à plat + litière),
- \* pente 25%, jachère nue et cannes à sucre en lignes perpendiculaires à la pente,
- \* pente de 40%, jachère nue (labourée en février, puis sarclo-binée deux fois) et cannes.

Pour chaque culture sont comparés les systèmes de culture mécanisés lourds (rome plow + bêchage + affinage) aux systèmes de travail réduit à la ligne de plantation avec résidus de culture laissés en surface et adventices grillées sur place aux herbicides.

**3.6. Cinq lysimètres coniques** ont été posés dans un tunnel avec mèche à succion : un tube conduit le drainage dans un fût plastique de 100 litres stockant le drainage naturel sous bananeraie. Un tuyau rigide plongeant dans le fût de stockage permet le pompage du drainage depuis la surface: celui-ci est relevé chaque semaine (Roose & Henry des Tureaux, 1970).

## 4. LES RESULTATS

**4.1. La rivière Lézarde** monte en crue environ 30 minutes après une bonne averse : il s'agit donc de ruissellement qui naît à proximité des fonds de vallée humides.

### 4.2. Sous les bananiers de la station de Rivière Lézarde

\* La hauteur de pluie nécessaire pour déclencher le ruissellement ( $P_i$ ) varie de 30 à 60 mm en fonction de l'humidité préalable du sol et de l'intensité des pluies.

\* La canopée du bananier distribue la pluie au sol de façon très hétérogène

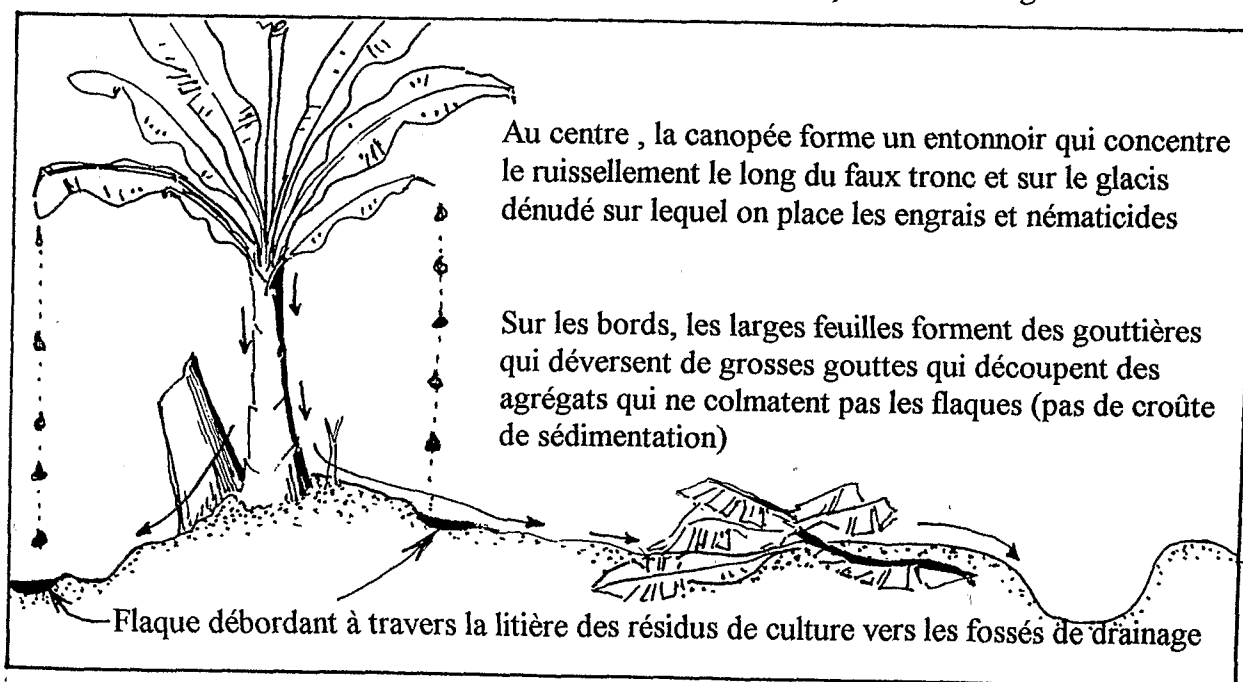


Figure 3. Redistribution des pluies sous la bananeraie.

### 4.3. Etats de surface sous bananeraie.

La canopée haute de 2 à 5 m couvre 64% de la surface et les souches et glaucis peu perméables occupent 18%. Au niveau du sol, la litière couvre 70%, les mousses 8% et les

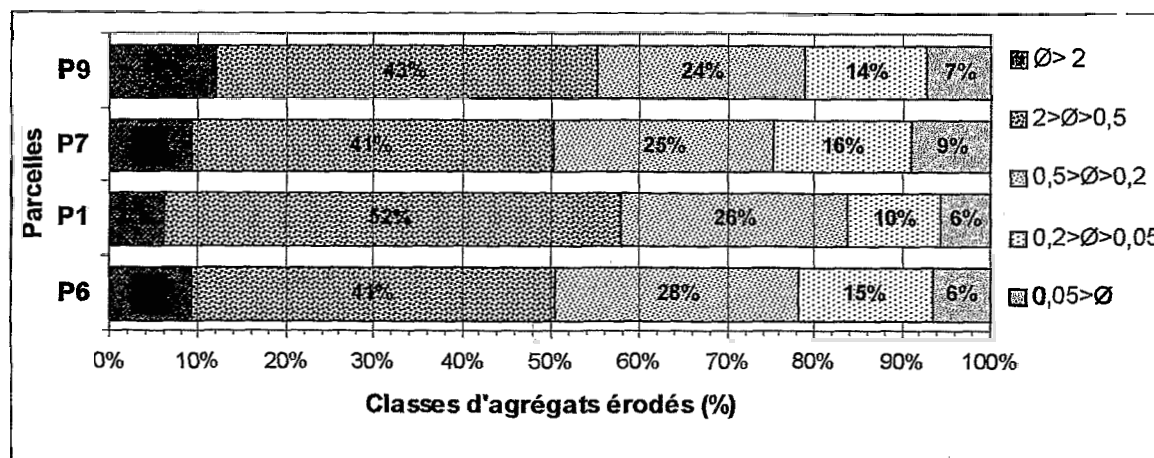
adventices 1%. Il ne reste que 21% de surface nue. Les zones compactes occupent 54%, le reste se présente comme des zones grenues perméables et bien structurées.

#### 4.4. Ruissellement et érosion durant les cinq premiers mois de la campagne 1999.

**Tableau 1. Erosion (t/ha/5 mois), ruissellement moyen (Kram en % des pluies) et ruissellement maximal (KRMax en % des plus fortes averses en 24 heures). Les précipitations en cinq mois furent nettement déficitaires (P=937 mm)**

Traitements	pentes %	Ruissellement		Perte en terre t/ha/5mois
		Kram %	KrMax %	
- Nu et labouré	11%	1.9	15	5.6
- Nu et labouré	25%	1.8	19	65.9
- Nu et labouré	40%	1.6	16	74.8
- Cannes/litière	11%	0.01	0.1	0
- Cannes/ "	25%	0.06	0.5	0.03
- Cannes/ "	40%	0.01	0.01	0
- Bananeraie établie	10%	0.3	2.8	0.04
- Bananeraie "	9%	0.1	1.4	0.03
- Ananas plat/litière	9%	0.01	0	0
- Ananas sur billons	7%	19.6	46.3	12.3

#### 4.5. Texture des sédiments érodés



**Figure 4. Répartition des classes d'agrégats dans les sédiments après tamisage sous l'eau (d'après Khamsouk, 1999).**

#### 4.6. Observations complémentaires.

Sur les sols de plus de 20% de pente, on a observé des coulées boueuses et des griffes évoluant en rigoles.

Sur la parcelle « ananas billonnés » dégradée par un travail du sol très lourd, les pluies ont provoqué la fonte des billons et l'augmentation des transports solides par le ruissellement concentré dans les sillons.

### 5. DISCUSSION

#### 5.1. Le ruissellement

Durant ces pluies de moins de 70 mm /jour, le ruissellement est resté très réduit, sauf sur sol nu et ananas billonnés. Comme 50 % de la surface du sol sous bananier sont tassés par le passage fréquent des ouvriers (25 fois/an), l'eau circule en nappe à partir des faux troncs, pénètre dans les vieilles souches pourries, est piégée dans les petites mares creusées en bordure de la canopée, puis déborde mais reste claire en s'infiltrant à travers les litières de feuilles et faux troncs en décomposition. Nous n'avons pas observé de croûte de battance ou de sédimentation sous bananier.

En Côte d'Ivoire, sous bananeraie sur un sol ferrallitique jaune sur schistes, Godefroy et Roose (1970) ont mesuré un ruissellement de l'ordre de 3 à 5%. Les litières des bananeraies et cannes se sont avérées très efficaces pour absorber l'énergie de la pluie et du ruissellement (les adventices aussi d'ailleurs). Les eaux de ruissellement sont restées claires et les suspensions ne représentent qu'une très faible proportion de l'érosion totale (souvent moins de 1%). Par conséquent, la structure du sol est restée très stable toute l'année.

Sous ananas billonné, le sillon étant exposé aux pluies et tassés à l'origine par les outils, puis par le passage des ouvriers, le ruissellement a été plus important que sur sol nu, travaillé puis sarclé chimiquement. Lors des plus fortes averses, le ruissellement a dépassé 20 à 46% : on peut en conclure que les risques d'érosion linéaire sont réels lorsque le ruissellement s'accumule sur un versant plus long que les parcelles de mesure (20 m).

L'influence de la pente (%) n'est pas nette ni sur sol nu, ni sous cannes à sucre : il semble que le bloc de 25% de pente ruisselle plus que les deux autres du fait de la présence de rochers et cailloux à faible profondeur.

#### 5.2. L'érosion

Les pertes en terre sont négligeables dès lors que la surface du sol est couverte de litière, que ce soit sous bananiers, cannes ou ananas. Sous ananas billonné, sans litière, l'érosion dépasse la tolérance (Erosion = 1 à 12 t/ha/an) dès le 5ème mois. Par ailleurs, on a noté que la couverture du sol par le feuillage des ananas réduit nettement les risques d'érosion à partir de cette période. La préparation brutale du sol de la parcelle d'ananas billonnés a aussi favorisé l'érosion.

Sur sol nu, l'érosion augmente rapidement avec la pente ( $E = 6 \Rightarrow 66 \Rightarrow 75$  t/ha/5mois pour des pentes de 7, 25 et 40%). Il n'en va pas de même sous la canne : la litière et les tiges couchées par le vent (en août) protègent très bien le sol.

Sur la pente de 25% apparaît un réseau de griffes et de rigoles d'érosion hydrique classiques. Mais sur les parcelles de 40%, l'érosion est forte tandis que le ruissellement diminue jusqu'à un seuil de pente où l'énergie du ruissellement linéaire s'efface devant un autre processus, le creeping et diverses formes de glissement dues à l'humectation de la couche superficielle des sols travaillés.

L'analyse texturale des sédiments sans dispersant (Khamsouk, 1999) a aussi démontré que l'érosion n'est pas sélective vis-à-vis des argiles, limons et matières organiques comme sur les sols ferrallitiques d'Afrique (Roose, 1976). Si l'énergie des pluies est partout semblable, l'énergie du ruissellement augmente beaucoup avec la pente.

## 6. CONCLUSIONS

### 6.1. Ces premiers résultats montrent l'existence d'un fonctionnement hydrique original.

Les eaux de pluie sont concentrées par le feuillage le long des faux troncs des bananiers. Elles s'écoulent en nappe sur le glacis qu'ils protègent avant d'être piégées dans les rugosités du terrain et en particulier les cuvettes creusées par les grosses gouttes qui s'accumulent à l'extrémité des feuilles. Comme les sols sont très stables et couverts de litière, il n'y a que très peu de matière en suspension dans les eaux de ruissellement : par conséquent, il ne se forme pas de croûte de battance comme dans les sols instables.

On n'observe d'engorgement hydrique qu'au niveau des altérites, sur les pistes et fossés, ainsi qu'au fond des vallons. Ce sont ces zones facilement engorgées qui provoquent la formation des crues des rivières après un temps de réponse relativement court (~ 30 minutes, comme dans les systèmes torrentiels méditerranéens).

**6.2. Ces sols argileux très bien agrégés sont très stables et peu érodibles** par la battance ; par contre si le ruissellement se concentre, il est capable d'arracher les agrégats sans les détruire. On a pu observer dans les champs d'ananas billonnés que ces sols sont sensibles à l'érosion linéaire. Sur des pentes de plus de 40%, on a observé du creeping sous bananier (amoncellement de terre à l'amont des souches).

**6.3. La lutte antiérosive peut s'organiser en pratique par la couverture du sol :** par l'aménagement des litières de résidus de culture (abondants sous bananiers, ananas et cannes non brûlées), par l'apport de bagasse de canne à sucre, par la gestion des adventices (herbicides) au moment délicat de la plantation et par la rotation dans le temps et dans l'espace des bananiers, cannes et ananas.

Pour maîtriser l'énergie du ruissellement sur les versants parfois très raides, il vaut mieux éviter les fossés, canaux et autres banquettes qui risquent de déborder et de provoquer du ravinement. Mieux vaut étaler les eaux excédentaires plutôt que de les concentrer dans des canaux. En préservant la rugosité de la surface du sol (litière ou labour grossier) et en organisant des structures perméables (talus enherbés, haies vives, cordons de pierres, etc), l'énergie du ruissellement peut être dissipée et les eaux de surface peuvent rejoindre sans danger les drains naturels des vallées.

Les vers de terre améliorent très sérieusement la capacité d'infiltration des sols où ils creusent leurs galeries : en introduisant les rotations de culture, en maintenant la litière et en réduisant la fréquence des labours et l'usage de pesticides et d'herbicides, les activités bénéfiques de la mésofaune pourraient être mieux respectées.

Enfin, il devrait être possible de limiter le tassement de la surface du sol en réduisant le nombre de passage des ouvriers sur les parcelles.



## BIBLIOGRAPHIE

- ASSELIN J. et VALENTIN C. , (1979) . Le simulateur de pluies de l'ORSTOM.  
Cahier Hydrologique de l'ORSTOM., Paris, 4 : 321-347.
- COLMET-DAAGE F. et LAGACHE P., (1965). Caractéristiques de quelques groupes de sols  
dérivés de roches volcaniques aux Antilles Françaises. Trav. et doc. ORSTOM, 121 p.
- GODEFROY J., MULLER M. et E. ROOSE, (1975). Estimation des pertes par lixiviation des  
éléments fertilisants dans un sol de bananeraie de Basse Côte d'Ivoire.  
Fruits, 30, 4 : 223-235.
- HARTMANN C., BLANCHART E., ALBRECHT A, BONNETON A., PARFAIT F.,  
MAHIEU M., GAULLIER C., J.F.NDANDOU, (1998). Nouvelles techniques de  
préparation des vertisols en culture maraîchère à la Martinique.  
Incidences pédologiques et agro-économiques.  
Agricultures et développement, Cirad, Montpellier, 18 : 81-89.
- KHAMSOUK B., (1999). Impact de la culture bananière sur l'environnement : influence des  
systèmes de cultures sur l'érosion, le bilan hydrique et les pertes en nutriments dans les  
eaux de surfaces en Martinique. CIRAD-FLHOR, 73 p.
- KHAMSOUK B., DOREL M, E. BLANCHART et E. ROOSE, (2000). Erosion et stabilité  
structurale d'un sol brun à halloysite de Martinique.  
Bull.Réseau Erosion n° 19, sous presse.
- ROOSE E. et HENRY des TUREAUX P., (1970). Deux méthodes de mesure du drainage  
vertical dans des sols en place.  
Agron. Tropicale, CIRAD Montpellier, 25, 12 : 1079-1087.
- ROOSE E., (1976). Vingt années de mesure de l'érosion et du ruissellement sur petites  
parcelles. Travaux et doc. ORSTOM , Paris N° 70, 105 p.
- ROOSE E., BLANCANEAU Ph. et FREITAS P., (1993). Un simple test de terrain pour  
évaluer la capacité d'infiltration et le comportement hydrodynamique des horizons  
pédologiques : méthode et exemples. Cah.ORSTOM Pédol. , Paris, 28, 2 : 413-420.
- ROOSE E., (1994). Introduction à la gestion de l'eau, des MO et de la fertilité du sol.  
Bulletin FAO Pédologique n° 70, 420 p.