

**ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'AGRONOMIE DE MONTPELLIER
- ECOLE DOCTORALE BIOLOGIE INTEGRATIVE -
U.F.R. DE SCIENCE DU SOL**

THESE

pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE L'E.N.S.A. MONTPELLIER

Discipline : Science du sol

présentation et soutenance prévues

par

Bounmanh KHAMSOUK

le 28 juin 2001

Titre :

**IMPACT DE LA CULTURE BANANIÈRE SUR L'ENVIRONNEMENT.
INFLUENCE DES SYSTEMES DE CULTURES BANANIÈRES SUR
L'ÉROSION, LE BILAN HYDRIQUE ET LES PERTES EN NUTRI-
MENTS SUR UN SOL VOLCANIQUE EN MARTINIQUE
(CAS DU SOL BRUN ROUILLE A HALLOYSITE).**

Directeur de thèse :

Dr. Eric ROOSE (IRD Montpellier)

Jury

**Prof. Jean-Claude REVEL (*ENSA Toulouse*) (rapporteur)
Dr. Christian VALENTIN (*IRD*) (rapporteur)**

**Dr. Marc DOREL (*CIRAD-FLHOR Guadeloupe*)
Prof. Jean-Claude REMY (*ENSA Montpellier*)
Dr. Marc VOLTZ (*INRA Montpellier*)
Dr. Eric MALEZIEUX (*CIRAD Montpellier*)
Dr. Yves LE BISSONNAIS (*INRA Orléans*)**

*A Yasmine,
A mes parents,
A ma famille,
Je leur dédie mon travail.*

REMERCIEMENTS

Je remercie Eric ROOSE, mon directeur de thèse, qui m'a aidé et encouragé dans ce long travail. Je lui suis reconnaissant de m'accorder son amitié.

Je remercie Marc DOREL agro-pédologue du CIRAD-FLHOR et un des initiateurs actifs de ce projet, et sans qui je n'aurais pas pu découvrir la Martinique.

Je souhaiterais remercier messieurs Jean-Claude REVEL (ENSA de Toulouse) et Christian VALENTIN (IRD) d'avoir accepté d'être mes rapporteurs.

Merci aussi aux membres du jury pour leur intérêt et leur participation à ma soutenance : messieurs Jean-Claude REMY (ENSA de Montpellier), Marc VOLTZ (INRA de Montpellier), Eric MALEZIEUX (CIRAD de Montpellier) et Yves LE BISSONNAIS (INRA d'Orléans).

Je remercie messieurs Philippe MELIN et Georges-Henri SALA, représentants respectifs du CIRAD-FLHOR de Martinique et de l'IRD Martinique – Caraïbes de m'avoir accueilli en Martinique et de m'avoir fait confiance durant les deux ans d'études.

Je veux remercier également toutes les personnes du CIRAD-FLHOR et de l'IRD de Martinique qui ont participé et aidé à l'élaboration de cette étude.

Je remercie aussi Messieurs Hugues TEZENAS de MONTCEL, Jacky GANRY et Frédéric BAKRY, chefs et responsables du programme "Banane" d'avoir contribué au bon déroulement de la thèse.

Merci à Eric Blanchart pour son accueil au laboratoire "Biologie et Organisation des Sols Tropicaux" (B.O.S.T.) de l'IRD Martinique – Caraïbes. J'y ai trouvé de la sympathie et de la disponibilité auprès de ceux qui m'ont apporté leur aide.

Je remercie beaucoup Daniel FORTUNE, à la climatologie de METEOFRANCE, de m'avoir bien aidé et fourni les données météorologiques de "Rivière Lézarde". Je le remercie pour son amabilité et sa disponibilité ainsi que sa sympathie.

Je remercie également Salah ZIANE, au CIRAD-FLHOR de Martinique, pour les compléments des données météo.

Je voudrais remercier plus particulièrement mesdames Elisabeth ROSALIE et Gilberte PLATTON au laboratoire de pédologie du CIRAD-FLHOR de Martinique, pour les analyses d'eau et de sol. C'était un travail long et rigoureux dont je leur suis très reconnaissant.

Merci aussi à messieurs Jean-José BANIDOL et Alex DELIVRY, du CIRAD-FLHOR de Martinique, pour leurs aides sur le terrain. J'ai apprécié leur travail en plus de leur sympathie.

Je remercie beaucoup Monsieur MARISAD du Centre Technique de la Canne à Sucre de Martinique pour la fourniture des cannes roseau.

Merci aussi aux personnes de l'IRD de Martinique pour leurs aides et leurs gentillesses :

Mesdames Joëlle LOURI, Joseph BOLOSIER, Maurice ADRASSE et Corinne VENKATAPEN ;

Messieurs Jean-Claude ROFALLET, Luc RANGON et Raymond TOTILA sans qui je n'aurais pas pu réaliser de simulations de pluies.

Messieurs Vincent MERCIER et Jean-Pierre PINOT, V.A.T. à l'IRD Martinique – Caraïbes pour leurs analyses de granulométrie et de taux de C organique.

Je voudrai remercier madame Cécile DUBOIS et monsieur Xavier PERRIER à la biométrie du CIRAD pour leur disponibilité et leur aide dans la méthode statistique de "segmentation".

Je n'oublie pas les ouvriers qui m'ont tant aidé durant mes 2 années passées dans la bananeraie de "Rivière Lézarde" :

Messieurs Bertrand GIRIER-DUFOURNIER et Michel DOHAM lors de la mise en place du dispositif et des cultures en 1999 ;

Messieurs Guy-André JUFRE et Patrick NILUSMAS pour le suivi quotidien de l'érosion et de l'entretien des essais en 2000.

TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES	i
RÉSUMÉS	1
CHAPITRE 1 -INTRODUCTION	3
1.1 - Contexte économique mondial.....	3
1.2 - La banane dans les Antilles françaises.....	4
1.21 - Généralités.....	4
1.22 - Problématique.....	5
1.23 - Objectifs.....	7
CHAPITRE 2 - LE MILIEU ET LA CULTURE	10
2.1 - Aperçu global du milieu : la Martinique.....	10
2.11 - Situation géographique.....	10
2.12 - Géographie et réseau hydrographique.....	10
2.13 - Climat.....	11
2.14 - Géologie.....	14
2.15 - Pédologie.....	16
2.2 - La culture de bananier.....	20
2.21 - Généralités.....	20
2.22 - Conditions de cultures, cycle de développement et besoin nutritif du bananier.....	22
2.23 - Estimation de la biomasse fraîche et des résidus d'une "bananeraie établie".....	26
2.3 - La station de "Rivière Lézarde" (RLZ en abrégé).....	30
2.31 - Localisation et généralités.....	30
2.32 - Topographie.....	30
2.33 - Climat et agressivité des pluies à RLZ.....	33
2.34 - Géologie de RLZ.....	35
2.35 - Pédologie et séquence topo-climatique de RLZ.....	38
2.36 - Description du sol brun rouille à halloysite.....	40
2.37 - Les bananeraies étudiées à RLZ.....	46
2.38 - Détermination du sol superficiel (0-10 cm) des 10 parcelles d'érosion situées sur les bananeraies PT, DM3 et DM2.....	50

CHAPITRE 3 - LES METHODES.....	53
3.1 - Erosion hydrique.....	53
3.11 - Différentes échelles de temps/d'espace.....	53
3.12 - Parcelles d'érosion.....	53
3.13 - Etat de surface.....	65
3.14 - Stabilité structurale.....	67
3.15 - Simulations de pluies.....	69
3.2 - Bilan hydrique.....	73
3.21 - Les paramètres connus pour le bilan hydrique.....	73
3.211 - La pluie (P).....	73
3.222 - Le ruissellement ou lame ruisselée (LR).....	74
3.223 - L'évapotranspiration potentielle (ETP).....	74
3.22 - Les paramètres à déterminer pour le bilan hydrique.....	74
3.221 - Le drainage (Dr) au-delà des racines de bananier (-60 cm).....	74
3.222 - La variation de stock (Var. Stock) d'eau du sol.....	79
3.23 - Conclusion sur le bilan hydrique.....	82
3.3 - Analyses chimiques.....	82
3.4 - Conclusion sur les méthodes.....	82
CHAPITRE 4 - RESULTATS.....	83
4.0 - Quelques résultats agronomiques.....	83
4.1 - Les pluies.....	91
4.2 - Le ruissellement.....	91
4.21 - Les pluies d'imbibitions (Pi sec et Pihum).....	91
4.22 - Le ruissellement (LR, Kram, Kmax).....	92
4.3 - L'érosion hydrique.....	94
4.31 - Les pertes en suspension (Susp.).....	94
4.32 - L'érosion totale et le rapport (Susp./E).....	95
4.4 - Quelques relations entre le ruissellement et l'érosion.....	97
4.5 - Les états de surfaces des parcelles d'érosion.....	100
4.6 - Un test de stabilité structurale comme indicateur de l'érosion.....	106
4.7 - Simulations de pluies.....	111
4.8 - Le bilan hydrique.....	116

4.9 - Les teneurs et pertes chimiques.....	123
4.91 - Les teneurs chimiques des eaux.....	123
4.92 - Les teneurs chimiques des sédiments.....	128
4.93 - Les pertes chimiques.....	130
CHAPITRE 5 - DISCUSSION.....	133
5.1 - Les pluies.....	133
5.2 - Le ruissellement.....	134
5.3 - L'érosion hydrique.....	137
5.4 - Caractérisation de l'érosion hydrique.....	142
5.5 - Détermination des facteurs de l'équation U.S.L.E.....	142
5.6 - Recherche de facteurs explicatifs du ruissellement et de l'érosion.....	145
5.7 - La stabilité des agrégats du sol brun à halloysite.....	149
5.8 - Les simulations de pluies.....	153
5.81 - Les hydrogrammes.....	153
5.82 - Les paramètres hydrodynamiques.....	154
5.83 - Conclusion.....	158
5.9 - Le bilan hydrique et les pertes chimiques.....	159
5.91 - Le bilan hydrique.....	159
5.92 - Les pertes chimiques.....	160
CHAPITRE 6 - APPLICATIONS PRATIQUES.....	164
6.1 - Lutte anti-érosive (L.A.E.) par la gestion des résidus de cultures.....	164
6.2 - Travail du sol.....	165
6.3 - La gestion du ruissellement/drainage.....	166
6.31 - Au niveau de la parcelle.....	166
6.32 - Au niveau du versant.....	167
CHAPITRE 7 - CONCLUSION.....	169
7.1 - Rappel de la problématique.....	169
7.2 - Rappel des résultats.....	169
7.3 - Conclusions théoriques et pratiques.....	171
7.4 - Perspectives.....	172
CHAPITRE 8 - BIBLIOGRAPHIE.....	173
Annexe 1.....	181
Annexe 2.....	182

Annexe 3.....	183
Annexe 4.....	186
Annexe 5.....	196
Annexe 6.....	198
Annexe 7.....	200
Annexe 8.....	201
Annexe 9.....	209
Annexe 10.....	218

Documents intégrés au texte :

- 8 cartes
- 74 figures
- 9 photos
- 11 schémas
- 33 tableaux

IMPACT DE LA CULTURE BANANIÈRE SUR L'ENVIRONNEMENT. INFLUENCE DES SYSTÈMES DE CULTURES SUR L'ÉROSION, LE BILAN HYDRIQUE ET LES PERTES EN NUTRIMENTS SUR UN SOL VOLCANIQUE EN MARTINIQUE (CAS DU SOL BRUN ROUILLE A HALLOYSITE).

Bounmanh KHAMSOUK

RÉSUMÉ

Pratiquée en système intensif dans les Antilles françaises, la culture bananière nécessite une abondante utilisation d'engrais et de pesticides. Localisée près des cours d'eau et près des zones d'habitation, cette monoculture intensive pourrait donc avoir des répercussions sur l'environnement dès l'instant où le milieu insulaire offre des conditions (pluviosité annuelle élevée, reliefs accidentés...) propices à une dégradation des terres cultivées (érosion hydrique) et une pollution chimique des eaux à la sortie des plantations bananières (ruissellement et drainage en profondeur). Devant les demandes de mesures en faveur de la conservation des ressources du sol et du respect de l'environnement, la mise en place d'une étude sur le terrain permettrait d'évaluer l'influence de cette monoculture intensive sur le milieu tout en répondant aux objectifs portant sur : 1) – la détermination des processus de ruissellement et d'érosion sur un sol volcanique sous climat tropical insulaire ; 2) – l'estimation des pertes chimiques par érosion et drainage.

Dans ce contexte, nous avons installé d'une part 10 parcelles expérimentales (100 à 200 m²) testant des systèmes de cultures bananières proposés par le CIRAD-FLHOR (rotation avec l'ananas ou la canne à sucre avec techniques culturales plus ou moins intensives) sur des pentes de 10%-25%-40% et soumis aux risques de ruissellement et d'érosion, d'autre part 5 lysimètres que nous avons placés sous des bananiers pour établir le bilan hydrique et évaluer les pertes chimiques par lixiviation. Durant les observations 1999 et 2000, ces 10 parcelles portaient différents traitements : le "sol nu" (Nu1, Nu7, Nu9), la "canne à sucre paillée" (Ca2, Ca8, Ca10), la "bananeraie établie" (Ba3 et Ba4), l'"ananas à plat avec pailles" (An5) et l'"ananas mécanisé et billonné" (An6). Parallèlement, nous avons effectué des tests en laboratoire (stabilité structurale) et sur le terrain (simulations de pluies) pour estimer le comportement du sol et mieux comprendre les processus de ruissellement et d'érosion.

Les résultats observés en 1999 et 2000 sont très voisins, malgré la variation de la pluviosité annuelle et ils ont permis de distinguer l'effet des traitements. Sur "sol nu", la perte en terre ($E=85$ à 165 t/ha/an) augmente avec la pente ($p=11\%$ à 40%) alors que le ruissellement diminue ($LR=184$ à 87 mm). Ces résultats montrent que le processus d'érosion non sélective change quand la pente croît, avec notamment une augmentation de la capacité de transport du ruissellement malgré une forte résistance du sol à l'érosion (indice d'érodibilité $K=0,12$ à $0,02$) et une forte stabilité des agrégats à l'eau ($MWD=1,6$ à $2,7$ mm). Sur les traitements paillés (Ca2, Ca8, Ca10 et An5), le ruissellement et l'érosion sont négligeables, même sur forte pente ($LR<31$ mm et $E<0,2$ t/ha/an). Le taux de couverture (résidus+couvert végétal+cailloux) très élevé sur ces parcelles (S.C.=80% à 100% de la surface parcellaire) s'avère très efficace pour l'infiltration et la protection du sol : il n'y a pas eu de ruissellement sous simulations de pluies cycloniques ($I_p=100$ mm/h) durant 180 minutes. En revanche, la parcelle d'ananas (An6) ruisselle fréquemment et perd beaucoup plus de terre en première année qu'en deuxième en raison de la croissance du couvert végétal ($LR=152$ à 361 mm et $E=29$ à 5 t/ha/an). Les simulations de pluies ont montré l'effet du sillon qui concentre les eaux et qui serait à l'origine de la sensibilité de cette parcelle au ruissellement et à l'érosion. Les "bananeraies établies" (Ba3 et Ba4) ont des résultats comparables ($K_{ram}=2$ à 4% et $E=0,4$ à $0,6$ t/ha/an). La faible érosion mesurée résulte du paillage régulier des résidus mis en bandes (S.C.=40 à 80% de la surface parcellaire), mode de lutte anti-érosive efficace ayant fait ses preuves dans les bananeraies d'Afrique. Après l'analyse statistique des résultats mensuels issus des 10 parcelles, deux groupes de facteurs explicatifs (indice R, S.C., Dapp) et (LR et S.C.) sont mis en évidence respectivement pour le ruissellement et pour l'érosion. Il s'agit donc d'un écoulement Hortonien entraînant l'érosion des agrégats avec peu de dispersion.

L'estimation des pertes chimiques sur ces parcelles indique que plus les traitements sont sensibles à l'érosion, plus les pertes en nutriments contenus essentiellement dans les sédiments érodés sont importantes. Sous bananeraie, le drainage en profondeur est très actif en saison humide, soit près 32% à 37% de la pluviosité saisonnière. Les drainages calculé (D_r calc.) et observé par lysimètre (D_r obs.) semblent comparables : l'évaluation des pertes chimiques par lysimètres coniques semble correcte. D'ailleurs, cette estimation indique que la majorité des éléments nutritifs est perdue par lixiviation en "bananeraie établie" et les proportions des nutriments perdus sont comparables à celles observées en bananeraie irriguée en Côte d'Ivoire (99% des pertes en Ca ou en N total par drainage).

Mots clés : Martinique – systèmes de cultures bananières – ruissellement et érosion – processus – bilan hydrique – drainage – pertes en nutriments.

EFFECT OF BANANA PLANTATION ON THE ENVIRONMENT. INFLUENCE OF BANANA'S FARMING SYSTEMS ON WATER EROSION, LEACHING AND NUTRIMENT LOSS IN A TROPICAL VOLCANIC SOIL OF MARTINIQUE (A SITUATION OF THE HALLOYSITE CAMBISOL).

Bounmanh KHAMSOUK

SUMMARY

In the French West Indies, banana's intensive farming system requires high inputs of fertilisers and pesticides. Located near rivers and inhabited areas, such an intensive farming system could seriously damage the environment owing to the use of high inputs and since the tropical island's climatic and geographic conditions (a high average rainfall, hurricanes and hilly areas) are favourable for farming soil degradation (water erosion) and chemical pollution outside banana plantations (runoff and leaching). Considering the growing demand for soil fertility conservation and environment-friendly measures, the setting of a field study would both assess the effect of banana's farming system on the environment and meet purposes like: 1) – gaining knowledge of runoff and water erosion process on volcanic soil under tropical island rainfall; 2) – assessing the loss of nutrients.

For that matter, we firstly proceeded to the setting of ten runoff plots (100-200m²) in our banana plantations so as to test the banana's farming systems proposed by the CIRAD-FLHOR of Martinique (crop rotation with pineapple or sugar cane) on different slopes -11%-25%-40%- and their performance towards runoff and soil loss. Secondly, we installed 5 lysimeters 60 cm deep below banana plants for the assessment of nutrient loss by leaching. During the 1999 and 2000 observations, the 10 experimental plots were characterised by different treatments: the "bare soil" (Nu1, Nu7, Nu9), the "mulched sugar cane" (Ca2, Ca8, Ca10), the "long-lasting banana plantation" (Ba3, Ba4), the "mulched pineapple" (An5) and the "furrowed pineapple" (An6). Taking those various treatments into account, we carried out laboratory tests (aggregates stability) and field-tests (rainfall simulations) in order to assess the soil erodibility and improve our knowledge of runoff and erosion processes.

The 1999 and 2000 results are fairly similar, in spite of an average rainfall variation and they show the treatments behaviours are different. On the "bare soil", erosion ($E=85$ to 165 t/ha/yr) increases with the slope ($p=11\%$ to 40%) whereas runoff decreases ($LR=184$ to 87 mm). These results show that non-selective soil loss processes change when the slope rises, particularly with the growth of runoff transport capacity despite a stronger soil resistance to erosion (erodibility factor $K=0,12$ to $0,02$) and a high water-stable-aggregates' rate ($MWD=1,6$ to $2,7$ mm). On the mulched treatments (Ca2, Ca8, Ca10 and An5), runoff and soil loss are insignificant even on a steep slope ($LR<31$ mm and $E<0,2$ t/ha/yr). The cover area's rate (S.C.) (crop residue+vegetation cover+stone) is very efficient for infiltration and for soil protection: no runoff appears under the hurricane rainfall simulations ($I_p=100$ mm/h) during 180 minutes. On the other hand, in the "furrowed pineapple" (An6), runoff is frequent and soil loss was more important during the first measurement in 1999 than the second year because of a bigger vegetable shelter's rate ($LR=152$ to 361 mm and $E=29$ to 5 t/ha/yr). The furrow effect leading water could explain the high sensitivity of this plot to runoff and erosion (runoff started early and quickly reached its peak intensity under simulated rainfall). Likewise, the two "long-lasting banana plantations" (Ba3 and Ba4) have got the same results ($K_{ram}=2$ to 4% and $E=0,4$ to $0,6$ t/ha/yr). The weak soil loss arises from regular mulch laid on crop residue in stripes (S.C.=40 to 80% of plot area) as an efficient way for soil loss reduction as applied in Africa's banana plantations. After a statistical method called "three regression" from the results of the 10 experimental plots, two explanatory groups of factors (index R, S.C., Dapp.) and (LR, S.C.) are found, respectively for runoff and for soil loss. Runoff process is like Horton's process, which could lead mainly soil aggregates loss and a little splash loss.

Nutrient loss assessment on these plots shows that the stronger the erosion, the higher the nutrient loss.

In "long-lasting banana plantations", infiltration is very high in the wet season (about 32% to 37% of the wet season cumulated rainfall). Calculated infiltration (D_r calc.) and measured infiltration (D_r obs.) look alike, thus nutrient loss by lysimeters assessment seems correct. Moreover, that assessment shows that most of the nutrients are lost by leachate in "banana plantations" and the nutrient loss ratios are similar to the results found in Ivory Coast's banana plantations (99% of Ca loss or N total loss by leachate).

Key words: Martinique – banana intensive farming system – runoff and erosion – processes – infiltration – nutrient loss.

1 – INTRODUCTION

1.1 – Contexte économique mondial

La banane dessert fait partie des fruits les plus consommés dans le monde et elle occupe le 2^{ème} rang de la production fruitière mondiale après l'orange et avant le raisin. Sa production est en augmentation constante : elle est passée de 13 millions de tonnes à près de 60 de 1950 à 1998 (sources : FAO, 1998 – cité dans AGRESTE DOM, 1999).

Les principaux pays producteurs de banane dessert sont essentiellement l'Asie et l'Amérique latine qui, à elles deux, totalisent plus de 80% de la production mondiale ; l'Afrique, la Caraïbe et l'Europe, quant à elles, font partie des petits pays producteurs (figure 1.1)

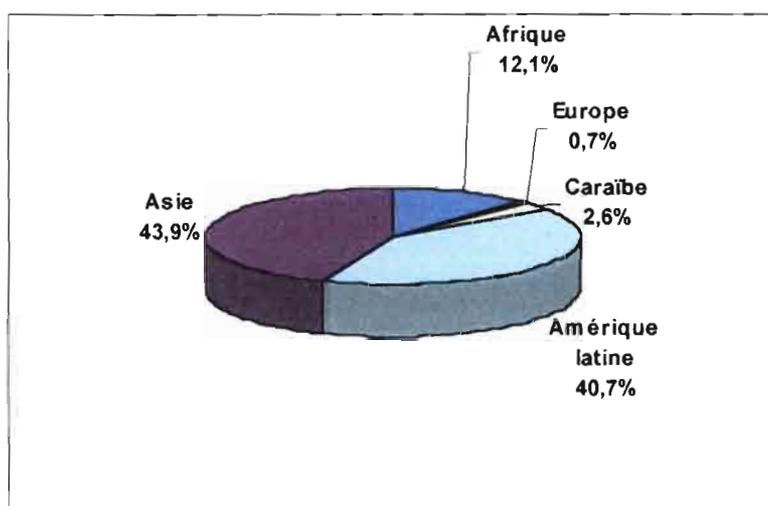


Figure 1.1 – Les principaux pays producteurs de la banane dessert dans le monde (Source : FAO, 1998).

Parmi les pays producteurs de l'Union européenne, l'on trouve la France, l'Espagne, le Portugal et la Grèce qui pratiquent la culture de la banane pour l'exportation grâce à leurs départements ou territoires d'outre-mer (tableau 1.1). Sur 883000 tonnes de bananes produites par l'Europe, près de 85% sont exportées et 50% sont notamment destinées aux pays de l'Union européenne.

Tableau 1.1 – Principaux pays producteurs de banane dessert dans l'Union européenne (Source : AGRESTE DOM, 1999).

Pays producteurs	Production de banane dessert (t)
France (Antilles)	441400
Espagne (Canaries)	395600
Portugal (Madère)	40000
Grèce (Crète)	6000
Total :	883000

La banane dessert joue donc un rôle économique important dans le monde ; à titre d'exemple, les départements français d'outre-mer produisent près de 441400 tonnes de bananes, représentant une valeur de production de près de 1599 millions de francs.

1.2 – La banane dans les Antilles françaises

1.21 – Généralités

Situées sous des latitudes tropicales, les Antilles françaises sont des zones de production bananière par excellence. Leur climat tropical, chaud et humide, favorise le développement de cette culture qui, pratiquée de manière intensive, est devenue l'un des premiers atouts économiques des îles volcaniques.

En Martinique (1080 km²), cette monoculture de bananiers est l'activité agricole la plus importante de l'île et emploie environ 20000 personnes. Avec une superficie de près de 11200 ha cultivés en banane, fournissant un potentiel de production de 321145 tonnes de fruits par an (soit 1091 millions de francs (source : AGRESTE DOM, 1999)), la culture intensive bananière se développe principalement dans trois zones (carte 1.1) :

- 1) – la zone nord à nord-est où les bananeraies sont plantées sur des andosols et sols peu évolués sur cendre et ponce volcaniques ;
- 2) – la zone centrale où les plantations occupent des sols rouges (sol brun à halloysite et ferrisols) ;
- 3) – la zone sud où les productions bananières se situent sur des sols volcaniques à caractère vertique (vertisol et ses dérivés).

En raison de son importance et du protectionnisme économique de la Communauté européenne (aides compensatoires aux pertes de recettes des producteurs face aux bananes dollars), les bananeraies intensives se sont étendues soit au détriment des autres cultures (canne à sucre notamment) soit par l'installation de zones de productions de plus en plus audacieuse sur des reliefs accidentés.

Par ailleurs, cette monoculture intensive bananière souffre beaucoup de parasitisme tellurique spécifique (nématodes et charançons) et nécessite l'utilisation massive de pesticides et des replantations fréquentes. Dans le cadre d'une bonne pratique agricole, une bananeraie âgée de plus de deux ans reçoit chaque année, 2 à 3 traitements de nématicides, 1 à 2 applications d'insecticides, 4 à 12 émissions aériennes de fongicides et 3 à 5 applications d'herbicides (CHABRIER et DOREL, 1998).

A titre d'information, en 1996 les services douaniers ont recensé 2562 tonnes de produits phytosanitaires importés en Martinique et, notamment, 948 tonnes de pesticides pour la culture bananière (nématicides et insecticides). D'après les chiffres fournis par les groupements bananiers (GIPAM et SICABAM) et les distributeurs de produits phytosanitaires, la part de pesticides appliqués en bananeraie représente près de 48% du tonnage total importé dans l'île.

Ces produits phytosanitaires sont particulièrement dangereux et les trois pesticides les plus utilisés en Martinique, à savoir les molécules actives "*terbufos*" (COUNTER), "*cadusafos*" (RUGBY) et "*aldicarbe*" (TEMIK) sont les plus toxiques pour les mammifères et notamment pour l'homme (CHABRIER et DOREL, 1998).

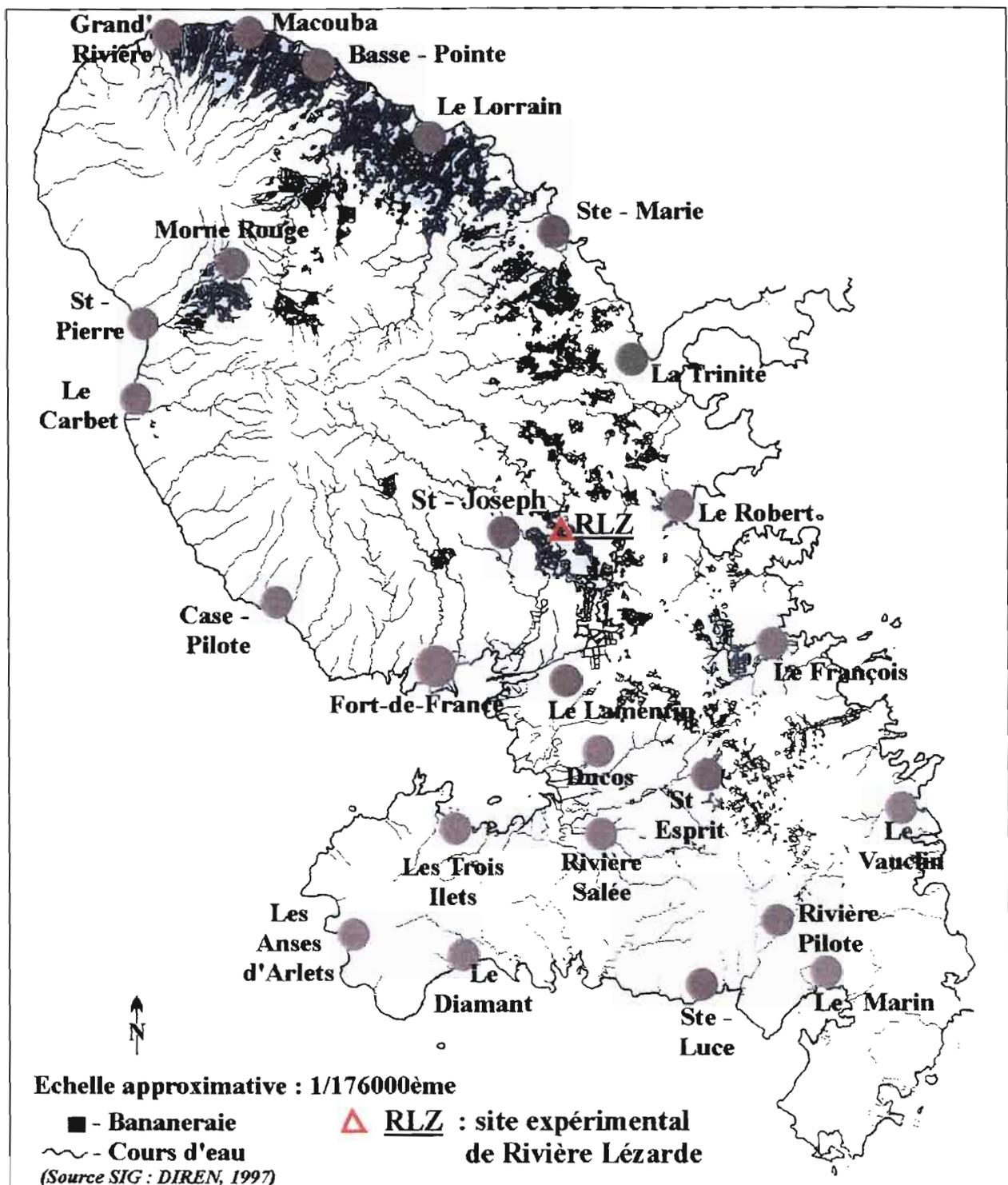
1.22 - Problématique

Cette monoculture intensive bananière pourrait donc avoir des répercussions sur l'environnement dès l'instant où elle nécessite des applications régulières d'intrants (engrais (seuil de tolérance en nitrate ($\text{NO}_3=50$ mg/l dans les eaux potables), herbicides et pesticides) et que le milieu insulaire offre une forte exposition aux risques naturels. En effet, le climat tropical insulaire est particulièrement agressif (pluviosité annuelle élevée et tempêtes tropicales en saison cyclonique) et pourrait, sur de forts reliefs, aisément favoriser des écoulements d'eau (ruissellement et infiltration) entraînant une dégradation des terres cultivées (érosion hydrique) et une pollution chimique à la sortie des plantations bananières (ruissellement et lixiviation des intrants).

L'impact de cette monoculture intensive serait d'autant plus grave que les zones agricoles sont situées près des cours d'eau et des zones d'habitation à forte densité de population (la densité moyenne de la population de l'île est de 356 habitants/km² et peut parfois atteindre plus de 800 habitants/km²) (carte 1.1).

Dans ce contexte, la mise en place d'une agriculture raisonnée – l'une des mesures agri-environnementales de plus en plus sollicitées – permettrait d'apporter des améliorations plus respectueuses de l'environnement tout en répondant aux deux objectifs prioritaires d'une agriculture durable : 1) – la conservation des ressources en sol ; 2) – la réduction des répercussions de la monoculture intensive sur l'environnement (CABIDOCHÉ, 1999).

Ces mesures agri-environnementales, préalablement établies pour les pays tempérés ou pour les zones tropicales continentales, ne sont pas directement transposables aux Antilles françaises. En effet, les processus d'érosion hydrique des sols volcaniques ne sont pas les mêmes que ceux des sols limoneux et sableux des pays cités où la surface du sol s'encroûte ou se referme par pellicule de battance. Mis à part les vertisols dont la dispersabilité particulière et l'imperméabilité du sol en condition humide (hydromorphie) sont des mécanismes bien connus (CABIDOCHÉ et NEY, 1987 ; CABIDOCHÉ et VOLTZ, 1995) et pouvant entretenir la perte en terre des zones basses cultivées d'Haïti, du sud de la Martinique ou des côtes sous-vent guadeloupéennes (ALBRECHT *et al.*, 1992), la plupart des sols volcaniques antillais sont peu étudiés au niveau des processus d'érosion. CABIDOCHÉ (1999) souligne même la quasi-absence d'approche expérimentale de l'érosion hydrique sur ces sols. Récemment, ROOSE *et al.* (1999) soulèvent la question du mécanisme du ruissellement et de l'érosion hydrique sous bananeraie établie et cultivée sur un sol brun tropical volcanique en Martinique : ils observent sous pluies naturelles les effets du couvert végétal (fonctionnement du bananier en entonnoir concentrant les eaux pluviales le long du faux-tronc) et le paillage des résidus bananiers (eaux ruisselées souvent claires avec au fond des flaques des plages d'agrégats). Ce premier travail permettra par la suite, de lancer le sujet de notre étude sur les systèmes de culture bananière et leurs effets sur la gravité de l'érosion hydrique et les pertes des intrants.



Carte 1.1 – Localisation des parcelles de bananeraies de la Martinique
 (Source SIG : DIREN, 1997).

Quant à l'impact des cultures intensives sur l'environnement, des auteurs ont rapporté que la pollution agricole se manifestait surtout à travers les flux d'eau et plus particulièrement les pesticides qui sont généralement transportés hors de la parcelle sous forme dissoute. HOWE et al. (1989) et PATERSON and SCHNOOR (1992) ont estimé que ce transport de molécules hors parcelle s'effectue à 90% par le ruissellement en surface et à seulement 10% par infiltration. Mais leurs études concernaient d'autres cultures et d'autres pesticides que ceux appliqués en bananeraie intensive. Parmi les premières études sur l'impact de la monoculture

bananière sur l'environnement, citons celle réalisée par DOREL et al. (1996) qui ont déterminé les agents de pollution chimique à travers un dispositif de micro-bassin versant en Guadeloupe. Ils mettent en évidence la source de pollution que constitue la culture intensive bananière et le ruissellement comme principal facteur de pollution chimique du milieu car les eaux ruisselées sont concentrées en pesticides ou en leurs résidus. Leur concentration dépend d'ailleurs de la date d'épandage, de la nature et de la durée de vie des molécules actives ainsi que de la pluviosité.

L'autre volet de l'impact de cette monoculture bananière sur l'environnement est les flux d'engrais transportés hors de la parcelle par les écoulements d'eau. En effet, le bananier est une plante très exigeante en éléments fertilisants et sous climat tropical humide, les pertes en nutriments sont très dépendantes de la pluviosité. GODEFROY et DORMOY (1989) ont d'ailleurs étudié les flux des éléments nutritifs à travers des programmes de fertilisation appliqués sur des bananeraies plantées sur le sol brun rouille à halloysite. Ils ont préconisé la fertilisation fractionnée et une fréquence d'application en fonction du Seuil Critique de Pluviosité (S.C.P.) afin d'éviter des pertes trop importantes. Mais cette étude s'est basée sur des estimations de flux d'éléments fertilisants à travers des analyses de sol prélevées régulièrement : elle n'a pas tenu compte alors de la qualité des flux d'eau, ni de leur importance.

La monoculture bananière représente donc un risque potentiel de dégradation du sol et de contamination chimique de l'environnement d'autant plus grand que les vecteurs de transferts d'eau (ruissellement et drainage) sont particulièrement actifs en saison cyclonique (tempêtes tropicales).

1.23 – Objectifs

Face à ce problème, l'interruption de la monoculture bananière ou la pratique de rotations culturales avec des cultures appropriées (ananas, maraîchage, culture fourragère...) s'avère être un moyen efficace pour lutter contre les parasites du sol (DOREL, 1991) et pour diminuer les effets néfastes des monocultures intensives sur la dégradation du sol et sur l'environnement (DOREL et al., 1996).

C'est pourquoi le CIRAD-FLHOR de Martinique a proposé des systèmes de culture bananière reposant sur des rotations avec l'ananas (pratique courante dans le nord de l'île) ou la canne à sucre (effet bénéfique sur la fertilité du sol). L'impact de ces systèmes de cultures sur la conservation du sol et l'environnement est actuellement testé à la station "Rivière Lézarde" (dans la région bananière du centre de l'île) sur un sol brun tropical d'origine volcanique (ou sol brun rouille à halloysite selon la carte pédologique de COLMET DAAGE et LAGACHE (1965)).

Cette étude repose sur un dispositif expérimental comprenant :

- 10 parcelles d'érosion (100 ou 200 m²) permettant de tester le comportement des systèmes de culture sur des pentes de 10%-25%-40% soumis aux risques de ruissellement et de perte en terre,
- cinq lysimètres coniques mis à -60 cm du sol sous des bananiers et permettant d'estimer le bilan hydrique et la qualité de l'eau infiltrée sous bananier.

Mises en place en 1999, ces 10 parcelles portent les différents traitements suivants (schéma 1.1) :

- le "sol nu" (Nu1, Nu7 et Nu9), un traitement standard permettant de mesurer le comportement du sol et sa résistance à la pluie érosive (ou érodibilité du sol) sur trois pentes distinctes d'inclinaison $p=10\%$ (Nu1), $p=25\%$ (Nu7) et $p=40\%$ (Nu9) – la parcelle est labourée sur 0-20 cm puis égalisée ;
- la rotation "canne à sucre / banane avec paillis" (Ca2, Ca8 et Ca10), système de culture non mécanisée avec couverture du sol par des résidus de culture sur trois pentes modérée ($p=11\%$) (Ca2), forte ($p=25\%$) (Ca8) et très forte ($p=40\%$) (Ca10) – ce système est proposé par le CIRAD-FLHOR pour contrôler le parasitisme tellurique, améliorer la structure du sol et réduire les risques d'érosion ;
- la "bananeraie établie" (Ba3), témoin régional de la culture bananière, situé sur une pente d'inclinaison $p=11\%$ (dans ce système, l'installation d'une bananeraie à forte longévité est recherchée) – ce témoin régional n'est pas labouré pendant toute la durée de l'expérimentation ;
- la monoculture intensive "bananeraie établie / bananeraie mécanisée" (Ba4), système mécanisé situé sur une pente à $p=9\%$, à replantation fréquente, souvent pratiquée en Martinique quand les bananiers sont attaqués par les nématodes (ce système est considéré comme peu durable : c'est-à-dire peu respectueux de la conservation du sol et de l'environnement) – il exige un travail du sol fréquent et profond (-60 cm) ;
- la rotation "ananas / banane avec paillage" (An5), culture non mécanisée avec couverture du sol par un paillis des résidus et plantée sur une pente modérée ($p=9\%$) (ce système permet de contrôler le parasitisme tellurique tout en protégeant le sol de l'agressivité des pluies pendant la phase sensible d'installation de la culture) ;
- la rotation mécanisée "ananas / banane avec enfouissement" (An6), traitement mécanisé sur une pente à $p=7\%$, avec enfouissement des résidus de culture par le travail du sol et le billonnage (ce système intensif classique est pratiqué chez les planteurs du nord de l'île).

Notons que durant les campagnes 1999 et 2000, les parcelles sous rotation sont cultivées avec la première plante, soit la canne pour (Ca2, Ca8 et Ca10), soit l'ananas pour (An5 et An6).

Le traitement "bananeraie établie" quant à lui, comporte deux parcelles de répétition (Ba3 et Ba4) car le changement de la monoculture intensive "bananeraie établie / bananeraie mécanisée" n'a été envisagé que bien après les premières années d'observation.

Ces deux observations sont donc des répétitions.

Les cinq lysimètres coniques quant à eux, devaient permettre de définir le drainage interne du sol et d'estimer la qualité de l'eau (pertes en nutriments et pesticides par drainages).

A partir de ce dispositif (parcelles d'érosion et lysimètres coniques), les objectifs sont les suivants :

- estimer le comportement des systèmes de culture bananière soumis aux pluies naturelles, puis proposer une ébauche de modèles de la perte en terre et des pratiques de luttés anti-érosives – si érosion il y a ;
- déterminer le bilan hydrique sous bananeraie et les pertes en nutriments des différents traitements étudiés ;
- fournir des échantillons d'eau ruisselée et drainée pour dresser les pertes en pesticides appliqués en bananeraie (partie non traitée dans notre étude).

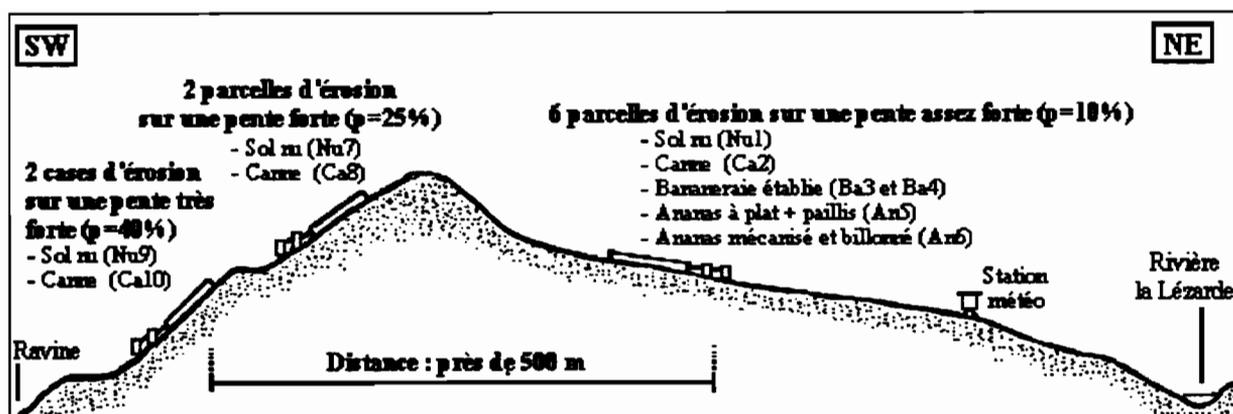


Schéma 1.1 – Disposition schématique des 10 parcelles d'érosion à la station "Rivière Lézarde" (RLZ).

Parallèlement, nous avons cherché à déterminer les facteurs explicatifs du ruissellement et de la perte en terre à travers des études en laboratoire (test de stabilité structurale) et sur le terrain (état de surface des parcelles d'essai et simulations de pluies) réalisées sur le sol et les systèmes de cultures de ces parcelles d'érosion.

Cette étude fait partie d'un vaste projet C.T.E. (Contrat Territorial d'Exploitation) proposé par le CIRAD-FLHOR et divers autres partenaires européens réunissant les trois pays producteurs : France (Antilles françaises), Espagne (Canaries) et Portugal (Madère) (DOREL et al., 2000). Le développement de la culture bananière qui rappelons-le, est un atout économique important, se doit de devenir plus compétitif sur le marché européen, voire mondial tout en répondant aux demandes :

- de critères de qualité de plus en plus exigeants : fruits beaux, bons et sains ;
- de réduction de l'impact de la culture bananière sur l'environnement, avec un respect du développement des systèmes de cultures avec la densité de population insulaire et le tourisme.

Ce projet s'inscrit dans ce contexte et va tester l'influence des systèmes de culture bananière sur l'environnement (conservation du sol et réduction de la pollution des eaux douces) au niveau du bassin versant.

Cette étude est donc au départ de ce vaste projet. Elle n'abordera que les effets des systèmes de culture proposés à l'échelle de la parcelle, voire du versant et tentera d'apporter quelques réponses pour réduire l'impact des cultures bananières sur l'environnement.

2 – LE MILIEU ET LA CULTURE

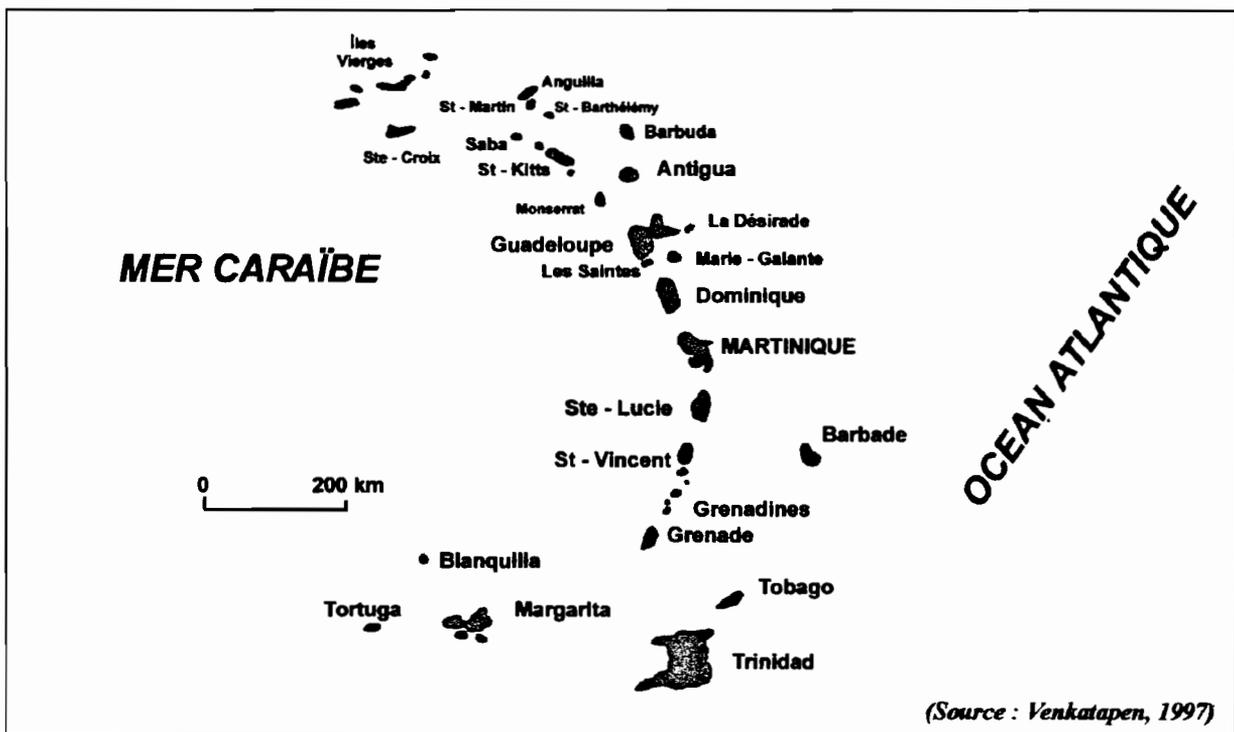
2.1 – Aperçu global du milieu : la Martinique

2.11 – Situation sur le globe

Les informations générales sur la Martinique sont tirées de l'Atlas des départements français d'outre-mer (DOM) (CNRS – IGN, 1977).

La Martinique est une île volcanique située entre les 14° et 16° parallèles nord et entre les 60° et 62° ouest du méridien de Greenwich et elle fait partie de l'archipel des Petites Antilles. Elle est entourée de l'océan Atlantique à l'est, de la mer des Caraïbes aussi appelée mer des Antilles, à l'ouest et de deux canaux marins situés respectivement au nord (le canal de la Dominique, long de 40 km) et au sud (le canal de Sainte Lucie, long de 30 km) (carte 2.1).

Elle est distante d'environ 7000 km de la métropole, 3150 km de New-York et 440 km des côtes d'Amérique du Sud.



Carte 2.1 – Situation géographique de l'archipel des Petites Antilles et de la Martinique (Source : VENKATAPEN, 1997).

2.12 – Géographie et réseau hydrographique

2.121 – Géographie

La Martinique a une superficie de 1080 km² et 350 km de côtes. Sa plus grande longueur NW-SE est de 75 km et sa plus grande largeur NE-SW est de 35 km.

Le relief de la Martinique est irrégulier et est composé de différentes unités.

- Au centre de l'île, il y a de petites plaines fragmentées (baie de Fort-de-France, plaine du Lamentin et plaine de Rivière Salée) représentant en totalité 112 km², soit environ 10% de la superficie insulaire.

- Dans la partie méridionale, le relief est constitué de massifs volcaniques anciens de moyenne altitude (100 à 500 m) entrecoupés d'un réseau hydrographique de petites rivières et de ravines. La montagne du Vauclin, point culminant du sud (haut de 504 m) et les mornes Firmin (389 m d'altitude), Vent (377 m) et Camp (271 m) composent les hauts reliefs et abritent différents cours d'eau ainsi que leurs affluents telles la Rivière Salée, la Rivière Pilote ou encore la Rivière du Vauclin.

- Dans la partie septentrionale, les hauts reliefs, plus accidentés, sont dominés essentiellement par deux édifices volcaniques circulaires récents et occupant le tiers du NW de l'île : les Pitons du Carbet (1196 m) et la montagne Pelée (1397 m). Plus anciens que la Pelée, les Pitons du Carbet présentent une dissymétrie avec un versant oriental étiré et doux et un flanc occidental raide, plongeant dans la mer des Caraïbes. La montagne Pelée est un dôme circulaire entaillé par des ravins. Son haut sommet accroche souvent des masses nuageuses venant de l'est et poussées par les Alizés, alimentant ainsi les nombreux cours d'eau. Les sols fertiles formés à partir des projections volcaniques ont attiré l'implantation d'activités humaines et la proximité de ce volcan actif expose la population à sa colère comme en témoignent les destructions de Saint-Pierre en 1902 et en 1929-1931. Entre ces hauts reliefs s'étend une région accidentée alternant ravines (ou vallées profondes) et longues crêtes irrégulières descendant des édifices volcaniques vers les côtes littorales et vers la plaine du Lamentin. Bien qu'accidentée et constituée de pentes irrégulières et raides, cette zone est occupée par des champs de cultures diverses : ananas, bananes, canne à sucre...

2.122 – Le réseau hydrographique de la Martinique

De manière générale, on peut distinguer deux types de réseaux hydrographiques calqués sur les différences géomorphologiques et climatiques entre le nord et le sud de l'île (carte 1.1).

Au nord, les massifs volcaniques sont parcourus par un réseau hydrographique dense et rayonnant, avec des cours d'eau alimentés par de petits bassins versants. En raison du relief accidenté et de la pluviosité (saison humide à pluies fréquentes et intenses), les cours d'eau qui en résultent, coulent souvent dans des vallées très encaissées et ont un régime pluvio-torrentiel (ex : Rivière Capot, Rivière du Lorrain, Rivière du Gallion, etc...). Après des périodes de fortes pluies, les rivières se transforment rapidement en de violentes crues en raison des fortes hauteurs d'eau tombées, des pentes raides et de la petitesse de leur bassin versant. Par exemple, les débits peuvent varier de 0,7 m³/s à l'étiage à 217 m³/s pour la rivière du Lorrain et de 0,3 m³/s à 480 m³/s pour la rivière Lézarde.

Au sud, le réseau hydrographique est moins dense : il est constitué de petites rivières de longueur inférieure à 30 km et ses caractéristiques s'expliqueraient par un relief moins accidenté qu'au nord et une pluviosité moins importante et moins fréquente (*Martinique sèche*). Dans cette partie de l'île, les rivières prennent naissance en torrents dans les mornes, donc sur de fortes pentes, puis s'allongent en méandres dans les plaines alluviales avant de rejoindre la mer.

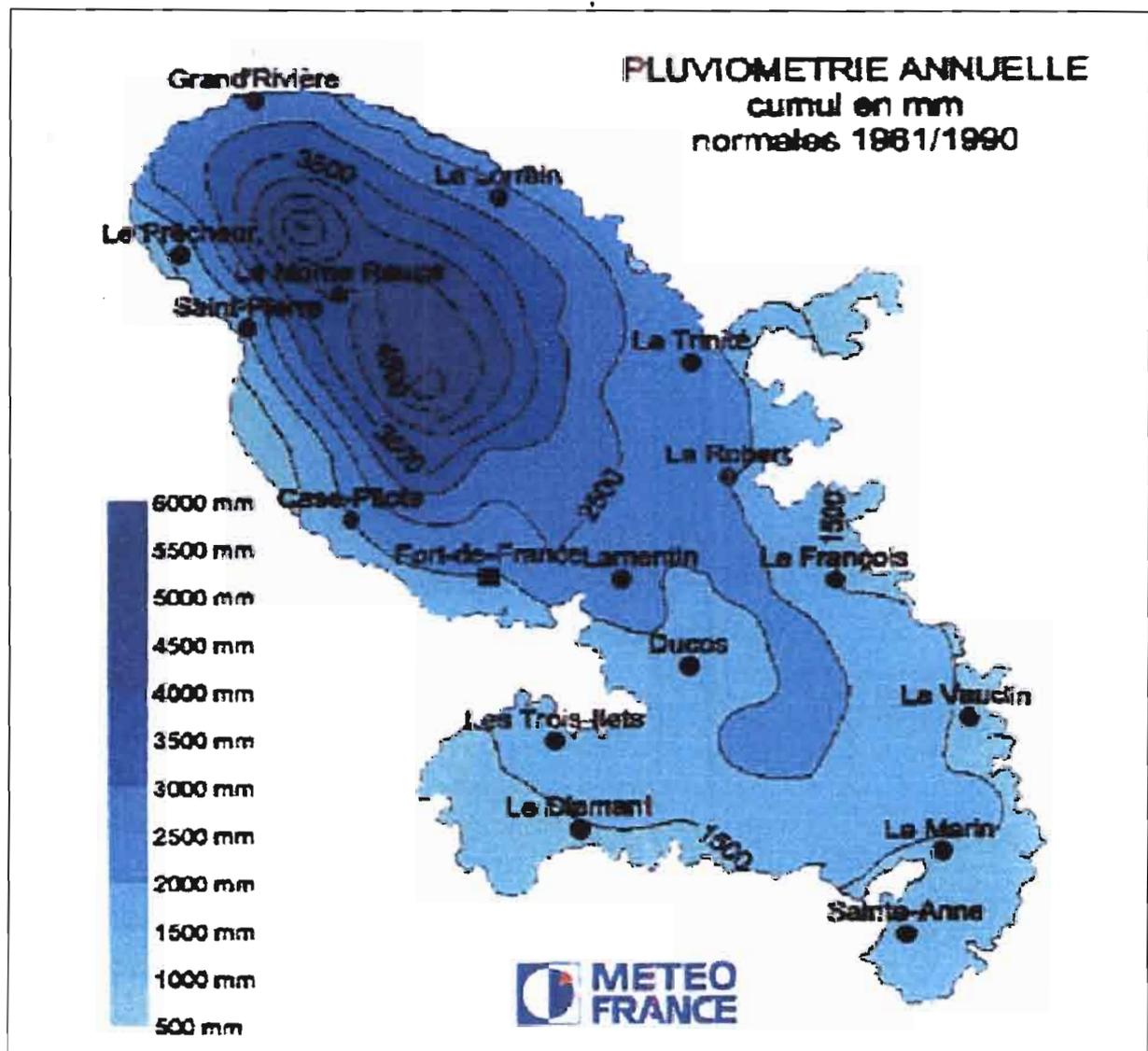
2.13 – Climat

La Martinique, tout comme les autres Iles aux Vents, bénéficie d'un climat tropical humide accompagné de pluies annuelles variant de 500 mm à plus 5000 mm du sud au nord (carte 2.2). La température moyenne annuelle oscille autour de 25° C, avec des extrêmes allant de 18° à 34°C (ALBERT et SPIESER, 1999). Le temps est étroitement lié aux positions de l'anticyclone des Açores qui dirige les "alizés", vents de direction NE-SW et de la Zone Intertropicale de Convergence (Z.I.C. en abrégé) qui est une zone de basses pressions ca-

ractérisée par des amas nuageux et orageux, large d'environ 200 km et ondulant vers le nord en été et vers le sud en hiver boréal.

L'île connaît deux grandes saisons contrastées d'une durée de six mois chacune.

- La saison sèche appelé aussi le carême (de janvier à juin) est régie par l'anticyclone des Açores apportant des vents réguliers et frais. L'air est plus sec et les pluies sont alors peu fréquentes.
- La saison humide ou l'hivernage (de juillet à décembre) est sous l'influence des amas nuageux de la Z.I.C. ; dès lors, les pluies sont nettement plus fréquentes et intenses. C'est à cette période de l'année que la Martinique peut connaître d'importantes perturbations cycloniques (dépressions ou tempêtes tropicales et ouragans) pour peu que leur trajectoire passe directement sur l'île et y apporte son lot de désolation (vents violents et fortes pluies, inondations et érosion des côtes littorales).



Carte 2.2 – Pluviométrie annuelle moyenne (en mm) de la Martinique de 1961 à 1990 (Source : ALBERT et SPIESER, 1999).

Aux deux saisons décrites se rajoute l'influence du relief qui joue aussi un rôle déterminant dans la variabilité spatiale des pluies et permet de distinguer une *Martinique humide* (région nord) d'une *Martinique sèche* (région sud). Ainsi, il pleut beaucoup plus sur la Pelée et les Pitons du Carbet que dans le sud (pluviosité jusqu'à cinq fois plus que dans la moitié sud) car les hauts reliefs accrochent les nuages. Par ailleurs, la région nord de l'île présente une dissymétrie pluviométrique provoquée par l'effet de *Foehn* (*les masses d'air chargées d'humidité et venant de l'est sont accrochées par les hauts reliefs qui les débarrassent ensuite de leur humidité (pluies occasionnées) lors de leur refroidissement durant l'ascension des sommets. Puis une fois les reliefs franchis, l'air débarrassé de son humidité provoque un réchauffement sur le versant opposé*) (ALBERT et SPIESER, 1999). Le versant caribéen des hauts reliefs est alors plus sec que celui de l'atlantique, soumis aux vents. La répartition des pluies de l'île se distribue donc en fonction de la dissymétrie des versants atlantique et caribéen.

En saison humide, les perturbations cycloniques apportent souvent de nombreuses pluies. Par définition, ce sont des phénomènes météorologiques tourbillonnaires propres aux zones tropicales, nés de la conjonction de plusieurs éléments tels (ALBERT et SPIESER, 1999) :

- la température de l'océan supérieure à 26°C sur les 60 premiers mètres de profondeur (*ce facteur intervient souvent en août et septembre, période à grand risque d'intempéries*),
- les vents de surface et d'altitude de mêmes caractéristiques avec une forte instabilité de l'air, combinée à une forte humidité laquelle est indispensable au développement des nuages cumulonimbus,
- et une position suffisamment éloignée de l'équateur (latitude supérieure à 6°).

L'intensité des perturbations cycloniques est déterminée par la force du vent maximum qu'il engendre. Dans l'Atlantique, le critère utilisé est la valeur maximale du vent moyen sur une minute et il permet de distinguer trois catégories de perturbations :

- 1) – une dépression tropicale si le vent est inférieur à 63 km/h ;
- 2) – une tempête tropicale si le vent est compris entre 63 et 117 km/h (*le cyclone est alors "baptisé" avec l'attribution d'un prénom selon une liste pré-établie*) ;
- 3) – un ouragan si le vent est supérieur à 118 km/h
(*cinq niveaux sont proposés par SAFFIR et SIMPSON pour classer les ouragans suivant la force du vent. Classe 1 : vent compris entre 118 et 153 km/h; classe 2 : vent de 154 à 177 km/h; classe 3 : vent de 178 à 209 km/h; classe 4 : vent de 210 à 248 km/h et classe 5 : vent supérieur à 249 km/h (d'après METEOFRACTANCE)*).

Depuis 1959, la Martinique a subi 14 perturbations cycloniques importantes en 40 ans dont 8 étaient des tempêtes tropicales et 6 des ouragans. La plus ancienne est la tempête *Edith* enregistrée le 18/08/1959 et la plus récente est la tempête *Lenny* survenue le 17-18/11/1999 et à l'origine d'une houle dévastatrice sur la côte caribéenne. Ces intempéries tropicales engendrent souvent des dégâts considérables tant au niveau des habitations (arrachement des toitures, destruction des habitations et voiries, etc...) qu'au niveau du domaine agricole (bananiers pliés par les vents violents par exemple) (*cf. § 2.213 – Conditions de culture et cycle de développement du bananier*).

A titre de comparaison, la Guadeloupe (qui est aussi un département français d'outre-mer de l'archipel des Petites Antilles) a connu 18 perturbations cycloniques dans le même intervalle de temps, avec 10 tempêtes tropicales et huit ouragans (d'après METEOFRACTANCE).

La Martinique semble donc moins exposée *a priori* que sa voisine aux intempéries tropicales et peut-être doit-elle ce privilège à l'étroitesse de son territoire et à sa position plus équatoriale dans l'arc insulaire.

2.14 – Géologie (WESTERCAMP et TAZIEFF, 1980)

La Martinique fait partie de l'arc volcanique caribéen, né d'une subduction de la plaque océanique atlantique sous celle de la Caraïbe provoquant ainsi un volcanisme d'arc de type andésite. Ce dernier résulte d'une mise en place successive de trois arcs : ancien (Oligocène), intermédiaire (Miocène inférieur à moyen) et actuel (Miocène supérieur à quaternaire) (carte 2.3) (WESTERCAMP et TAZIEFF, 1980).

Tout comme les autres îles de l'archipel des Petites Antilles, la Martinique présente des formations géologiques découlant principalement de trois séries de roches mises en place durant l'édification des trois arcs insulaires : 1) – toléiite d'arc*, 2) – andésite à deux pyroxènes** et 3) – andésites calco-alcalin*** (WESTERCAMP et TAZIEFF, 1980).

Ces trois séries volcaniques résulteraient de la différenciation d'un même magma basaltique (provenant de la fusion de la croûte atlantique subductée) placé à différentes conditions de température, de pression et de teneur en eau. Ces trois séries de roches donnent généralement des roches basiques riches en éléments ferromagnésiens et pauvres en silice (quartz).

**Série toléiite d'arc : elle caractérise le début du fonctionnement de l'arc insulaire, avec une ascension du magma assez lente et sans modification importante donnant des basaltes, des andésites et une mise en place peu explosive ;*

***Série d'andésites à 2 pyroxènes : c'est un magma à ascension lente avec un temps de stockage dans la chambre magmatique (dans la lithosphère) donnant majoritairement de l'andésite, puis du basalte ;*

****Série andésite calco-alcalin : elle caractérise le dernier stade de l'activité de l'arc insulaire, avec une influence de l'encaissant (substratum de la chambre magmatique) sur le magma donnant une roche dépourvue de basalte mais à quartz et minéraux rares (grenats, cordiérites...) Leur mise en place est souvent explosive, accompagnée de laves visqueuses et d'un dégazage brutal (laves en dôme et nuées ardentes lors de l'éruption de la Pelée en 1902).*

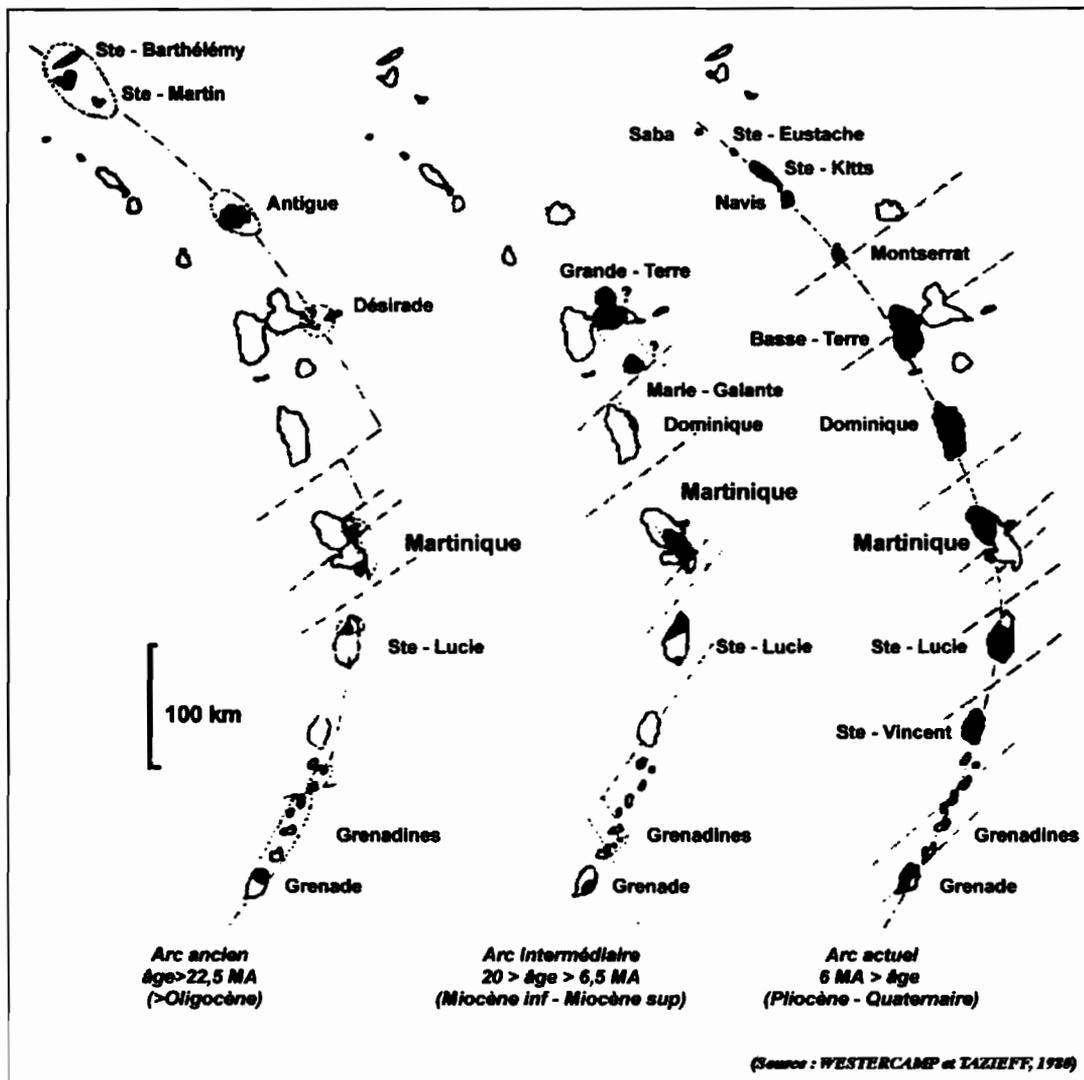
D'après WESTERCAMP et TAZIEFF (1980), la formation de la Martinique résulte *grosso modo* de la mise en place successive de trois arcs insulaires distincts (carte 2.3).

- L'arc ancien (presqu'îles de Sainte-Anne et de la Caravelle (Oligocène supérieur - début Miocène)). Sur un substratum anté-miocène, il y a eu épanchement de toute une série de roches issues d'abord des activités volcaniques sous-marines puis, suite à des périodes d'accalmie et de dépôts durant le Miocène inférieur, se sont formés des complexes récifaux (bio-constructions de madréporaires et sédiments calcaires associés). Ces formations anciennes composées de tufs volcaniques et de complexes récifaux subissent des fractures ou failles et des intrusions de dykes de direction N-S et E-W provoquées par les mouvements entre les plaques caribéenne et ouest atlantique.

- L'arc intermédiaire (Montagne du Vauclin, morne Pitault (Miocène inférieur et moyen)). Il connaît une compression de la plaque Caraïbe due au rapprochement des deux blocs américains. Il y a alors une fissuration du substratum anté-miocène martiniquais en essaim de dykes NW-SE, avec la mise en place de chaînes volcaniques sous-marines Vauclin-Pitault, suivie d'un déplacement de la plaque Caraïbe vers le NE, puis d'une formation volcano-sédimentaire avec bancs de calcaires francs en alternance avec des brèches pyroclastiques sous-marines. Par la suite, la Martinique émerge à plusieurs reprises (Miocène supérieur) et connaît une période de sédimentation (début Pliocène) avant de subir à nouveau des mouvements E-W provoqués par la subduction de la plaque Atlantique sous celle de la Caraïbe.

- L'arc actuel (région nord et les Trois Îlets (début Pliocène)). Cet arc voit une individualisation des îles sur des blocs lithosphériques séparés qui vont s'édifier successivement et indépendamment les uns des autres. La Martinique émerge à son tour, avec d'abord l'édification de volcans effusifs (morne Jacob) accompagnée de coulées de laves semi-visqueuses,

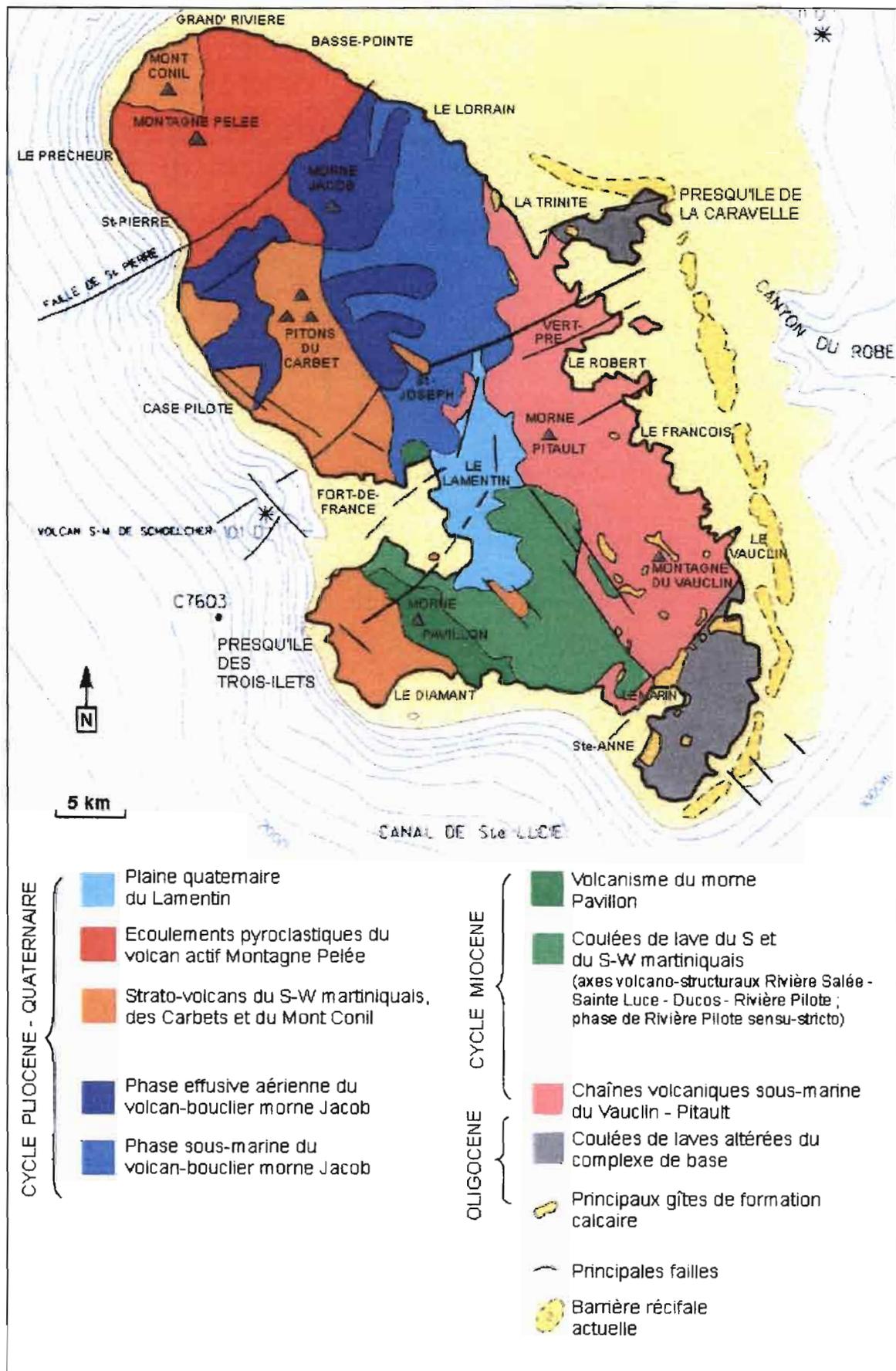
suivie ultérieurement de l'élévation d'un strato-volcan explosif (Montagne Pelée). L'arc actuel reste encore en activité et connaît une dizaine d'éruptions volcaniques connues dans les Petites Antilles depuis les trois siècles derniers et des tremblements de terre périodiques.



Carte 2.3 – Les 3 arcs insulaires des Petites Antilles au cours de l'édification des différentes îles (Source : WESTERCAMP et TAZIEFF, 1980).

De cette succession des trois arcs insulaires, les formations et édifices volcaniques rencontrés se répartissent chronologiquement des plus anciennes localisées au sud de l'île, aux plus récentes situées au nord (carte 2.4). Les formations anciennes au sud sont constituées de tufs lités (formations détritiques volcano-sédimentaires) incluant parfois des bancs coquilliers et des massifs coralliens. Leur relief, organisé en mornes ou collines, est moins élevé et moins accidenté qu'en région nord en raison d'une érosion géologique plus poussée.

Les formations récentes au nord, quant à elles, sont souvent constituées de projections aériennes de composition andésite et labradorite donnant des tufs légers, des cendres et des ponces ou brèches. Leur relief reste élevé et très accidenté en raison l'édification des nouveaux massifs et des dépôts volcaniques récents. Enfin, les alluvions appelées aussi formations superficielles, sont des dépôts quaternaires polygéniques résultant du démantèlement des reliefs formés et ils alimentent la plaine du Lamentin (carte 2.4).



Carte 2.4 – Carte géologique simplifiée de la Martinique
 (Source : BRGM, 1990).

2.15 – Pédologie (COLMET-DAAGE et LAGACHE, 1965; COLMET-DAAGE, 1969)

2.151 – Pédogenèse

Les sols naissent à partir des interactions entre le substratum géologique ou roche-mère, la topographie, le climat et la végétation.

Ces interactions entraînent une transformation de la roche-mère en sol par des processus physiques (désagrégation mécanique, micro-division de particules grossières en fines) et par des altérations chimiques qui sont :

- l'hydrolyse : le processus le plus important, qui concerne la décomposition des roches par l'eau et par des éléments actifs dissous (acides minéraux et organiques) ;

- l'oxydation : le processus libérant du Fer ferreux (Fe^{2+}) de certains minéraux sous la forme de fer ferrique hydratée $Fe(OH)_3$;

- l'hydratation : le processus provoquant une augmentation de volume des minéraux à structure en feuillet par adjonction de molécules d'eau, conduisant à un ameublissement de la roche-mère ;

- la dissolution simple : le processus concernant certaines roches salines (ex: gypse, calcaire en présence du dioxyde de carbone (CO_2) dissous dans l'eau) (DUCHAUFFOUR, 1997) .

De manière générale, les sols issus de substratums éruptifs sont formés par l'hydrolyse, le processus d'altération conduisant respectivement, sous climat tempéré ou tropical, à la néoformation de composés solubles ou amorphes (*cas des roches "acides", riches en quartz, pauvres en éléments ferromagnésiens*) ou alors d'argiles (*cas des roches "basiques", pauvres en silice et riches en éléments ferromagnésiens*) (DUCHAUFFOUR, 1997).

Or, la Martinique est une île volcanique au relief accidenté bénéficiant d'un climat tropical humide, caractérisé par une pluviosité importante variant sur une courte distance. Par conséquent, sur des formations éruptives et sous climat chaud, l'hydrolyse semble être le processus d'altération dominant et de formation des sols ; il est plus ou moins accentué selon la variation climatique de l'île (pluviosité notamment).

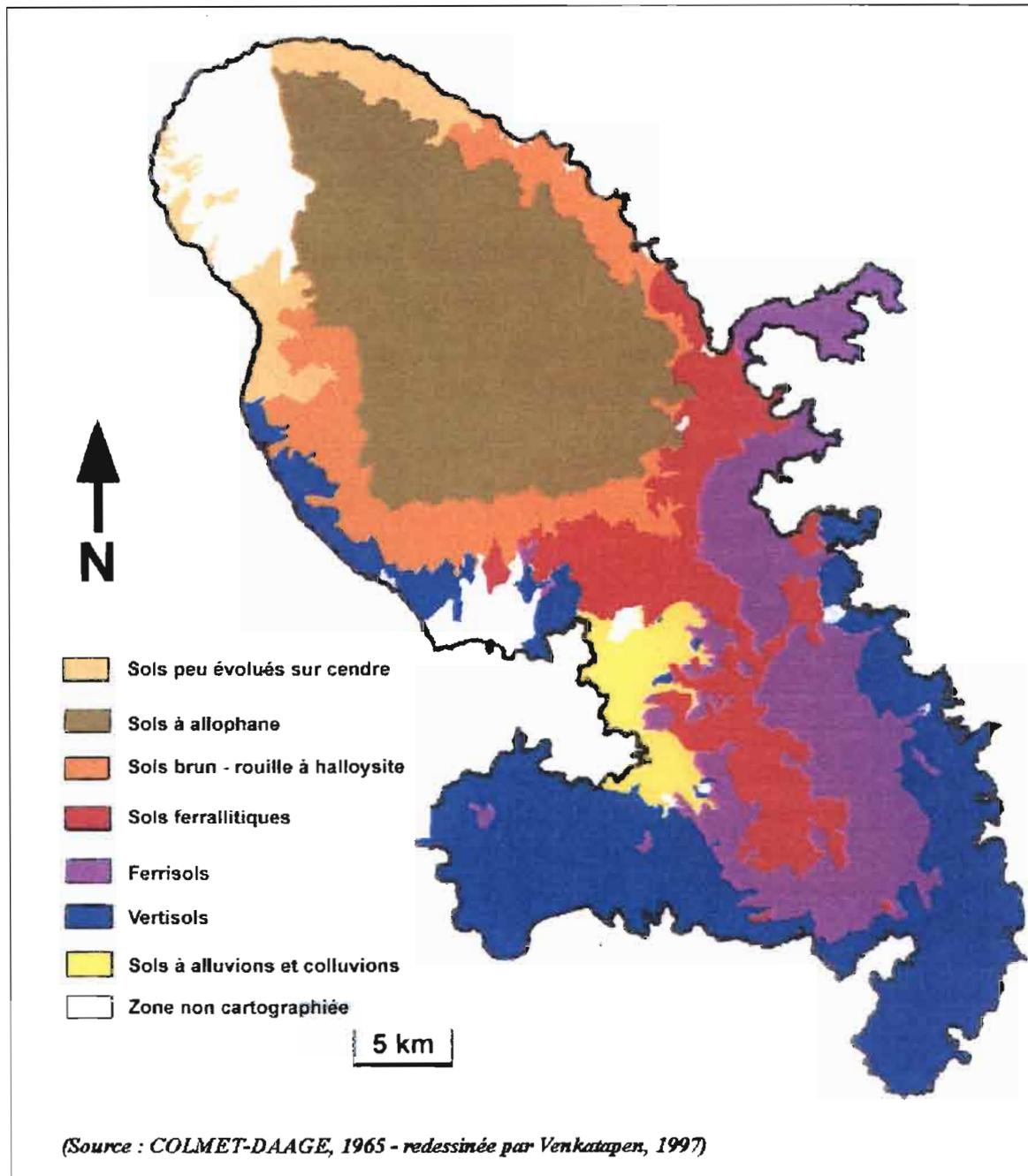
Ces sols volcaniques présentent des critères originaux car la variation climatique et l'âge des différentes formations géologiques offrent un processus de pédogenèse intéressant. Ainsi, des sols d'une même roche-mère peuvent évoluer différemment sous différents climats et des matériaux diachroniques mais de composition analogue peuvent donner des sols comparables en cas de climat identique (COLMET-DAAGE et LAGACHE, 1965).

2.152 – Les sols de la Martinique

Globalement, ces auteurs ont distingué sept grandes classes de sols qui peuvent être regroupées en 2 familles d'âges différents (COLMET-DAAGE et LAGACHE, 1965; COMET-DAAGE, 1969) (carte 2.5).

- 1^{ère} famille sur formations volcaniques anciennes regroupant des ferrisols et des vertisols. Ces sols sont issus de processus d'altération et d'évolution durant de longues périodes sur des matériaux originels peu perméables.

- 2^{ème} famille sur formations volcaniques récentes regroupant des sols peu évolués sur cendre et ponce, sols à allophane (ou andosols), les sols brun-rouille à halloysite et les sols sur alluvions. Issus de projections volcaniques récentes, ces sols jeunes semblent être apparentés avec des caractéristiques voisines et leur évolution serait contrôlée par les variations climatiques.



Carte 2.5 – Carte simplifiée des sols de la Martinique (Source : COLMET-DAAGE et LAGACHE, 1965 – redessinée par VENKATAPEN, 1997).

Ces deux familles de sols anciens et jeunes sont situées *grosso modo* l'une au sud et l'autre au nord de l'île (COLMET-DAAGE et LAGACHE, 1965) (carte 2.5).

a) – Les sols anciens

Au sud, les sols rencontrés sont essentiellement des sols rouges (à savoir des sols ferrallitiques et ferrisols) et des vertisols, tous deux argileux mais différents l'un de l'autre par la nature de leur argile (carte 2.5).

- Les **sols ferrallitiques** sont des sols de climat tropical humide à saison sèche modérée de 3 à 4 mois (P=1700-3000 mm/an) et ils sont situés au centre et au sud. Ce sont des sols profonds (un à plusieurs mètres d'épaisseur) à argile kaolinite (et parfois méta-halloysite) et à oxy-hydroxyde de fer (goéthite abondant), dévelop-

pés sur des projections volcaniques épaisses (type andésite, labradorite et dacite). Ils se caractérisent par une texture argileuse à très argileuse (60-80% d'argile), un taux de matière organique MO de 2 à 3%, une capacité d'échange cationique CEC de 12 à 20 méq/100 g sol sec en surface, par une structure en agrégats (horizon superficiel) et une sous-structure polyédrique (horizon profond). Ils sont largement cultivés en bananeraie, en canne à sucre ou encore en cultures vivrières...

- Les **ferrisols** sont des sols voisins des sols ferrallitiques, liés à un climat analogue, quoique plus sec (P=1600-2300 mm/an). Ce sont des sols à kaolinite, riches en hydroxydes de fer, formés sur des collines de brèches ou coulées de type andésites et labradorites anciennes ou sur des tufs andésites labradorites récents. En général, ils ont une texture argileuse allant de 20% d'argile en surface à 50-60% en profondeur, un taux de MO de 2,5 à 4%, une CEC de 15 à 25 méq/100 g sol sec (horizon superficiel) et une structure friable en surface et peu nette en profondeur. Comparativement aux sols ferrallitiques, ils semblent avoir une pédogenèse moins poussée avec un climat plus sec et avec une texture plus pauvre en argile et plus riche en limon. Ils sont principalement cultivés en canne à sucre et en banane.
- Les **vertisols** sont localisés près des côtes sud caractérisées par une saison sèche marquée (P=500-1500 mm/an). Ce sont des sols noirs à argiles gonflantes (montmorillonite) provoquant des fentes de retrait ou fissurations en période sèche. Développés sur diverses formations volcaniques anciennes (coulées, brèches et surtout tufs), ils se distinguent par une texture argileuse (40-80% d'argile), un taux de MO de 2 à 4% en surface, une CEC d'environ 80 méq/100 g sol sec et par une structure variable selon l'humidité du sol (*état humide : structure large en surface, puis massive et continue en profondeur ; état sec : structure très fissurée*). Cette propriété de gonflement/retrait par rapport à l'humidité est source de contrainte pour le labour du sol tant en saison sèche (sol fissuré et dur à travailler) qu'en saison humide (sol plastique et lourd à travailler). Ces sols sont occupés par des champs de canne à sucre, des cultures maraîchères, des prairies et depuis peu des bananeraies.

b) – Les sols jeunes

Au nord, les sols rencontrés sont des sols peu évolués sur cendres et ponces, des sols à allophanes et des sols brun-rouille à halloysite (carte 2.5).

- Les **sols peu évolués sur cendres et ponces** ou **lithosols** se trouvent sur les projections volcaniques quaternaires. Ils pourraient se rattacher aux sols à allophanes, mais leur distinction provient de leur évolution. En effet, les sols peu évolués sont peu "*allophanisés*" et ils conservent encore quelques caractéristiques de la roche-mère telle la présence encore dominante de sable et ponce. Ils correspondraient en fait à un premier stade de la formation d'allophane encore riches en silice et dépourvus d'hydroxyde d'alumine tandis que les sols à allophane sembleraient être à un stade plus poussé avec une individualisation des hydroxydes d'alumines (gibbsite ou bayérite).
- Les **sols à allophane** ou **andosols** sont principalement localisés près des massifs volcaniques du nord où la saison sèche est très réduite (P=2500-5000 mm/an) ; par ailleurs, en région très humide ils peuvent être lessivés. Ce sont des sols noirs développés sur des projections très perméables, sableuses ou graveleuses de type andésite ou labradorite. Ils sont constitués de goethite, de méta-halloysite et surtout d'allophane (oxyhydroxyde alumino-silicique amorphe de taille <0,2 µm) conférant une forte capacité de rétention d'eau, très caractéristique de ce type de sol. Ils ont un taux de MO de 3 à 5% à 200 m (pouvant même monter à 10 à 15% vers

600 m), une CEC d'environ 20 à 40még/100g sol sec et une structure friable sous forêt et diffuse sous labour en surface, diffuse en profondeur. Ces sols sont principalement recouverts par la forêt tropicale ou sont alors cultivés en ananas, en banane, en canne à sucre... Seules les fortes pentes de cette région limitent la mise en culture.

- Les **sols brun rouille à halloysite** se situent en auréole autour des sols à allophane, sur les deux côtés atlantique et caribéen et sous un climat à saison sèche peu marquée (P=1300-2500 mm/an). Formés sur des projections récentes, perméables, cendreuse et graveleuse, ces sols se rapprochent des ferrisols suivant les conditions climatiques et la durée d'altération. Ils sont généralement constitués d'argile méta-halloysite associée à de petites quantités de gibbsite et goéthite, avec parfois en profondeur des traces d'hydromorphie de pente (tâches ou films ferromanganiques noirs). Certains faciès à texture légère contiennent encore un peu d'allophane et ils témoignent de leur parenté avec les andosols. En générale, ces sols se caractérisent par une couleur brun foncé (en surface) à brun rouille foncé (en profondeur), une texture argilo-sableuse à argileuse, un taux de MO de 2 à 3%, une CEC de 8 à 10 még/100g sol sec, une structure peu nette, mais une sous-structure polyédrique fine. Ces sols sont largement cultivés en canne à sucre et en banane. Notons que ce sol brun rouille à halloysite recouvre notre site d'étude "Rivière Lézarde" et il sera décrit plus en détail ultérieurement (*cf.* §2.3 – *Station du CIRAD "Rivière Lézarde"*).
- Les **sols sur alluvions** sont des sols récents formés à partir des matériaux hétérogènes provenant du démantèlement des reliefs. Ils sont localisés principalement dans les plaines du Lamentin et de Rivière Salée, zone de dépôt des alluvions. Ils présentent plusieurs faciès telles les alluvions lourdes montmorillonitiques (sols argileux, adhérents et plastiques s'approchant proches des vertisols), les alluvions argileuses (sols à kaolinite et montmorillonite, assez lourds mais sans horizon vertique) et les alluvions légères et perméables (sols à kaolinite et montmorillonite, bien chargés de sables (cendres), de graviers et cailloux). Ces sols de plaines sont largement cultivés en canne à sucre, avec des carreaux de champs aménagés et drainés.

Résumé

La Martinique est une petite île volcanique bénéficiant d'un climat tropical humide. Ce dernier a la particularité de varier sur de courtes distances en raison du relief très accidenté et de l'effet de *Foehn*. Par conséquent, formés sur des matériaux volcaniques riches en éléments ferromagnésiens (andésite, labradorite, dacite...), les sols regroupés en sept grandes classes résultent de l'altération des substratums volcaniques plus ou moins poussée selon l'âge des formations géologiques et selon la variation climatique. Ainsi, certains sols présentent des liens de parenté perceptibles dans les séquences topo-climatiques propres à l'île.

2.2 – La culture de bananier

2.21 – Généralités

a) – *Bref historique et contexte avec les Caraïbes*

D'après certaines références (CERIGHELLI, 1955; CHAMPION, 1967; SIMMONDS, 1976), le bananier est une plante herbacée originaire d'Asie du Sud-Est. Puis il s'est diversifié ensuite dans le monde à travers les îles du Pacifique, l'Indonésie, l'Inde et l'Afrique de l'Est. En hommage aux arabes qui, les premiers, commercialisèrent son fruit (la banane), C. LINNE lui donna le nom de "*Musa*" (de l'arabe "*mouzmaouz*" désignant le bananier). En 1450, des marins portugais rapportèrent des côtes d'Afrique des bananes qu'ils nommèrent "*el guineo*" du nom de son pays d'origine. Par la suite, lors de leur conquête, les Espagnols en trouvèrent et en importèrent aussi des îles Canaries – où ils étaient implantés depuis 1482 – vers les Amériques bien que d'autres auteurs pensent que les bananiers auraient accédé bien avant au continent américain depuis l'Asie. En 1516, le fruit fut rebaptisé "*banana*" par le père TOMAS de BERLANGA qui en importa à Saint-Domingue.

Ces plants se répandirent alors dans la zone Caraïbe et en Amérique du Sud et ils gagnèrent plus précisément les Petites Antilles françaises entre 1516 et 1623. En 1730, on comptait près de trois millions de plants en Martinique (PINALIE, 1998). Mais l'exploitation commerciale des bananes dessert dans les Caraïbes ne commença qu'entre 1865 et 1870, après des échanges maritimes entre les Caraïbes et la Floride et même avec l'ensemble des Etats-Unis ; ces derniers virent alors naître des compagnies fruitières américaines telle la "*United Fruit Company*" en 1899 (CHATEL, 1991; PINALIE, 1998). En 1915, face à une demande croissante en banane, la Jamaïque fut la première île caribéenne à exporter plus de 100000 tonnes de fruits vers l'Europe. Puis, les Antilles françaises devinrent à leur tour des zones productrices fournissant les bananes à la métropole et même à l'Europe entière (CHATEL, 1991).

La culture de la banane a donc commencé tôt aux Antilles françaises et elle a accru son développement grâce à la commercialisation des fruits. De nos jours, elle joue un rôle économique de premier plan en employant près de 20000 personnes et elle occupe près de 11200 ha de surface cultivée pour un rendement annuel de 29 t/ha en 1997 en Martinique (Source : AGRESTE DOM, 1999).

b)– *Origine et systématique de la banane* (CHAMPION, 1967; SIMMONDS, 1976 ; CHATEL, 1991)

Le bananier est une "herbe" géante monocotylédone appartenant à la famille des Musacées. Il existe plus de 300 clones dont près de 150 résultent de mutation.

Parmi les Musacées, on distingue le groupe *Musa*, caractérisé par des fruits à chair abondante et dépourvus de graines ; il compte différentes classes tels le *Musa textilis*, originaire des Philippines où il est cultivé pour sa fibre, le *Musa acuminata* et le *Musa balbisiana*, espèces comestibles se différenciant par leur génome, à savoir respectivement A pour *Musa acuminata* et B pour *Musa balbisiana*.

Les bananiers cultivés ou cultivars dérivent de la combinaison (hybridation et paténocarpie) des génomes A et B des deux espèces *Musa comestibles* et, d'après le degré de leur polyploïdie, ils se distinguent de la façon suivante :

A l'origine, 2 espèces sauvages : <i>Musa acuminata</i> (AA) et <i>Musa balbisiana</i> (BB) donnant des espèces comestibles à :		
Génome A dominant		
Diploïde AA	Ex : la " <i>figue sucrée</i> ", bananier à feuillage vert-jaune, à fruits sucrés et à peau fine et délicate (transport difficile car fruit fragile).	
Triploïde AAA (bananiers dessert, les plus répandus)	Ex : variétés " <i>Gros Michel</i> " et les cultivars du groupe " <i>Simensis</i> " ou " <i>Cavendish</i> " (les variétés " <i>Lacatan</i> ", " <i>Poyo</i> ", " <i>Grande Naine</i> "...)	
Génomes A et B		
- à dominance A : Triploïde AAB	Ex : les bananes plantains ou bananes à cuire telle la " <i>banane créole</i> " ou la " <i>banane corne</i> ", très répandue en Afrique et servant de culture vivrière ou à la fabrication de bière.	
- à dominance B : Triploïde ABB	Ex : Cancanbou.	

Les cultivars les plus répandus dans le monde sont les bananes plantains et les bananes douces ou dites encore bananes dessert, et correspondant toutes deux aux mêmes exigences climatiques (cultures de climat chaud et humide).

Les plantains sont des bananes à cuire essentiellement cultivés en Afrique où ils servent à alimenter la consommation locale et à la fabrication de bière. Ce sont des cultures vivrières principalement développées à proximité des habitations ou "cases" et leurs fruits sont peu exportés. En culture intensive, leur rendement peut atteindre près de 2 à 3 t/ha selon les techniques employées. Leur importance reste difficile à estimer en raison de leur nature vivrière. Toutefois, ils représentent *grosso modo* près de 20 millions de tonnes si l'on considère que la production mondiale totalise environ 50 millions de tonnes de bananes, toutes variétés confondues (CHATEL, 1991).

Les bananes dessert constituent les principales variétés exportées dans le monde. Ces dernières se sont succédées tour à tour depuis le début de leur commercialisation allant des variétés "Gros Michel" aux "Poyo", puis aux "Grandes Naines" de nos jours. La succession de variétés s'explique par la découverte de cultivar ayant une plus grande résistance aux vents et aux maladies fongiques (fusariose ou "maladie de Panama") et une meilleure qualité de fruits moins sensibles aux transports.

Ainsi, les Antilles françaises ont d'abord connu les variétés "Poyo" dans les années 1950, puis les "Grandes Naines", l'une des variétés Cavendish cultivée pratiquement partout actuellement (PINALIE, 1998).

2.22 – Conditions de culture, cycle de développement et besoin nutritif du bananier

a) – Conditions de culture

Le bananier est une plante herbacée de climat chaud (température moyenne optimale de 25°C) et humide (pluviosité idéale entre 120 à 160 mm/mois). Sa zone de développement optimum se situe par conséquent entre les 30° latitudes nord et sud. Ainsi, les Antilles françaises, offrant ces conditions climatiques, ont connu un développement de la culture bananière relativement précoce (entre 1516 et 1623) et celui-ci s'est intensifié jusqu'à nos jours.

Le bananier craint la sécheresse. A maturité, il produit une feuille par semaine d'une surface d'environ 1 m² pour la "Grande Naine" et 3 m² pour la variété "Gros Michel". Si à maturité le

bananier possède 15 feuilles fonctionnelles, il peut consommer de 25 l/j. à 9,5 l/j. respectivement en période journalière ensoleillée et en période journalière couverte (évapotranspiration réelle ETR calculée). Sa résistance à la sécheresse n'est pas très grande (besoin d'eau moyen de 40 mm/semaine soit 180 mm/mois et l'irrigation joue un rôle important dans les zones de cultures souffrant d'un déficit hydrique (NAYRAL et RENEL, 1998).

Le bananier craint également les vents violents : ceux-ci peuvent provoquer des dégâts considérables dans les bananeraies. Il existe deux techniques complémentaires pour éviter le bris des plants : l'une consiste à entourer les parcelles de haies d'érythrine (*Erythrina fusca*) jouant le rôle de brise-vent tandis que l'autre, appelée haubanage, consiste à attacher les bananiers entre eux à l'aide de ficelles.

Cependant, ces techniques s'avèrent inefficaces au passage des cyclones qui peuvent plier et casser les faux-troncs des plants d'autant plus facilement qu'ils portent des régimes. A titre d'exemple, en 1766 toutes les cultures en Martinique, et notamment celles de la banane, ont été anéanties pour n'être finalement reprises qu'au début du XXème siècle (PINALIE, 1998). Plus récemment encore, les cyclones *Hugo* en 1990 et *Cindy* en 1994 ont particulièrement endommagé la Guadeloupe et la Martinique.

La production de banane antillaise semble donc influencée par les conditions climatiques et notamment par les trajectoires des tempêtes tropicales.

b) – Cycle de développement de la plante (schéma 2.1)

Le cycle complet d'évolution du bananier dessert dure environ 9 mois : de la plantation à la récolte du fruit. C'est une plante pérenne et la vie d'un pied peut varier de 5 à 20 ans suivant qu'il est attaqué ou non par des parasites telluriques (charançons, nématodes) et par des maladies fongiques. Généralement, il a besoin d'un sol meuble, léger et bien drainé.

Le schéma 2.1 illustre les différentes parties d'un bananier dessert ainsi que son cycle de développement.

A partir du rhizome (vraie tige souterraine), également appelé bulbe ou encore souche, le méristème apical produit des feuilles enroulées de façon hélicoïdale, dont les gaines fortement imbriquées en cylindre forment le faux-tronc ou pseudo-tronc, lisse, droit et rigide pouvant atteindre 1,5 à 8 m selon les espèces. Dans un cycle, le bananier produit une trentaine de feuilles fonctionnelles au rythme d'une feuille tous les 6 à 15 jours suivant la température, l'ensoleillement et le taux d'humidité du sol. A la fin de l'émission foliaire, la vraie tige croît dans le pseudo-tronc et l'inflorescence se développe pendant près de 3 mois. Poussé par la vraie tige, le bourgeon floral (futur régime et popote) apparaît au sommet du faux-tronc, puis se recourbe vers le sol.

L'inflorescence, assez complexe, se compose d'un axe ou hampe (vraie tige) à partir duquel se différencient un bourgeon apical (toujours en activité) et successivement des glomérules de fleurs femelles (futurs mains du régime ou fruits), puis mâles (fleurs staminées). Chez la plupart des bananiers comestibles, les ovaires des fleurs femelles se développent en doigt ou fruit sans fécondation. Les mains se découvrent successivement à mesure que les bractées (ou spathes) qui les recouvrent, de couleur rouge violacée et cireuses, tombent ; puis, elles vont se redresser et grossir pendant près de 3 mois. L'ensemble des mains enroulées en hélice autour de la hampe forme le régime et celui-ci est généralement récolté avant maturation.

Après la récolte, le faux-tronc du pied-mère est généralement coupé pour laisser la repousse de rejets ou jeunes plants – issus de ramification latérale à partir du bulbe. Un seul rejet successeur ou fille est sélectionné tandis que les autres sont éliminés par œilletonnage, assurant ainsi la pérennité du bananier.

Notons que les résidus (faux-tronc et feuilles coupées) sont répandus en surface dans les champs, formant un paillis assez important au sol dont nous avons une estimation de la biomasse ainsi restituée au sol.

**VUE SCHEMATIQUE D'UN BANANIER
A LA FRUCTIFICATION ET DE SES REJETS.**

(Source : CHAMPION, 1963)

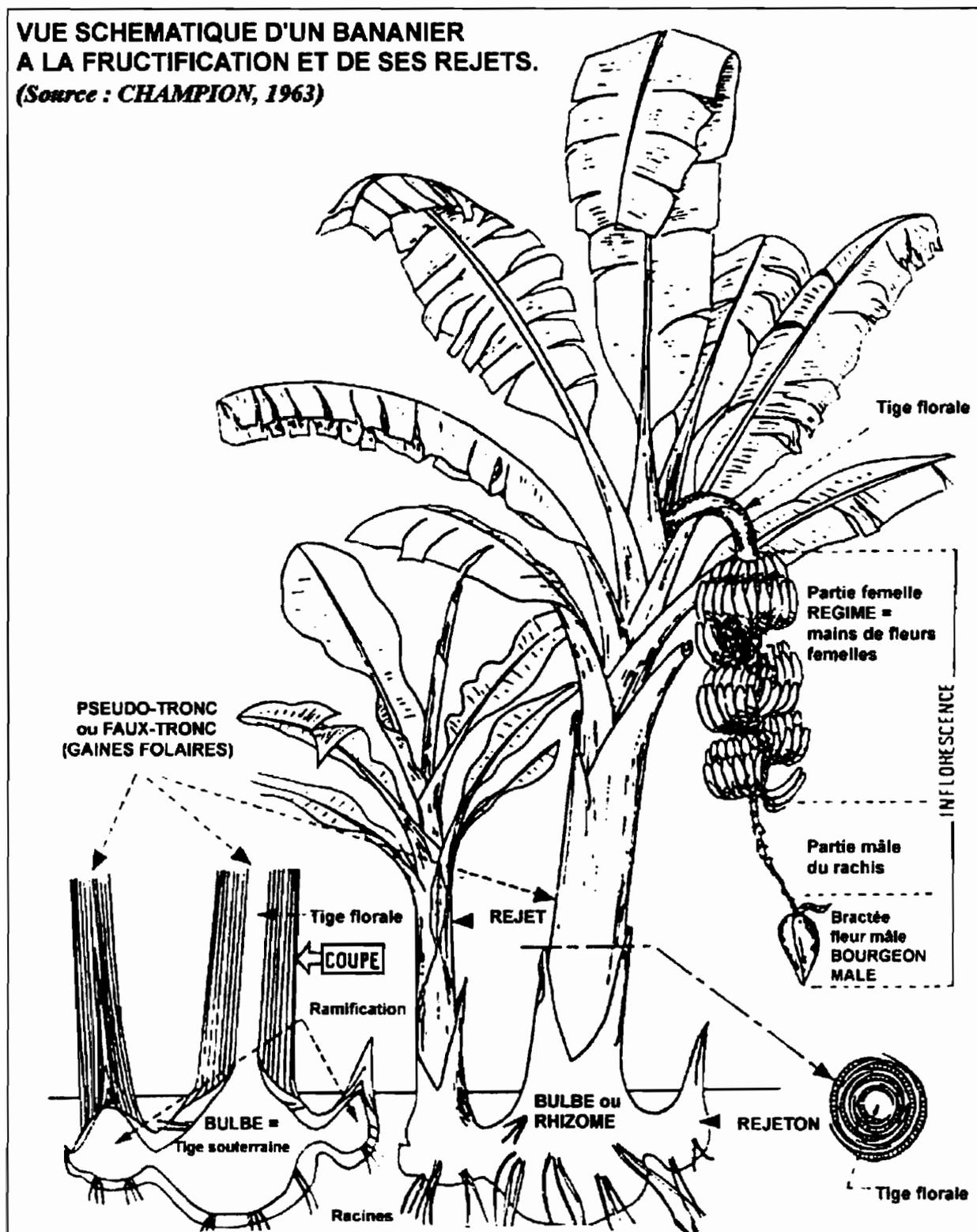


Schéma 2.1 – Vue schématique d'un bananier à la fructification et de ses rejets (Source : CHAMPION, 1963).

c) – Besoins nutritifs du bananier

Le bananier est une plante exigeante en éléments fertilisants. Dans l'exploitation intensive, la fertilisation doit être raisonnée en fonction de l'analyse physique et chimique du sol, des besoins du bananier et du rendement potentiel souhaité.

La fertilisation peut s'effectuer à l'aide de (NAYRAL et RENEL, 1998) :

- engrais complets (NPK+Mg de composition 14% N, 4% P, 28% K et 5% Mg) qui sont souvent utilisés par épandage manuel ou par ferti-irrigation (solubilisation des éléments chimiques dans l'eau d'irrigation),
- engrais organiques, qui sont généralement épandus à la plantation car ils enrichissent le sol en azote nitrique, élément propice à la croissance des jeunes pieds (fumier de poule, lisier de porc...),
- amendements ou chaulages qui correspondent aux apports en calcium et magnésium, jouant un rôle de régulateur de l'acidité du sol (acidification par l'azote (N)) en plus de celui de nourrir le bananier.

Elle peut être apportée de manière fractionnée sous climat à forte pluviosité suivant le seuil critique de pluviosité (SCP) défini par GODEFROY et DORMOY en 1989 (GODEFROY et DORMOY, 1989 ; MARIE, 1996 ; NAYRAL et RENEL, 1998).

Le plan de fumure raisonné type peut être mené de la façon suivante :

1 – pour les jeunes plants :

- un apport azoté après 10 à 15 jours de plantation (émission des premières racines) soit par l'urée (50 g/pied), soit par le D.A.P., composant usuel des engrais complets à 18% N et 46% P₂O₅, sur sol à déficit en phosphore (100 g/pied) ou bien par magnésamon sur sol à déficit de magnésium (100 g/pied),
- ensuite, un apport d'engrais complet toutes les trois semaines (et selon la teneur du sol en potasse, un complément de fertilisant potassique deux mois avant la jetée ou l'inflorescence (50-100 g/pied de chlorure ou sulfate de potasse).

Rem : sans le cas des vitroplants, les apports sont de 80 g/pied d'engrais complets juste après plantation, 15 jours puis un mois après ; ensuite c'est 100-120 g/pied d'engrais complets épandus toutes les trois semaines.

2 – pour les rejetons : en fin de récolte, le cycle suivant nécessite un apport plus important d'azote (urée, D.A.P. ou magnésamon) avant les apports d'engrais complet toutes les trois semaines (MARIE, 1996 ; NAYRAL et RENEL, 1998).

En générale, la qualité d'un bon plant s'apprécie par son nombre de feuilles : un bon rejet successeur possède au moins sept feuilles lancéolées avant la première feuille vraie tandis qu'un bon pied possède lui, au moins 15 feuilles fonctionnelles à la jetée et sept à huit feuilles à la récolte (environ une feuille par mains de banane) (NAYRAL et RENEL, 1998).

En Martinique, les besoins nutritifs du bananier sont présentés dans le tableau 2.1 (NAYRAL et RENEL, 1998).

Tableau 2.1 – Besoin en éléments chimiques d’une bananeraie par pied et par hectare (Source : NAYRAL et RENEL, 1998).

Eléments minéraux	Prélèvement		Apport moyen pour un rendement de 45-50 t/ha de fruits.	
	Cycle complet (kg/ha)	Régime exporté (kg/ha)	Par pied (g)	Par hectare* (kg)
N	430	64	250	500
P	60	19	0-70	0-140
K	1000	266	500-750	1000-1500
Ca	200	10	0-250	0-500
Mg	100	17	80	160

* soit pour environ 2000 plants (densité de culture $d=1800$ pieds/ha).

A titre de comparaison, les besoins en nutriments exprimés ici sont assez semblables à la fertilisation prescrite dans la culture sous abri du bananier au Maroc (LAVIGNE, 2000).

En cas d’une mauvaise fertilisation, le bananier montre des signes de carences suivant l’élément minéral déficient.

- Le manque en azote (N) se manifeste par un raccourcissement de la distance entre feuilles, un retard de croissance, un jaunissement générale et une coloration rouge en bordure du pétiole (cette carence s’observe souvent en début du cycle).
- Le déficit en potassium (K) se traduit par un jaunissement fulgurant des limbes foliaires suivi d’un séchage et d’un enroulement en crosse pour les anciennes feuilles, une rupture du pétiole et un retard de croissance. La période critique se situe deux mois avant la jetée (inflorescence).
- La carence en magnésium (Mg) se présente par un jaunissement dissymétrique des feuilles les plus anciennes (décoloration au bord, puis progression vers la nervure centrale), un "jupage" (cassure des feuilles au niveau du pseudo-tronc) et un décollement des gaines du faux-tronc.
- Le manque en soufre (S) s’observe souvent en début du cycle, par un léger gaufrage et une coloration verte à jaune pâle des nouvelles feuilles.

2.23 – Estimation de la biomasse fraîche et des résidus d’une "bananeraie établie"

Lors de la mise en place des cases de ruissellement, et notamment celle du traitement "sol nu" (100 m²) considéré comme un essai standard de mesure du comportement du sol à l’érosion hydrique, nous avons fait une estimation des résidus en place et du poids frais des bananiers pris au stade de bananeraie établie (c’est-à-dire une parcelle bananière âgée d’au moins 2 ans). Cette détermination s’est faite sur les trois parcelles d’essai "sol nu" de trois bananeraies différentes : "Ponterre" (à pente d’inclinaison $p=10\%$), "Derrière Morne 3" (à pente $p=25\%$) et "Derrière Morne 3" (à pente $p=40\%$).

Elle consistait :

- pour les résidus en surface, à peser l'ensemble de la litière (feuilles, faux-troncs, litières fines...) après l'avoir ramassé sur 100 m² ;
- pour la biomasse verte, à couper et peser par pied et par partie d'organes l'ensemble des bananiers des parcelles "sol nu" (densité de plantation variant de 17 à 19 plants/100 m², soit une densité moyenne de 1800 bananiers/ha).

Sur l'ensemble des trois parcelles, cette estimation varie de 15 à 66 t/ha pour les résidus de surface et de 137 à 230 t/ha pour la biomasse fraîche (figure 2.2a). Cette variation des poids, tant pour les résidus que pour la biomasse verte, s'explique par l'âge des bananeraies dont la plus jeune, "Derrière Morne 3" plantée en 1997, se différencie des deux autres parcelles de même âge par des poids de résidus et de bananiers plus faibles. En regardant de plus près la biomasse verte, sa composition résulte essentiellement des faux-troncs (60 à 98 t/ha) et des souches ou bulbes (38 à 95 t/ha) ; les feuilles, quant à elles, ne représentent qu'une proportion faible allant de 12 à 29 t/ha, soit 8 à 13% de la biomasse fraîche (figure 2.2b). Mais la proportion de biomasse restituée au sol découle plutôt des parties aériennes des plants (feuilles + faux tronc + rejets éventuels) car la souche, toujours vivace, continue de porter le rejet successeur. Ainsi, l'estimation de la biomasse rendue au sol s'élève respectivement à 127 t/ha et à 72 t/ha pour les bananiers de "Ponterre" et de "Derrière Morne 3".

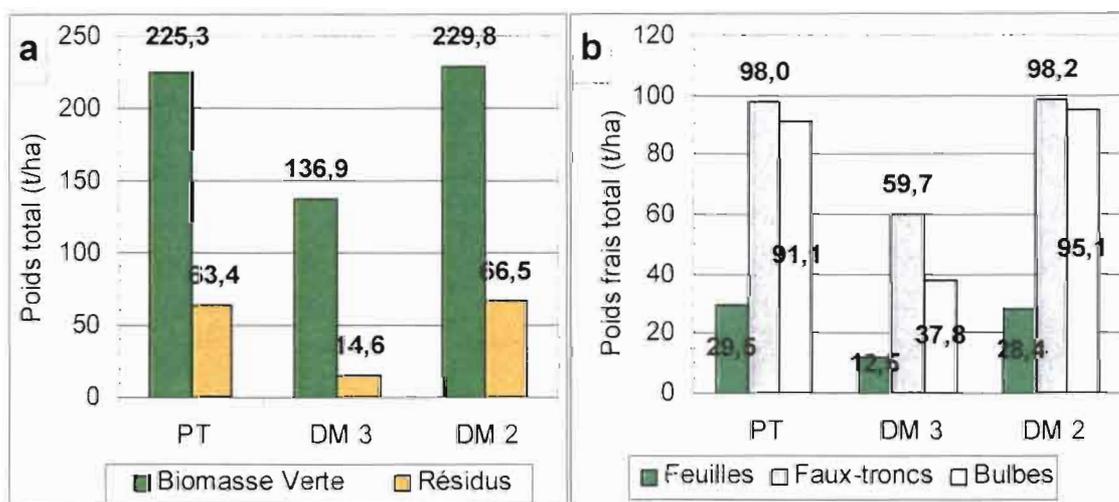


Figure 2.2 – Répartition pondérale des résidus et biomasse verte des 3 bananeraies établies (100 m²) : "Ponterre" (PT), "Derrière Morne 3" (DM 3) et "Derrière Morne 2" (DM 2). a) – Répartition totale. b) – Détail des différentes parties végétales des bananiers (sans le régime) dans la biomasse fraîche.

A partir de cette estimation pondérale de biomasse restituée, nous avons cherché à évaluer la part de matière sèche et d'éléments minéraux (N, P, K, Ca, Mg et C) rendue au sol. Des auteurs (MARCHAL et MALLESSARD, 1979 ; LASSOUDIÈRE, 1980) ont déjà étudié la proportion de matière sèche et d'éléments minéraux sur des variétés de bananiers dessert et plantains tant au Cameroun qu'en Côte d'Ivoire. Leurs résultats sur la variété "Grande Naine" sont récapitulés dans le tableau 2.2.

D'après le tableau 2.2, le bananier est une plante constituée essentiellement d'eau, avec une teneur en eau variant de 82 à 95% respectivement du régime au faux-tronc. Pour un pied

moyen de bananier, la partie végétale aérienne (feuilles + faux-tronc + rejets éventuels) qui représente la biomasse susceptible d'être répandue au sol vaut 93 kg en poids frais et seulement 7 kg en poids sec. Le régime moyen, quant à lui, pèse près de 41 kg en poids frais et 7,5 kg en poids sec. La matière végétale élaborée dans le fruit qui constitue en fait la part exportée est donc très importante car il équivaut en poids sec à lui seul, la partie végétale aérienne. Malgré son grand rôle dans la pérennité du bananier, la souche est la partie la plus légère, si l'on en juge d'après ses poids frais (PF = 18 kg) et sec (PS = 2,3 kg) par rapport à ceux de la partie végétale aérienne et du régime.

On notera également que c'est dans la partie végétale aérienne que la teneur en eau est la plus élevée (notamment le faux-tronc, avec Hpeau = 94%), peut-être en raison du besoin d'une grande rigidité du bananier à porter son régime.

Nous ne détaillerons pas les différents teneurs en éléments minéraux puisque leur étude nécessite la connaissance agronomique du bananier à l'élaboration de matière végétale suivant la fertilisation apportée. Nous nous baserons simplement sur les teneurs chimiques des divers organes pour établir une estimation des éléments minéraux restitués au sol par les résidus du bananier. Or, ces résidus sont composés essentiellement des feuilles, du faux-tronc, voire de rejets, d'où l'intérêt pour la partie aérienne du bananier (feuilles + faux-tronc + rejets).

Tableau 2.2 – Moyennes des poids frais (PF) et sec (PS) et des teneurs d'eau (Hpeau) et d'éléments chimiques (P, K, Ca, Mg, S, et C) dans les différents organes du bananier « Grande Naine » (d'après MARCHAL et MALESSARD 1979 ; MARCHAL, 1999).

	PF (kg)	PS (kg)	Hpeau %	Teneurs des éléments exprimées par rapport au PS						
				P %	K %	Ca %	Mg %	S %	N %	C %
Régime total	41,2	7,5	81,8	0,1	2,75	0,07	0,14	0,1	0,87	45,83
Feuilles entières	16,54	2,81	83	0,13	2,92	1,42	0,29	0,15	1,73	44,3
Faux-tronc (gaine+hampe interne)	68,57	3,72	94,57	0,09	6,21	1,18	0,31	0,07	0,97	39,81
Rejet total (partie aérienne)	7,63	0,31	95,94	0,19	7,3	0,58	0,30	0,08	1,67	-
Partie vég. aérienne*	92,74	6,85	91,17	0,11	4,91	1,25	0,3	0,1	1,31	41,5
Souche	18,36	2,29	87,51	0,11	4,3	0,22	0,28	0,08	1,05	-
Bilan total (les éléments minéraux P, K, Ca, Mg, S, N et C sont exprimés en g pour un pied de bananier)										
Pied-mère total	140,6	15,8	88,8	16,8	601,3	92,3	35	15,8	159,6	-
Rejet total (partie aérienne)	7,6	0,3	95,94	0,6	22,6	1,81	0,3	0,1	5,2	-
Touffe (Pied-mère+rejet)	152,3	16,6	89,1	18,3	646,8	96,2	37,7	16,9	175,2	-
Partie vég. aérienne*	92,7	6,8	91,2	7,6	335,7	85,3	20,6	6,8	89,9	2843

* La partie végétale aérienne regroupe les feuilles, le faux-tronc et le rejet susceptibles d'être coupés et répandus au sol. Ces valeurs sont donc extrapolées à partir des résultats fournis par les travaux de MARCHAL et MALESSARD (1979) et de MARCHAL (communication personnelle - 1999).

Le poids frais de cette partie aérienne s'élève à 93 kg pour un poids sec de 7 kg et une teneur en eau de 91%. Elle est constituée principalement de 41% de C, 5% de K, 1,3% de N et 1,2% de Ca (tableau 2.2).

Nous avons donc extrapolé, à partir de ces résultats, les proportions de matières sèches et d'éléments chimiques susceptibles d'être restitués au sol par les résidus. Cette estimation porte sur la biomasse fraîche d'un bananier moyen issu des trois bananeraies étudiées : "Ponterre", "Derrière Morne 3" et "Derrière Morne 2" (tableau 2.3).

Tableau 2.3 – Estimation* de la matière sèche (PS) et des éléments chimiques des parties aériennes (ou futurs résidus) pour un pied de bananier, puis pour une bananeraie établie de densité culturale moyenne D=1800 pieds/ha.

(parcelles : "Ponterre" PT, "Derrière Morne 3" DM3 et "Derrière Morne 2" DM2)

Pour un bananier :	PF (kg)	H _{peau} (%)	PS (kg)	P (g)	K (g)	Ca (g)	Mg (g)	S (g)	N (g)	C (g)
Partie vég. aérienne sur PT	67,56	91,7	5,61	6,168	275,3	70,09	16,82	5,607	73,46	2333
Partie vég. aérienne sur DM3	44,09	91,7	3,66	4,025	179,7	45,74	10,98	3,659	47,94	1522
Partie vég. aérienne sur DM2	75,45	91,7	6,26	6,889	307,5	78,28	18,79	6,262	82,04	2605

Pour une bananeraie établie :	PF (t/ha)	H _{peau} (%)	PS (t/ha)	P (kg/ha)	K (kg/ha)	Ca (kg/ha)	Mg (kg/ha)	S (kg/ha)	N (kg/ha)	C (kg/ha)
Partie vég. aérienne sur PT	128,4	91,7	10,65	11,7	523,1	133,2	32,0	10,7	139,6	4432
Partie vég. aérienne sur DM3	79,36	91,7	6,58	7,2	323,4	82,3	19,8	6,6	86,3	2740
Partie vég. aérienne sur DM2	128,3	91,7	10,65	11,7	522,7	133,1	31,9	10,6	139,5	4429

*Estimation d'après les résultats de MARCHAL et MALESSARD (1979) et MARCHAL, communication personnelle - 1999).

Le tableau 2.3 montre que pour une bananeraie établie âgée d'au moins 2 ans, les résidus secs s'élèvent de 6 à 11 t/ha, avec des éléments chimiques allant de 2740 à 4432 kg/ha pour C, de 86 à 140 kg/ha pour N, de 323 à 523 kg/ha pour K, de 82 à 133 kg/ha pour Ca, de 20 à 32 kg/ha pour Mg et de 7 à 12 kg/ha pour P.

Les parties aériennes des bananiers coupés puis répandus au sol constituent donc non seulement un paillage important en surface (6-11 t/ha) mais permettent aussi une restitution minérale au sol non négligeable : par exemple, la restitution en K par les résidus représente près de 30% du besoin potassique d'une bananeraie de 2000 pieds/ha pour un cycle ou encore celle en Ca vaut près de 26% du besoin du bananier durant son cycle.

Dès lors, sans une éventuelle menace de parasitisme (fongique ou tellurique) ou d'intempéries (tempêtes tropicales), une bananeraie établie pourrait *a priori* avoir une grande longévité puisqu'elle a un "turn-over" des éléments chimiques ou nutritifs régulier et assez important (restitution des résidus au sol) en plus d'avoir des plants à caractère pérenne. Nous verrons ultérieurement que ce paillage, une fois organisé dans la parcelle, intervient sur les processus de ruissellement et d'érosion hydrique.

Résumé

Dans les Antilles françaises, la culture bananière s'est développée très tôt (1516-1623) en raison d'un climat chaud et humide. Face à une demande croissante en banane, elle s'est de plus en plus intensifiée jusqu'à jouer un rôle économique important avec près de 20000 emplois créés et avec des cultivars "Cavendish" occupant près de 11200 ha (soit 11% de la superficie de l'île) en 1997 en Martinique. Sa production fruitière dépend étroitement des aléas climatiques et notamment des tempêtes tropicales et cyclones pouvant détruire les bananeraies.

D'après l'estimation de leur biomasse, les bananeraies martiniquaises âgées d'au moins 2 ans fournissent un paillage sec important au sol (6 à 11 t/ha) et lui restituent des éléments chimiques en quantité non négligeable (par exemple, 2740 à 4432 kg/ha de C ou 323 à 523 kg/ha de K (soit près de 30% du besoin en K durant un cycle)). Sans la menace de parasitisme ou d'intempéries, elles pourraient *a priori* avoir une grande longévité avec un "turn-over" régulier des matières végétales produites et avec des plants à caractère pérenne.

2.3 – Station de "Rivière Lézarde" (RLZ en abrégé)

2.31 – Localisation et généralités

L'exploitation bananière "Rivière Lézarde" (RLZ en abrégé) appartient au CIRAD-FLHOR. Elle se trouve dans la région centrale de l'île, à environ 20 km au nord-est de Fort-de-France, plus précisément aux coordonnées géographiques de la carte IGN "Trinité" : X=715; Y=1621. Elle est accessible par la route nationale N1 en direction du Robert, puis par la départementale D3 vers la commune du Vert-Pré (carte 2.6).

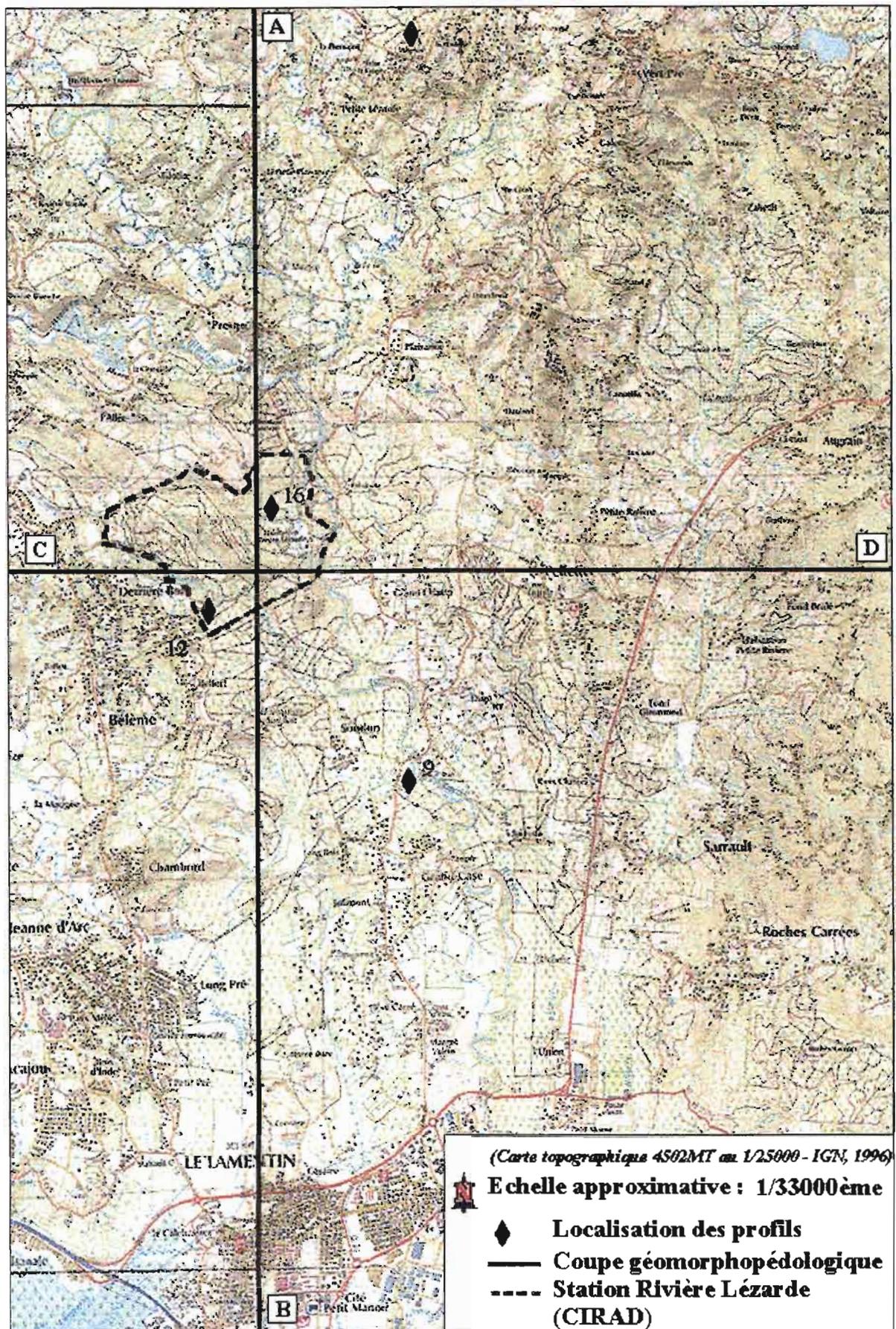
Elle présente une superficie totale de 110 ha dont 61 ha sont cultivés en banane. La plantation est divisée en différentes bananeraies entourées de pistes ou traces empierrées (tableau 2.4 et carte 2.7). Suite à un plan de restructuration, le domaine connaît une nette progression tant au niveau du rendement par hectare (de 16,7 en 1994 à 39,1 en 1998) qu'au tonnage de bananes exportées (de 570 t de fruits en 1994 à 2000 t exportés en 1998 (MELIN, communication personnelle).

2.32 – Topographie et géomorphologie

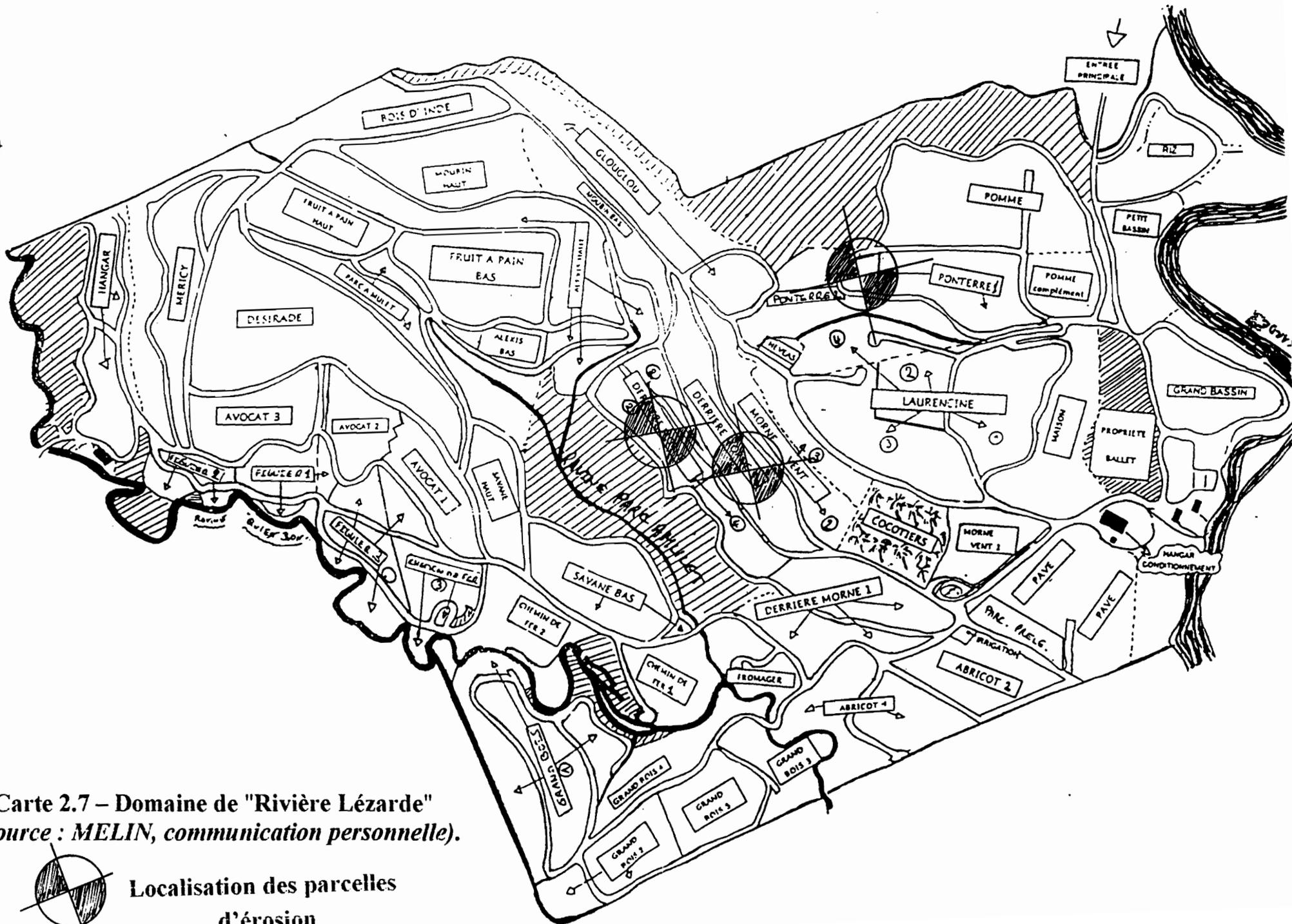
Ces parcelles de bananiers sont réparties sur un relief accidenté et irrégulier, avec des versants ou flancs de mornes entrecoupés de ravines assez profondes. L'altitude varie de 38 m à 110 m, soit une dénivelée moyenne de 72 m sur une distance de moins de 1 km.

Ainsi, l'on peut trouver des bananiers plantés sur des versants à géomorphologie et aux pentes variées : de la parcelle cultivée sur versants linéaires à faible pente (d'inclinaison $p = 6$ à 10%) à celle grim pant sur des côtes concavo – convexes de pente forte ($p = 25\%$) à très forte ($p = 40\%$). Cette situation si caractéristique des plantations de l'île s'explique par la faible superficie insulaire (1080 km²) et la forte pression démographique (environ 400 habitants/km²) qui incitent à exploiter la moindre surface cultivable, voire à planter sur de très fortes pentes dans les domaines agricoles.

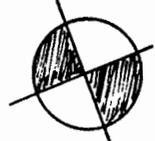
Ces parcelles disposent de drains profonds (1 m de profondeur) et d'exutoires enrochés, aménagements de lutte anti-érosive qui sont d'ordinaire utilisés dans les plantations bananières martiniquaises.



Carte 2.6 – Localisation de la station du CIRAD Rivière Lézarde et tracés des coupes géomorpho-pédologiques (AB) et (CD) (Source : COCU, 1999).



Carte 2.7 – Domaine de "Rivière Lézarde"
 (Source : MELIN, communication personnelle).



Localisation des parcelles
 d'érosion

**Tableau 2.7 – Etat parcellaire de l'exploitation du CIRAD-FLHOR
"Rivière Lézarde" (Source : ROCH, 1999).**

Nom de la parcelle	Surface (ha)	Nombre de pieds	Densité (pied/ha)	Occupation du sol	Antécédent cultural	Dispositif de plantation	Date de Plantation (semaine/an)	Observations
Grand bassin	1,6	-	-	Agrumes et goyaviers	-	-	-	Collections variétales
Petit bassin	2,7	-	-	Ananas et agrumes	-	-	(ananas:1994)	Essai prévu fin 98 Collections variétales
Pomme	4,1	-	-	Agrumes	-	-	1995	Essai porte-greffe
Abri cot 1	1,67	3042	1822	Bananiers	?	pérenne	52/98 - 1/99	
Abri cot 2	1,25	2265	1812	Bananiers	Ananas	2,2*2,5	33-40/1996	
Alexis bas	0,69	1316	1907	Bananiers	Agrumes	2,15*2,45	34-35/1995	
Alexis haut	2,57	4887	1902	Bananiers	Agrumes	2,15*2,45	34-35/1995	
Avocat 1	1,12	2240	2000	Bananiers	?	pérenne	Mai/1990	Aménagt pour plant. 99
Avocat 2	1,08	2160	2000	Bananiers	?	pérenne	Juillet/1992	Aménagt pour plant. 99
Avocat 3	1,36	2720	2000	Bananiers	?	pérenne	41/1993	Aménagt pour plant. 99
Bois d'Inde	1,29	2441	1892	Bananiers	Agrumes	2,15*2,45	23/95 et 3/96	
Chemin de fer 1	1,04	1883	1811	Bananiers	Jachère	2,2*2,5	32-36/1995	
Chemin de fer 2	0,72	1300	1806	Bananiers	Jachère	2,2*2,6	32-36/1995	
Chemin de fer 3	1,58	2880	1823	Bananiers	Jachère	2,2*2,7	32-36/1995	
Derrière morne 1	1,98	3601	1819	Bananiers	Bananiers	pérenne	23/84 - 1994	
Derrière morne2	1,34	2430	1813	Bananiers	Jachère	2,2*2,5	07/08/95	Essai érosion 99
Derrière morne3	1,69	3074	1819	Bananiers	Bananiers	pérenne	?	Essai érosion 99
Derrière morne 4	0,77	1399	1817	Bananiers	?	pérenne	1993	
Désirade	3,38	6406	1895	Bananiers	Agrumes	2,15*2,45	33/94-3/95-11/95	
Figuier 1	0,71	1282	1806	Bananiers	?	1,5*2,8*3,6	27/91	
Figuier 2	0,96	1750	1823	Bananiers	?	pérenne	31/93	
Figuier 3	1,45	2642	1822	Bananiers	?	2,2*2,5	16-19/97	
Fruit à pain bas	1,99	3772	1895	Bananiers	Agrumes	2,15*2,45	30-37/94	
Fruit à pain haut	1,34	2549	1902	Bananiers	Agrumes	2,15*2,45	42-44/96	
Glouglou	1,35	2560	1896	Bananiers	Manguiers	2,15*2,45	22-23/95	
Grand bois1	2,87	5210	1815	Bananiers	?		46-51/97	
Grand bois2	0,86	1811	2106	Bananiers	Bananiers	1,9*2,5	26/1995	Cycloné en 1998
Grand bois3	0,89	1625	1826	Bananiers	Jachère	2,2*2,5	26-27/97	
Grand bois4	0,42	819	1950	Bananiers	Jachère	ligne jumelée	09/93	
Grand bois5	1,39	2525	1817	Bananiers	Ananas	2,2*2,5	52/96 - 02/97	Aménagt pour plant. 99
Laurencine 1	1,19	2164	1818	Bananiers	Bananiers	2,2*2,5	20-21/96	pseudo-jachère
Laurencine 2	1,07	1945	1818	Bananiers		2,2*2,5	50/96	BA-MR-LEZ Essai :900VP
Laurencine 3	1,22	2226	1825	Bananiers	Jachère	1,75*3,5*2,1	29-32/97	
Laurencine 4	1,35	2456	1819	Bananiers	Jachère	1,75*3,5*2,1	33-34/97	
Méricy	3,4	2190	644	Bananiers	Jachère	-	-	Aménagt pour plant. 99
Morne vent 1	0,84	1593	1896	Bananiers	Jachère	2,15*2,45	40/95	Drainage
Morne vent 2	2,46	4469	1817	Bananiers	Bananiers	1,75*3,5*2,1	1998	
Moubin bas	1,27	2707	2131	Bananiers	?	pérenne	1995	
Moubin haut	2,08	3888	1869	Bananiers	?	pérenne	1995	
Parc à mulet	1,46	2776	1901	Bananiers	Agrumes	2,15*2,45	45/94 - 3/95	
Pavé	0,46	845	1837	Bananiers			1998	Parcelle prélèvement
Ponterre 1	1,81	3290	1818	Bananiers	Agrumes	2,2*2,5	24/96	Essai érosion 99
Ponterre 2	1,19	2167	1821	Bananiers	Agrumes	2,2*2,5	26/96	
Savane bas	2,04	4258	2087	Bananiers	?	pérenne	31/92 - 2/93	
Savane haut	1,15	2082	1810	Bananiers	?	pérenne	49/93	

2.33 – Climat et agressivité des pluies à RLZ

RLZ connaît un climat tropical insulaire avec une pluviosité annuelle moyenne comprise entre 2000 et 2500 mm (carte 2.2) et une température moyenne annuelle d'environ 26 °C. Deux saisons contrastées, d'une durée de six mois chacune, s'échelonnent tout au long de l'année :

- le carême (de janvier à juin) est plus sec (pluies mensuelles faibles, de 96 à 168 mm) et plus frais (température moyenne mensuelle variant de 24 à 26 °C) ;
- l'hivernage (de juillet à décembre) est plus arrosé (pluies mensuelles variant de 232 à 328 mm) et plus chaud (température moyenne mensuelle stabilisée autour de 26 °C) (tableau 2.8 et figure 2.3).

Tableau 2.8 – Données moyennes de la météorologie à Rivière Lézarde (Saint – Joseph) de 1978 à 1998 (d'après METEOFRACTANCE).

Année Moyenne	Mois	T min. °C	T max. °C	T moy. °C	P mm	P en 24h mm/24h	ETP mm
1976	Janv.	20,9	27,9	24,4	144,5	32,0	117,2
	Fév.	20,8	27,9	24,5	96,7	25,1	125,8
	Mars	21,1	28,1	24,7	102,0	17,9	142,8
	Avril	21,9	28,8	25,4	131,7	34,1	152,6
	Mai	22,9	29,3	26,1	153,4	37,8	146,5
	Juin	23,7	29,3	26,6	167,7	44,3	139,5
1998	Juillet	23,7	29,4	26,5	232,0	48,6	144,0
	Août	23,5	29,7	26,6	295,3	86,0	138,2
	Sept.	23,1	29,8	26,5	299,2	82,6	118,7
	Oct.	22,7	29,7	26,3	294,8	50,9	115,5
	Nov.	22,4	29	25,8	327,8	53,7	103,7
	Déc.	21,6	28,3	25,0	174,5	27,3	100,7
Moyenne annuelle		22,4	28,9	25,7	2419,7	45	1545
Maximal mensuel					327,8	86	152,6

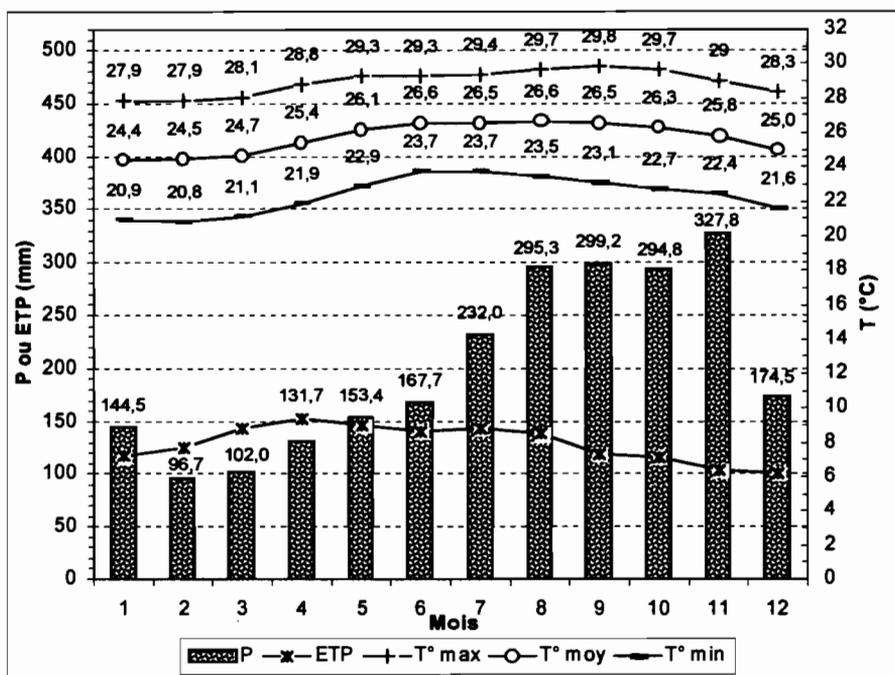


Figure 2.3 – Hydrogramme moyenne des pluies et courbes moyennes d'évapotranspiration potentielle (ETP) et de température à RLZ de 1978 à 1998 (d'après METEOFRACTANCE).

Il faut noter que pendant le carême, la sécheresse sévit de février à mai avec un déficit hydrique accusé : la courbe d'ETP est plus forte de 20 à 40 mm que la pluviosité mensuelle (figure 2.3). L'irrigation par aspersion souvent utilisée en bananeraie prend ici tout son importance et s'avère donc vitale pour palier le déficit hydrique du sol et le stress du bananier (consommation d'eau moyenne du bananier = 180 mm/mois).

Par ailleurs, la figure 2.3 montre qu'en période sèche, les pluies sont assez proches de l'E.T.P. et que durant la saison humide, elles le dépassent très nettement : ce qui laisse envisager un risque important de ruissellement et/ou de drainage.

Bien que le climat de RLZ a été déterminé précisément, aucune donnée ne permet jusqu'ici d'évaluer l'agressivité des pluies (indice R en J/m²/h ou t/ha), facteur primordial déclenchant le ruissellement et l'érosion hydrique et établi par WISCHMEIER et SMITH (1978). Selon ces auteurs, cet indice d'agressivité R peut se définir à partir de l'intensité maximale de l'averse durant 30 minutes et de l'énergie cinétique des gouttes de pluies.

Nous avons alors cherché à estimer cette agressivité des pluies à partir des données météorologiques de METEOFRANCE. Son estimation s'est faite indirectement avec d'une part les hauteurs de pluies quotidiennes enregistrées depuis 1976 à 2000, d'autre part la modélisation de R établie d'après les mesures de l'intensité des averses à RLZ durant les deux années 1999 et 2000. L'agressivité des pluies (ou indice R moyen annuel) établie sur une période de près de 20 ans (1976-2000) s'élève à 915 J/m²/h (ou t/ha) avec des R annuels extrêmes allant de 547 J/m²/h en 1997 à 1345 J/m²/h en 1995.

Cet indice R n'est pas lié directement à la pluviosité annuelle. Mais le rapport $R / \text{Pluviosité annuelle moyen}$ donne un coefficient a caractérisant l'influence du relief et du climat sur l'agressivité des pluies. En effet, en Afrique de l'ouest, ROOSE (1977) a montré que ce coefficient a vaut successivement : 0,5 dans la majorité des cas ; 0,6 à proximité de la mer (<40 km) ; 0,2-0,3 en montagne tropicale et 0,1 en montagne méditerranéenne.

Or pour RLZ, ce coefficient a est égal à 0,37 malgré la proximité (<20 km) et l'influence de l'océan Atlantique et de la mer des Caraïbes. Il montre alors que la pluviosité importante (en moyenne $P = 2420$ mm) serait constituée en grande partie de fines pluies, peu agressives.

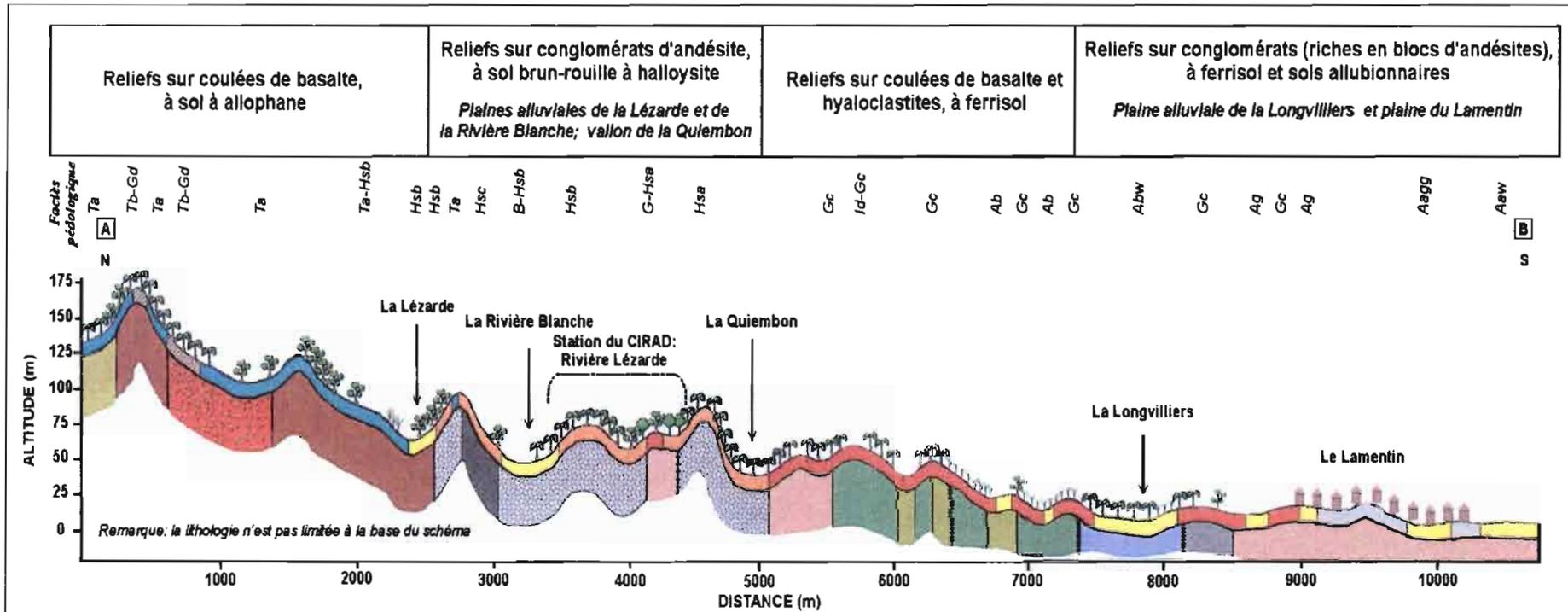
L'influence maritime semblerait *a priori* apporter une humidité élevée avec de petites pluies. Mais, les risques d'érosion hydrique restent tout de même importants en raison du passage des perturbations cycloniques en saison humide.

2.34 – Géologie de RLZ

D'après la carte géologique de la Martinique au 1/50 000^{ème} (WESTERCAMP et ANDREIEFF, 1989), les formations volcaniques rencontrées à RLZ appartiennent aux édifices du morne Jacob et des Pitons du Carbet (WESTERCAMP et ANDREIEFF, 1989) :

- 9C (0,9 MA) : conglomérats et coulées d'andésites issues du volcanisme des Pitons du Carbet,
- 2-5C (2,2 MA) : conglomérat polygénique grossier ou formation de remaniement, incorporant des matériaux érodés issus de l'ancien relief du morne Jacob et des coulées massives d'andésites lors de sa 2^{ème} phase volcanique.

Les coupes AB et CD réalisées par Nadège COCU (1999) rendent mieux compte de la répartition des formations volcaniques rencontrées.



Echelles approximatives :
 - Longueur : 1/45000
 - Hauteur : 1/5300

Coupe AB - Coupe N-S géomorpho-pédologique de la région centrale de la Martinique (Station de Rivière Lézarde - CIRAD)

(Source : H. COCO, 1999)

Document réalisée à partir de la carte topographique 4502 MT Le Lamentin au 1/25000 - IGN 1996 ;
 de la carte géologique de France: feuille La Martinique au 1/50000 - BRGM 1990 et des cartes des sols n°10: St-Joseph-Vert-Pré,
 n°12: Hauteurs de Fort-de-France et n°14: Fort-de-France - Le Lamentin au 1/20000 - ORSTOM 1969

GEOLOGIE

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> C (0,9 MA) : conglomérat (Volcanisme des Pitons du Carbet) 9ab1 (0,9 MA) : Dôme et coulée de lave (Volcanisme des Pitons du Carbet) 2⁵C (2,2 MA) : Conglomérat polygénique (Volcan bouclier du Morne Jacob) 1β ; 1α (3 MA) : Coulée de basalte et d'andésite (Volcan bouclier du Morne Jacob) 1Cα (4 MA) : Conglomérat à galet de lave (Volcan bouclier du Morne Jacob) | <ul style="list-style-type: none"> pαm 2b (11,5 MA) : Coulée d'andésite (Volcan sous-marin du Vauclin-Pitault) Hm 2b (12 MA) : Brèches fines à verre volcanique (pillew lava) (Volcan sous-marin du Vauclin-Pitault) pβm 2a (14,8 MA) : Coulée de basalte de Vert-Pré (Volcan sous-marin du Vauclin-Pitault) Hm 2a (15,5 MA) : brèches de verre, tuffite et coulée de débris (Volcan sous-marin du Vauclin-Pitault) Faille |
|---|---|

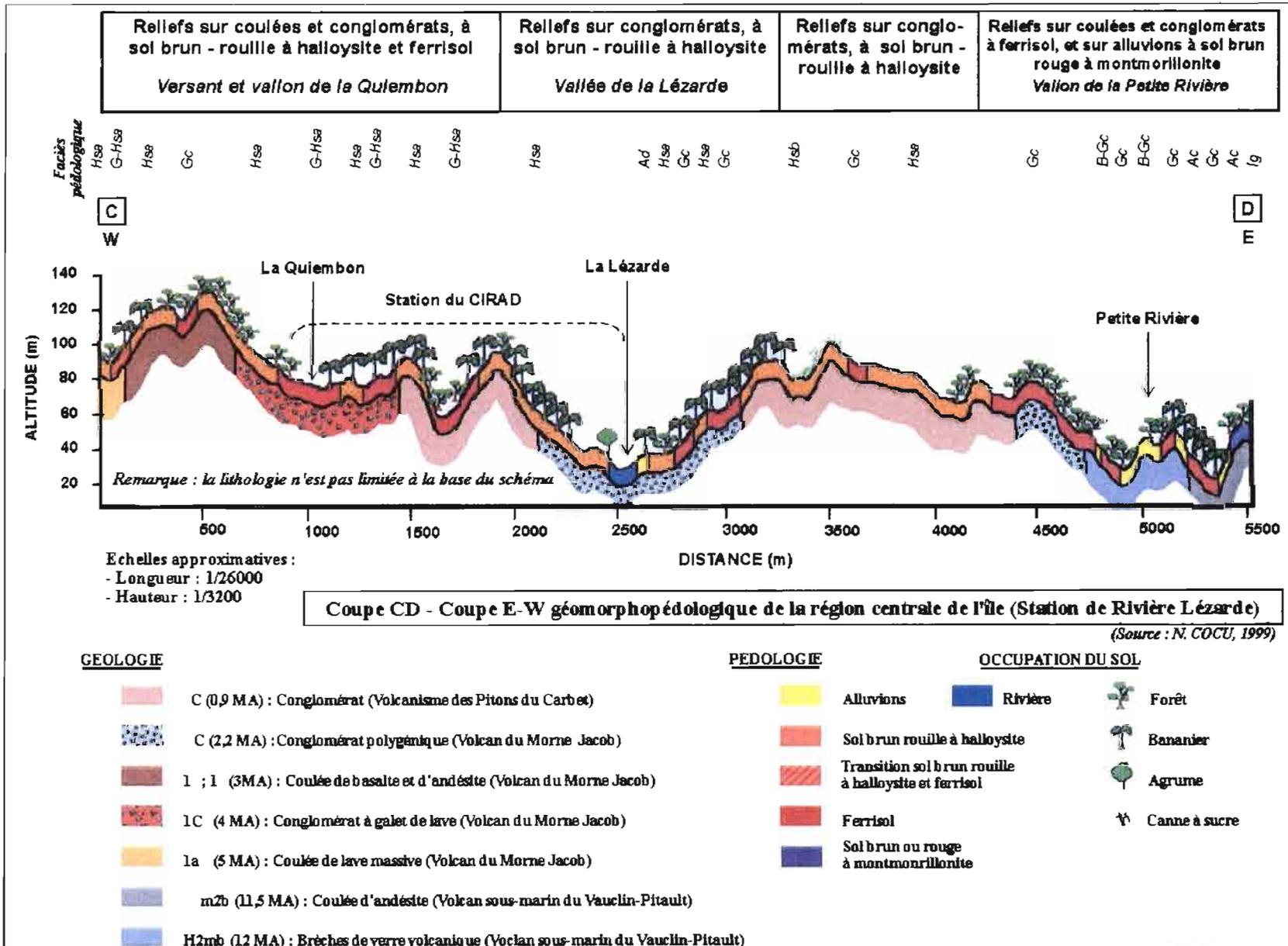
PÉDOLOGIE

- Sol à allophane
- Transition sol à allophane et ferrisol
- Sol brun rouille à halloysite
- Transition sol brun rouille à halloysite et ferrisol
- Ferrisol

Alluvions

OCCUPATION DU SOL

- Forêt
- Bananier
- Agrume
- Canne à sucre
- Habitation
- Ville



2.35 – Pédologie et séquences topo-climatiques de RLZ

D'après la carte pédologique de la Martinique (COLMET-DAAGE et LAGACHE, 1965), le sol rencontré à RLZ est de type sol brun rouille à halloysite ou sol brun tropical appartenant aux groupes des sols jeunes (âge < 5000000 ans) formés sur des roches volcaniques récentes du morne Jacob et des Pitons du Carbet. Les mêmes auteurs suggèrent l'étroite parenté de ce sol brun rouille à halloysite avec les sols peu évolués à allophane par la pédogenèse climatique : selon une gradation d'une zone humide vers une autre à saison sèche plus marquée, il y a transformation irréversible des allophanes en argile 1/1 (halloysite ou kaolinite hydratée) par alternance de cycle humectation – dessiccation (COLMET-DAAGE et LAGACHE, 1965).

D'ailleurs, Nadège COCU (1999) a montré cette évolution des sols à travers deux transects N-S et E-W de la région centrale (carte 2.7). Sur les coupes N-S et E-W, elle distingue quatre unités suivantes (coupes AB et CD).

- *Unité 1 - Reliefs sur coulée de basalte, à sol à allophane.* Situé entre 75 à 175 m d'altitude, elle est caractérisée par des sols à allophane formés sur des coulées de basaltes ancien $\beta\text{m}2\text{a}$ (15 MA) et récent 1β (3 MA) et de conglomérats de coulées andésitiques 1aa (5 MA), le tout recouvert par des projections de la montagne Pelée. (NB: il y a localement des transitions sol à allophane – ferrisol qui sont interprétées comme l'apparition du ferrisol sous-jacent après un décapage des formations de couverture.)

- *Unité 2 - Reliefs sur conglomérats et coulées d'andésite, à sol brun rouille à halloysite.* C'est sur cette unité que se trouve la station RLZ. Située entre 30 et 100 m d'altitude, elle est caractérisée par des sols brun rouille à halloysite formés sur des roches volcaniques du morne Jacob $2-5\text{C}$ (2 MA) et des Pitons du Carbet 9C (<1 MA). Ce sol brun semble avoir une gradation de texture, due probablement à son altération et à l'influence des sols voisins : il est moins argileux au voisinage du sol à allophane et le devient plus au contact des ferrisols. (NB: il y a localement de sols à allophane, situés sur des dômes hauts de 100 m (conditions topo-climatiques propices à leur maintien) et des sols alluvionnaires nichés dans les plaines alluviales de la Rivière Lézarde et de la Rivière Blanche.)

- *Unité 3 - Reliefs sur coulées de basalte et hyaloclastites à ferrisol.* Situé entre 20 et 60 m d'altitude, cette unité porte des ferrisols (faciès Gc dominant) formés sur des roches volcaniques anciennes de la chaîne du Vauclin-Pitault $\text{Hm}2\text{a}$ (15,5 MA) et $\beta\text{m}2\text{a}$ (15 MA). La juxtaposition entre formations volcaniques récentes au nord et anciennes au sud est assurée par la présence de failles, liées à la tectonique de l'unité 4. (NB : ces ferrisols semblent occuper des positions concaves sur les versants.)

- *Unité 4 - Reliefs sur conglomérats, à ferrisol et sol alluvionnaire.* Situé à basse altitude (<20 m), cette unité est une plaine alluviale (celle de la Longvilliers), caractérisée par deux failles laissant supposer un effondrement identique à la plaine du Lamentin. Les sols rencontrés sont des ferrisols (Gc) et surtout des sols alluvionnaires (Abw, Ag, Aagg) formés sur différents matériaux de la chaîne du Vauclin-Pitault et sur des conglomérats du Carbet 9C (<1 MA). Ces sols de plaine présentent un gradient d'hydromorphie du nord au sud, avec des sols à faciès successifs de pseudogley (Abw), puis gley (Ag), voire à faciès gonflant (Aagg).

Ces coupes mettent en évidence d'une part l'opposition entre sols jeunes (sol à allophane et sol à halloysite) formés sur des matériaux volcaniques récents au nord (Unités 1 et 2) et sols anciens (ferrisol) développés sur d'anciennes roches-mères au sud (Unités 3 et 4) ; d'autre

part la parenté des sols brun rouille à halloysite avec les sols à allophane, situés plus en hauteur (COCU, 1999).

Cette parenté sol à allophane – sol à halloysite s'expliquerait par une altération plus poussée sur la roche-mère. En effet, à plus basse altitude (<80 m d'altitude) et plus exposés à une saison sèche marquée (*Unité 2*), les formations volcaniques récentes semblent plus altérées et donnent des sols à halloysite tandis qu'en conditions de haut relief avec une saison sèche réduite (*Unité 1*), ces mêmes roches, moins altérées, donnent naissance à des sols à allophane. A cette altération due à la topographie et au climat, s'ajoute une différence granulométrique des matériaux volcaniques (projections aériennes). Les matériaux fins, plus facilement transportés par le vent, sont déposés à des distances plus grandes, loin de leur source et à de basses altitudes. L'altération est plus rapide sur ces matériaux fins et elle pourrait expliquer en partie une différenciation des sols à allophane et à halloysite (COCU, 1999).

En poursuivant cette hypothèse d'une pédogenèse de plus en plus poussée des allophanes aux halloysites, on pourrait supposer un lien éventuel entre sols à halloysite et ferrisols. En effet, leur juxtaposition sur les séquences topo-climatiques suggère un lien de parenté expliqué probablement par une altération encore plus poussée des sols à halloysite vers les ferrisols, avec non seulement l'intervention des facteurs topographique et climatique mais aussi et surtout la durée d'altération (ferrisols plus anciens que les sols à halloysites).

La hiérarchisation des sols de cette région centrale pourrait alors être schématiser suivant cette séquence synthétique ci-dessous (figure 2.4).

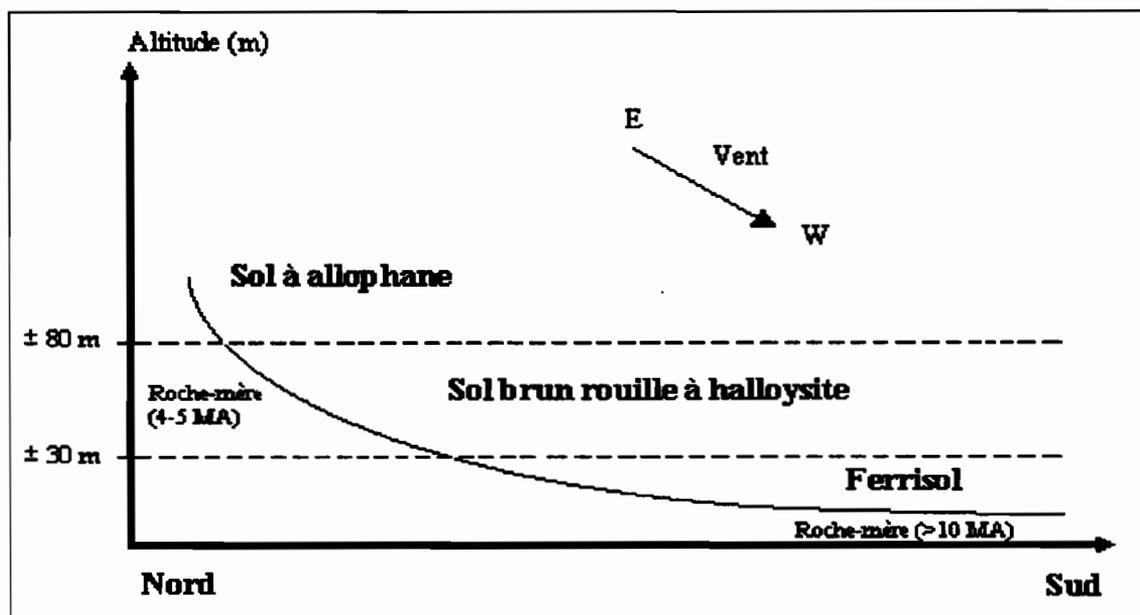


Figure 2.4 – Schéma synthétique de la disposition des sols volcaniques rencontrés dans la région centrale de la Martinique (d'après N. COCU, 1999).

La station RLZ se situe donc sur un sol brun rouille à halloysite formé sur des matériaux volcaniques (conglomérats et coulées d'andésites).

2.36 – Description du sol brun rouille à halloysite

a) – Description du sol brun rouille à halloysite

Cette description s'est faite à partir d'une fosse ouverte jusqu'à -1,80 m dans la bananeraie "Ponterre" à pente modérément forte (p=10%), de densité bananière d=2764 pieds/ha et plantée en quinconce, suivant un maillage rectangulaire 2,2x2,5 m (figure 2.5).

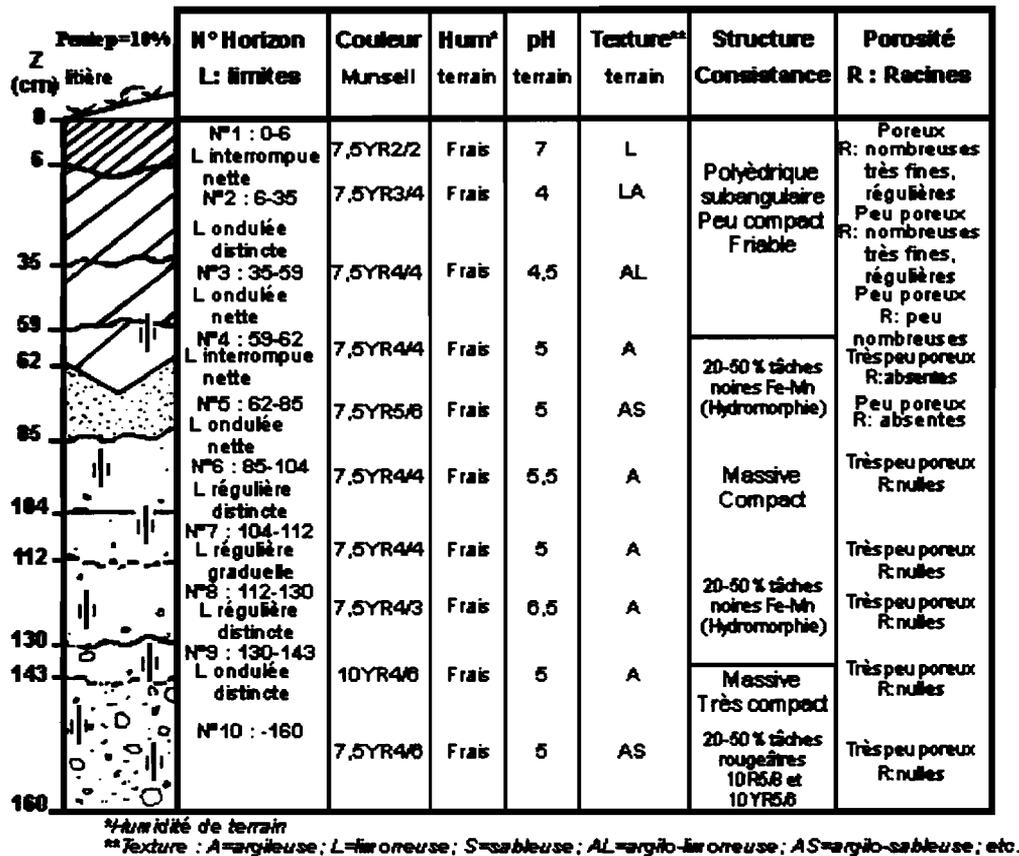


Figure 2.5 – Description du sol brun rouille à halloysite (faciès Hsa) à partir d'une fosse d'observation (profil réf. : NGP 16) en 03/99 (d'après COCU, 1999).

Globalement, deux grandes unités se distinguent : les horizons cultivés et les horizons structuraux en profondeur (COCU, 1999).

Les horizons cultivés sont caractérisés par un développement racinaire important (jusqu'à -59 cm), une couleur brun foncé (7,5YR2/2 à 7,5YR4/4), un pH acide (sauf pour l'horizon de surface dû à un chaulage) et une texture argileuse. La couleur du sol peut d'ailleurs devenir terne après écrasement aux doigts des échantillons. A -60 cm du sol, il y a un niveau (35-59) très marqué par un travail du sol profond, avec notamment le passage de dents du sous-solage. Les horizons profonds sont caractérisés par une structure plus massive et un sol plus compact. A partir de -60 cm, il y a un horizon appauvri en argile E et de couleur brun rouille (7,5YR5/6). La transition vers les niveaux profonds est graduelle, avec un enrichissement en argiles vers -85 cm. En profondeur, il semble y avoir deux roches-mères pédologiques : l'une caractérisée par des tâches et des recouvrements de fer - manganèse traduisant une hydromorphie temporaire ou de pente selon COLMET-DAAGE et LAGACHE (1965); l'autre caractérisée par une compacité accrue et des tâches plus rouille, interprétées comme le produit de l'altération de projections grossières (COLMET-DAAGE et LAGACHE, 1965 ; CHEVIGNARD, 1985).

- Test d'infiltration (monocylindre d'infiltration)

Par ailleurs, la capacité d'infiltration de ce sol brun à halloysite a été estimée à l'aide de monocylindre d'infiltration de 100 cm² (ROOSE, 1999). D'après cette méthode décrite ailleurs, cette capacité d'infiltration peut varier de 1 à 1000 mm/h en fonction de l'humidité préalable, de la texture et surtout de la structure du sol et de sa stabilité en surface (ROOSE et al., 1993 ; ROOSE, 1996).

Selon ROOSE (1999), sur ce sol cultivé en bananeraie, la vitesse finale d'infiltration (FI) testée en surface et après 100 mm d'irrigation varie de :

- FI > 800 mm/h sur des zones d'enfouissement de litière (piège d'eau par infiltration),
- FI de 90 à 300 mm/h sur des croûtes fissurées,
- FI de 60 à 150 mm/h sur des zones creuses et granuleuses (piégeage d'agrégats),
- FI de 15 à 30 mm/h sur des zones compactes non fissurées en surface.

En profondeur, FI vaut 30 à 140 mm/h au sommet de la couche argileuse et compacte (50-60) recouvrant le passage de dent du sous-solage, puis augmente après cette limite à 300 mm/h.

Le sol en surface comporte donc des zones hétérogènes qui ont des capacités d'infiltration spécifiques. En profondeur, le niveau argileux (50-60) semble limiter l'infiltration qui augmente après la discontinuité. Sous une pluie érosive, le ruissellement pourrait alors se former précocement sur les zones compactes et son cheminement s'organiserait suivant la répartition de ces zones tassées. Ce ruissellement pourrait être favorisé aussi par la présence d'un niveau argileux et compact limitant l'infiltration de l'eau dans le sol. Il jouerait en effet le rôle d'une semelle de tassement lié au sous-solage profond du sol.

b) – Caractérisations au laboratoire

Afin de compléter la description du sol, des analyses physiques et chimiques ont été faites sur des échantillons prélevés à différents horizons (COCU, 1999). La texture du sol a été mesurée par la méthode de la granulométrie au laser (annexe 1), les taux de C et N organiques par combustion au CNS au laboratoire « Biologie et Organisation des Sols Tropicaux » de l'IRD Martinique – Caraïbes. Les bases échangeables sont déterminées par percolation d'Acétate d'ammonium, et le phosphore assimilable par la méthode TRUOG, au laboratoire de pédologie du CIRAD-FLHOR (ROSALIE, 1999).

Les résultats sont présentés dans le tableau 2.9.

Par ailleurs, la nature des argiles a été déterminée par diffraction au rayon X des échantillons de sol issus du profil (COCU, 1999). Cette analyse aux rayons X consiste à déterminer les distances interfoliaires des minéraux argileux du sol, après différents traitements des échantillons. Généralement, il y a trois traitements déterminant la nature des argiles : 1) – en condition normale ; 2) – chauffage des échantillons à 110°C et 550°C ; 3) – bain à l'éthylène glycol (traitement gonflant les feuillets de certaines argiles (smectite) et leur distance interfoliaire par substitution des molécules de la couche d'eau par des molécules d'alcool).

Mais, dans le cas des sols à halloysites, le séchage des échantillons avant la diffraction aux rayons X provoque une confusion entre halloysite déshydratée et kaolinite. Pour les distinguer, THENG et al. (1984) suggèrent un autre traitement à la formamide qui va différencier l'halloysite de la kaolinite par une diffraction sortant à 10 nm au lieu de 7 nm. En effet, la formamide va s'insérer abondamment et rapidement dans les halloysites, provoquant un gonflement de l'argile et une diffraction à 10 nm tandis qu'elle agit plus lentement et de manière incomplète dans la kaolinite.

Les deux figures 2.4a et 2.4b montrent les pics de la diffraction correspondant aux différentes distances interfoliaires des argiles.

Tableau 2.9 – Caractéristiques physiques et chimiques du profil du sol brun rouille à halloysite à partir de la fosse d'observation de la parcelle "Ponterre" (d'après COCU, 1999).

Profil réf. : NGP 16		Ech	Couches de sol de profondeur : \longrightarrow + profond							
Profondeur (cm)	Composite	0-6	6-28	28-52	59-73	87-106	106-114	114-136	136-160	
Côte moy. Z (cm)	0-25	-3	-17	-40	-66	-97	-110	-126	-148	
Humidité résid.		11,8	11	11,6	14,1	5,2	5,1	6,5	2,8	
PHeau	4,8	7,1	4,9	5	5,6	6,1	6,4	6	5,9	
PHKCl	4,3	6,7	3,9	3,9	4,4	5,5	5,7	5,7	4,9	
Fraction Minérale*	Eléments Gross.	1,65	1,9	1,4	1,2	3,7	3,5	7,3	9	1,1
	Arg %	49,8	44,7	54,9	65,4	35,2	54,5	52	45,7	71,7
	Lim %	27,7	29,6	25,8	18,3	33,1	20,6	20,9	29,2	17,4
	Sab %	22,5	25,7	19,3	16,3	31,7	24,9	27	25,1	11
	Texture FAO		A	A	ALO	LA	A	A	A	ALO
Fraction Organique	C total %	1,7	4,9	1,4	1,4	0,7	ND	ND	ND	ND
	N total%	0,17	0,43	0,15	0,13	0,07	ND	ND	ND	ND
	Rapport C/N	9,8	11	9,9	10	9,6	ND	ND	ND	ND
	MO estimé** %	2,8	8,4	2,5	2,4	1,2	ND	ND	ND	ND
Bases éch.*** et CEC	Na⁺ mé/100gsol	0,27	0,18	0,29	0,33	0,54	0,41	0,36	0,33	0,41
	K⁺ mé/100gsol	0,88	3,7	0,09	0,04	0,02	0,01	0,01	0	0,14
	Ca⁺⁺ mé/100gsol	4,71	15,96	3,74	3,44	4,21	5,4	5,5	5,6	5,86
	Mg⁺⁺ mé/100gsol	1,9	6,08	1,77	1,35	1,41	1,42	1,53	1,61	1,51
	S mé/100gsol	7,76	25,92	5,89	5,16	6,18	7,24	7,4	7,54	7,92
	CEC mé/100gsol	11,1	25,9	10,8	11,2	10,5	12,3	12,1	11,4	13,1
	V (S/CEC) %	69,9	100	54,5	46,1	58,9	58,9	61,2	66,1	60,5
	P**** assimilable ppm	4,3	2,4	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

* Texture déterminée par la granulométrie au laser

** Taux de MO estimé à partir du C total multiplié par un coefficient 1,72

*** Détermination des bases échangeables et de la CEC par percolation d'Acétate d'ammonium

**** méthode TRUOG

ND : non déterminée

b1) - Fraction minérale et nature des argiles

Globalement, la texture du profil est argileuse (taux d'argile =35-72%). Seule, la couche (28-52 cm) se distingue des autres couches superficielles, avec une texture plus argileuse. Cette couche semblerait être influencée par des lentilles argileuses des couches sous-jacentes et par le sous-solage profond du sol laissant des zones de matière moins travaillée (tableau 2.9).

Le taux d'argile des couches de surface vaut près de 45 à 56% et il semble inférieur par rapport aux résultats granulométriques des sols superficiels issus des 10 parcelles d'érosion et des profils culturaux (cf. § 2.36 – les parcelles de bananiers étudiées). Cette différence des teneurs argileuses s'expliquerait sans doute par une dispersion incomplète des argiles des horizons de surface, lors de leur analyse granulométrique.

Le taux d'argile des couches en surface serait alors sans doute de l'ordre 60 à 70%.

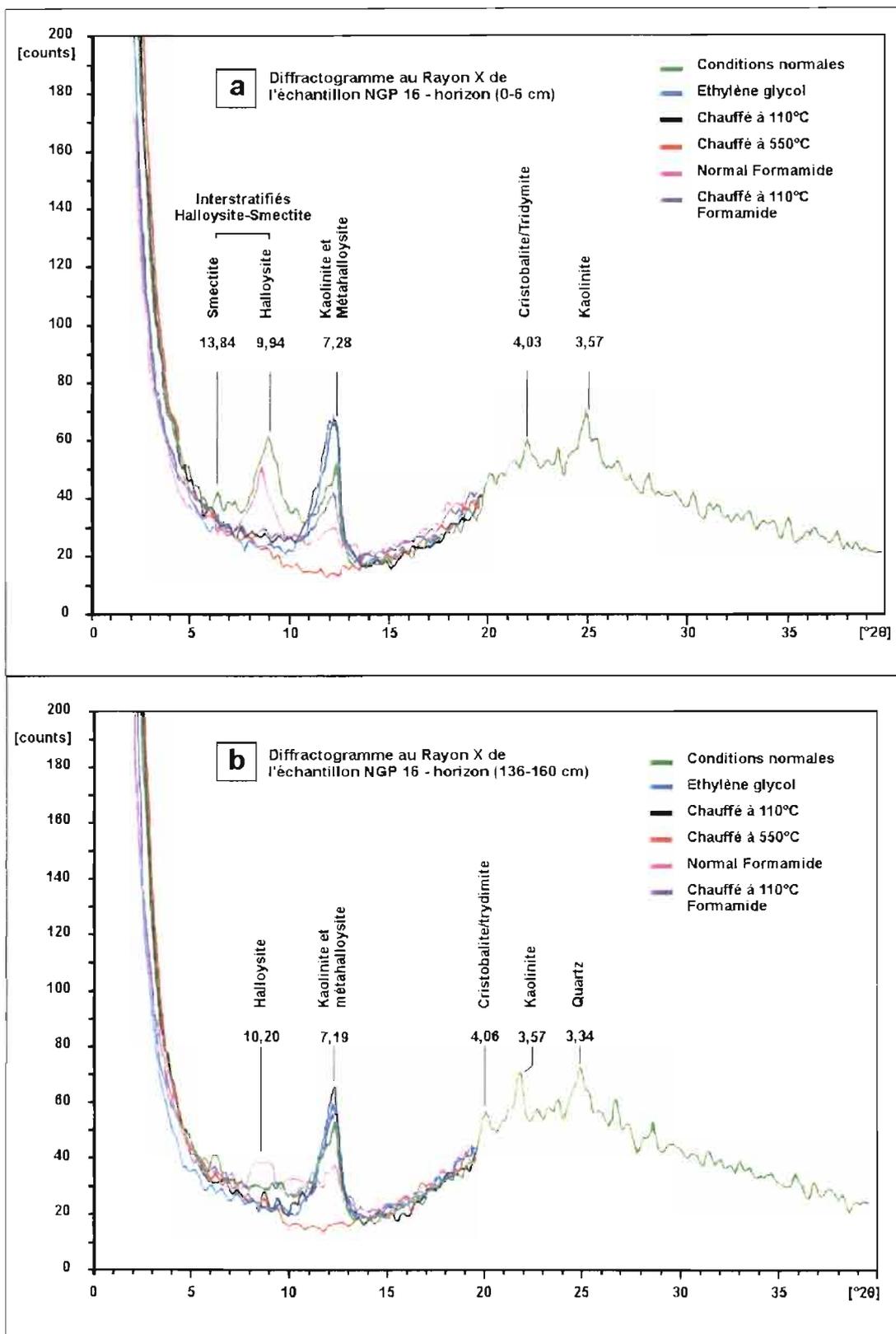


Figure 2.4 – Diffractogramme au rayon X des échantillons de sol brun rouille à halloysite prélevé : a) - en surface (0-6 cm) et b) – en profondeur (136-160 cm) à partir de la fosse de description (d'après COCU, 1999).

b2) - Nature des argiles

Les diffractions aux rayons X montrent des résultats intéressants que l'on distinguera pour la couche de surface (0-6 cm) (figure 2.4a) et pour celle en profondeur (136-160 cm) (figure 2.4b) (COCU, 1999).

En surface (figure 2.4a), plusieurs minéraux sont distincts suivant des pics de diffraction caractérisant leur distance interfoliaire :

- des minéraux de silices amorphes cristobalite et tridymite qui sont des matériaux reliquats des roches volcaniques, témoignant ainsi de la parenté du sol avec sa roche-mère (pic à 4,03 nm) ;
- des argiles kaolinite identifiées d'après leurs pics distinctifs à 7 nm tant en condition normale que sous traitement à l'éthylène glycol, mais disparaissant après chauffage à 110°C ;
- des minéraux argileux halloysite (kaolinite hydratée), caractérisées par un pic à 10 nm en condition normale (sans séchage de l'échantillon avant analyse) et sous traitement à la formamide (après séchage du sol), puis disparaissant après chauffage à 110°C ;
- des argiles inter-stratifiés "halloysite - smectite" selon DELVAUX (1988), caractérisées par un pic à 14 nm en condition normale, puis disparaissant au chauffage à 550°C.

On peut noter que la métahalloysite ou halloysite instable pourrait également être présente dans le sol (pic à 10 nm large). COLMET-DAAGE et LAGACHE (1965) avaient déjà signalé sa présence dans le sol brun rouille à halloysite sous forme de mélange "métahalloysite - halloysite". Par ailleurs, l'halloysite semble avoir un seuil de déshydratation irréversible à 110°C car le traitement à la formamide chauffée à 110°C ne permet de le distinguer de la kaolinite (pas de pic à 10 nm).

En profondeur (figure 2.4b), on trouve les mêmes minéraux que précédemment. Mais, l'halloysite présente un pic à 10 nm peu net et plus faible. D'après l'intensité de ce pic, il semble que dans les niveaux profonds, l'halloysite serait en quantité minoritaire par rapport à la kaolinite (COCU, 1999). L'auteur suggère qu'en profondeur, le sol très argileux (71% d'argiles), constitué principalement de kaolinite, forme un niveau peu perméable propice à maintenir une légère rétention d'eau au niveau des horizons sus-jacents (moins argileux là où se trouve l'halloysite).

b3) - Paramètres agro-pédologiques (tableau 2.9)

Mis à part l'horizon de surface chaulé avant l'observation du profil (pH=7), le sol fait partie de la gamme des sols acides (pH rarement inférieur à 5), convenant à la plupart des plantes cultivées (BOYER, 1982). Ces sols conviennent aussi aux bananiers qui peuvent tolérer généralement des sols de pH allant de 4 à 7.

Le sol est bien fourni en matière organique jusqu'à -50 cm (MO>2%) et semble ne pas connaître de limitations agricoles, selon BOYER (1982). La minéralisation de la MO est bonne, avec un rapport C/N tournant autour de 10%. Le taux d'azote total N est compris dans la fourchette caractéristique de ce sol (N=0,14-0,20%), si l'on se réfère aux travaux antérieurs (MARIE, 1996). Cependant, comme le bananier est une plante exigeante en azote, l'apport de MO pourrait être envisagé pour maintenir au mieux le rendement du bananier.

Le sol ne semble pas présenter de carence en phosphore assimilable, avec une teneur de l'horizon (0-25cm) près de 4,3 mg/100 g sol, soit un taux largement supérieur au seuil limitant décrit de 1 mg/100 g sol (NAYRAL et RENEL, 1998).

La bananeraie a reçu un chaulage (chaux épandue manuellement autour des pieds ou à la volée sur toute la surface parcellaire) une à deux semaines avant la description du profil.

L'analyse chimique de la couche superficielle (0-6 cm) semble donc un peu faussée et ne concorde pas avec les résultats caractéristiques de ce sol brun rouille à halloysite trouvés chez d'autres auteurs (LASSOUDIÈRE, communiqué personnel ; NAYRAL et RENEL, 1998) : taux de saturation S à 100%, taux des bases échangeables très élevés $K^+=3,7$ mé/100 g sol, $Ca^{++}=16$ mé/100 g sol, etc.

Nous nous contenterons donc d'estimer la fertilité chimique du sol à partir des résultats des échantillons composites prélevés sur 0-25 cm et en se basant sur les fourchettes des teneurs établies par des travaux antérieurs (LASSOUDIÈRE, communiqué personnel ; NAYRAL et RENEL, 1998).

Le taux de saturation en bases échangeables S est homogène sur le profil (sauf pour la couche superficielle où $S=100\%$ à cause du chaulage) et s'élève à 70% en surface et à 60% environ en profondeur. Les bases sont donc facilement échangeables et disponibles pour le bananier.

Parmi les bases échangeables intervenant dans la nutrition du bananier, les plus déterminants sont les cations potassium K^+ , magnésium Mg^{++} et calcium Ca^{++} .

- Le taux en K^+ sur (0-25 cm) semble correct (0,9 mé/100 g sol), conformément à la fourchette (0,8-1,5 mé/100 g sol) des autres auteurs, mais il diminue rapidement jusqu'à 0,01 mé/100 g sol en profondeur. Les racines du bananier descendent jusqu'à -60 cm du sol et il pourrait alors y avoir un risque de carence en K.

- Le taux en Mg^{++} est supérieur à 1,5 mé/100 g sol dans l'ensemble du profil. Au niveau de la couche (0-25 cm), ce taux de Mg^{++} (1,9 mé/100 g sol) est conforme à l'intervalle habituel (1,5-3 mé/100 g sol). Mais sur la couche (0-6 cm), il est supérieur à 3 mé/100 g sol et semble trop élevé et surtout il peut entraîner des déséquilibres ioniques selon COLMET-DAAGE (1977).

- Le taux en Ca^{++} est acceptable (4,7 mé/100 g sol) si l'on se réfère à l'intervalle usuel du sol brun à halloysite (4 à 9 mé/100 g sol). Il reste d'ailleurs supérieur à 3,4 mé/100 g sol dans le profil.

Le rapport K/Mg, critère important permettant d'estimer l'équilibre cationique entre K^+ et Mg^{++} , varie généralement entre 0,3 à 0,7 sur les sols brun à halloysite. Or, ce rapport baisse rapidement de 0,46 à 0,05 des couches (0-25 cm) à (6-28 cm) et montre un déséquilibre de la balance entre les cations K^+ et Mg^{++} dans les couches sub-superficielles (6-28 cm).

Le rapport Ca/Mg, quant à lui, est bien supérieur à 2 ($Ca/Mg > 2,5$) sur l'ensemble du profil et montre un équilibre Ca/Mg optimal pour la culture de bananier.

Conclusion

Finally, the determinations of the profile confirm the characteristics of the reddish brown halloysite soil described by COLMET-DAAGE and LAGACHE (1965). This soil is cultivated in banana and presents anthropic traces (deep subsoiling and liming).

L'analyse de la charge cationique montre que globalement le sol superficiel (0-25 cm) présente de bonnes teneurs en bases échangeables, respectant les besoins nutritifs du bananier prescrits sur des sols brun rouille à halloysite et des sols ferrallitiques. Cependant, dans la couche sub-superficielle (6-28 cm), il semble y avoir un déséquilibre cationique entre K et Mg qui pourrait être corrigé par un apport raisonné d'engrais potassique (élévation du taux en K^+ échangeable). Cette analyse montre par ailleurs que les bananiers, plants exigeant en nutriments, réagissent très positivement à des apports d'engrais (N, P, K et Mg).

2.37 – Les bananeraies étudiées à RLZ

L'installation des parcelles de ruissellement et d'érosion doivent intégrer plusieurs critères concernant la pente (morphologie, inclinaison, longueur) l'antécédent cultural, le type de sol, etc. Après prospection de l'exploitation de RLZ, trois bananeraies répondant à ces critères ont été retenues pour l'étude (carte 2.7) :

- celle de "Ponterre" ou PT (1,81 ha) plantée en juin 1996 sur une pente assez forte (d'inclinaison $p=10\%$), homogène, linéaire et tendue,
- celle de "Derrière Morne 3" ou DM3 (1,69 ha) âgée de 2 ans et située sur une pente forte ($p=25\%$),
- celle de "Derrière Morne 2" ou DM2 (1,34 ha) plantée en août 1995 sur une pente très forte ($p=40\%$).

a) – Observation de terrain des trois bananeraies PT, DM3 et DM2

Avant toute installation des systèmes de culture sur ces parcelles, nous avons cherché à caractériser au mieux la structure du sol et l'état racinaire des bananiers. Leurs descriptions ont été établies à partir de profils culturaux de -80 à -140 cm de profondeur suite à l'ouverture d'une fosse dans le rang de plantation (schéma 2.1).

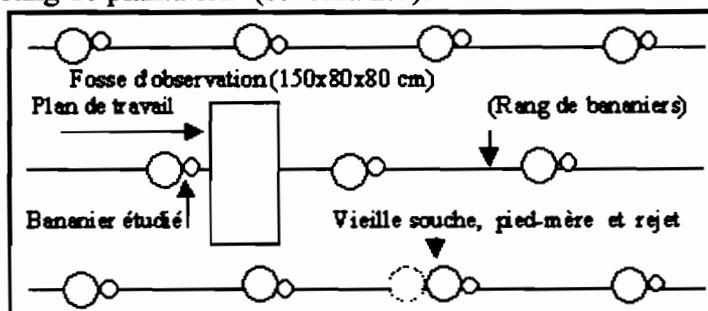


Schéma 2.1 - Position schématique de la fosse d'observation pour le profil cultural sous bananeraie à RLZ (03/1999).

Ces profils culturaux sont décrits suivant une méthode cartographique tenant compte verticalement et latéralement d'une part, de la densité racinaire à partir d'un quadrillage défini, d'autre part de l'état sanitaire des racines (MANICHON, 1982 ; TARDIEU et MANICHON, 1986b). Par ailleurs, DELVAUX et GUYOT (1989) ont décrit des profils culturaux similaires dans les bananeraies intensives martiniquaises et leurs travaux pourront servir de référence pour notre étude.

Les observations sont récapitulées dans les profils culturaux réalisés au pied du bananier (figures 2.5a, 2.5b et 2.5c) et les codes de description des racines sont définis ci-dessous (tableau 2.91).

Tableau 2.91 – Code de description des racines du bananier (diamètre et état sanitaire) (d'après DELVAUX et GUYOT, 1989).

Diamètre et état sanitaire global				
Diamètre racinaire Ø	racines saines	racines nécrosées		racines mortes
		faiblement	fortement	
Ø > 4 mm	○	◐	◑	●
Ø < 4 mm	◌	◐	◑	●

Pour les trois profils culturaux, la zone de prospection racinaire s'étend généralement jusqu'à -60 cm de la surface du sol, avec une densité racinaire totale variant de 78 à 95 racines/m² (figures 2.5a, 2.5b et 2.5c).

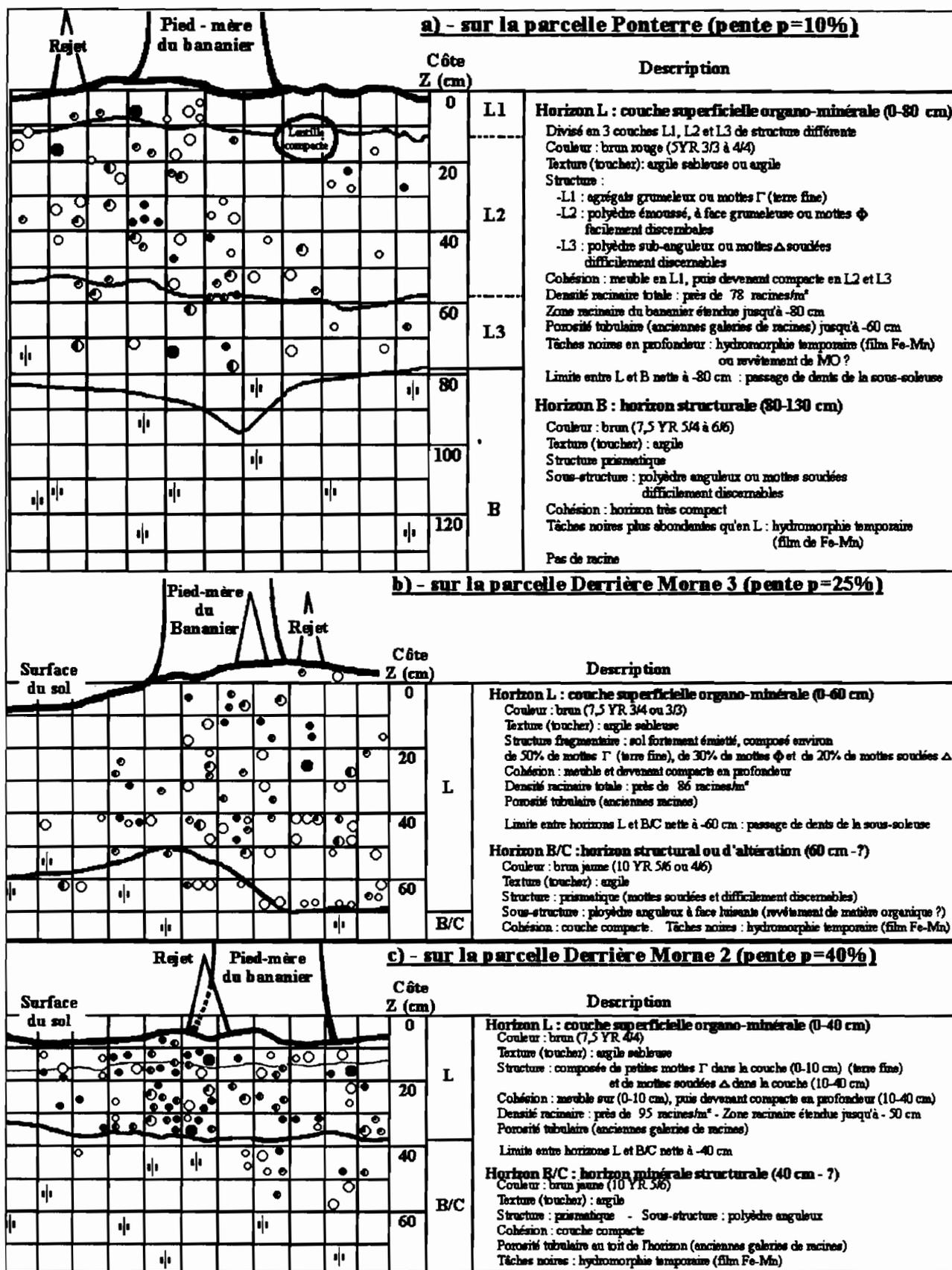


Figure 2.5 – Profils culturaux établis sur les 3 bananeraies accueillant les 10 parcelles d'érosion :

a) – "Ponterre" PT ; b) – "Derrière Morne 3" DM3 ; c) – "Derrière Morne 2" DM2.

Sur les parcelles PT et DM3, les racines des bananiers sont relativement en bonne santé, avec plus de 70% de racines saines et fonctionnelles. Par contre, celles DM2 sont plus nécrosées, avec seulement 35% de racines saines.

Cette zone racinaire correspond en fait à la tranche de terre travaillée (trace de dent de la sous-soleuse jusqu'à -60 cm). Elle présente une structure fragmentaire (agrégats grumeleux et terre fine) et est très poreuse (anciennes voies de racines). Elle diffère donc de la couche inférieure, de couleur plus claire (brun jaune), plus compacte et plus fournie en tâches ou nodules noirs ferro-manganiques. La limite entre ces deux différentes couches est nette et se traduit par un travail du sol profond jusqu'à -60, voire -80 cm de profondeur (passage de dents de la sous-soleuse).

b) – Détermination physique du sol des trois bananeraies PT, DM3 et DM2

Par ailleurs, nous avons déterminé l'évolution de la densité racinaire en fonction de la profondeur du sol (figure 2.6a). Elle est particulièrement élevée vers -20 à -40 cm de profondeur (densité racinaire de 2 à 3,5 racines/dm²), là où le sol est meuble et poreux ($D_{app} < 1 \text{ g/cm}^3$ et $Pt = 60$ à 7% (figure 2.6b et 2.6c)), puis diminue avec la profondeur.

DELVAUX et GUYOT (1989) avaient souligné cette baisse de la densité racinaire qui était liée à l'augmentation de la densité apparente, elle-même liée au travail lourd du sol. Le compactage du sol, dû au sous-solage profond, semble donc limiter la prospection des racines en profondeur et selon les mêmes auteurs, il pourrait être un caractère limitant au bon développement du bananier (DELVAUX et GUYOT, 1989).

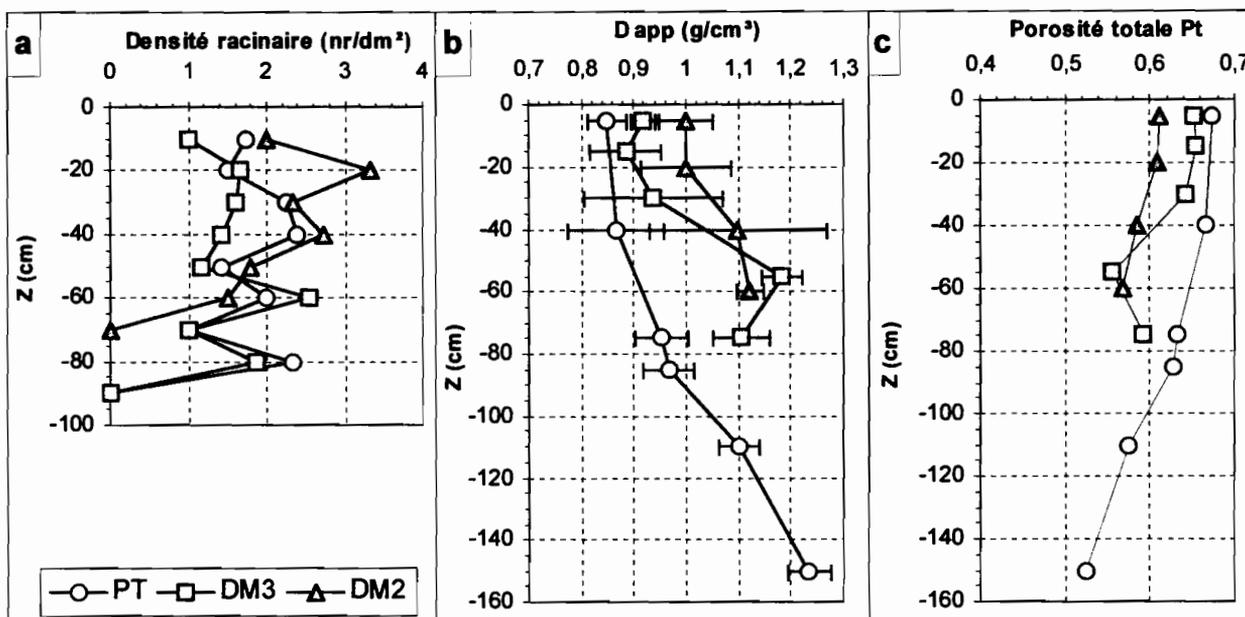


Figure 2.6 – Profils sur les 3 bananeraies "Ponterre" PT, "Derrière Morne3" DM3 et "Derrière Morne2" DM2 :

a) - densité racinaire ; b) - densité apparente D_{app} ; c) - porosité totale Pt.

En outre, des mesures de densité apparente (3 à 5 répétitions par couche) ont été réalisées à l'aide de cylindres métalliques de 100 cm³ enfoncés dans les différentes couches du profil. Ramenés au laboratoire, les cylindres de sol sont séchés pendant 48 heures à l'étuve à 105 °C afin de déterminer leur poids sec. La densité apparente des différentes couches (D_{app} en g/cm³) est déduite à partir du rapport du poids sec du sol sur son volume.

Puis, à partir de ces mesures D_{app} et en considérant la densité réelle D_r (g/cm^3) de ce sol brun rouille à halloysite égale à $D_r=2,6 \text{ g}/\text{cm}^3$ et constante le long des profils, la porosité totale (Pt) peut être calculée d'après la fameuse relation : $Pt = (D_r - D_{app})/D_r$.

Les figures 2.6b et 2.6c représentent respectivement la densité apparente (D_{app}) et la porosité totale (Pt) du sol des trois bananeraies PT, DM3 et DM2.

La densité apparente D_{app} du sol augmente en profondeur tandis que la porosité totale Pt baisse. Le passage du sous-solage à -60 cm de profondeur semble être la limite séparant la couche de sol supérieure (0-60 cm), moins dense et plus poreuse ($D_{app}=0,8$ à $1 \text{ g}/\text{cm}^3$ et $Pt=0,6$ à $0,67$) de celle en profondeur, plus tassée et moins poreuse ($D_{app}=1,1$ à $1,22 \text{ g}/\text{cm}^3$ et $Pt=0,52$ à $0,58$).

Sur la parcelle PT, la détermination de la densité apparente et de la porosité totale permet de justifier pleinement l'emplacement des futurs lysimètres coniques sous un bananier à -60 cm de la surface du sol (cf. § 3.221- *L'infiltration ou le drainage au-delà des racines (-60 cm)*).

En effet, cette zone racinaire est plus légère ($D_{app}=0,87 \text{ g}/\text{cm}^3$) et plus poreuse ($Pt=0,67$) que la couche de sol inférieure. Elle semble *a priori* plus propice à privilégier des écoulements d'eau (tant par l'infiltration verticale que par des flux latéraux) et donc à entraîner par lixiviation, les intrants mis autour du pied des bananiers (engrais et pesticides).

Par ailleurs, la texture du sol est déterminée à partir des échantillons de différentes couches par la méthode de la granulométrie au laser (annexe 1).

La répartition granulométrique des trois parcelles est représentée dans la figure 2.7.

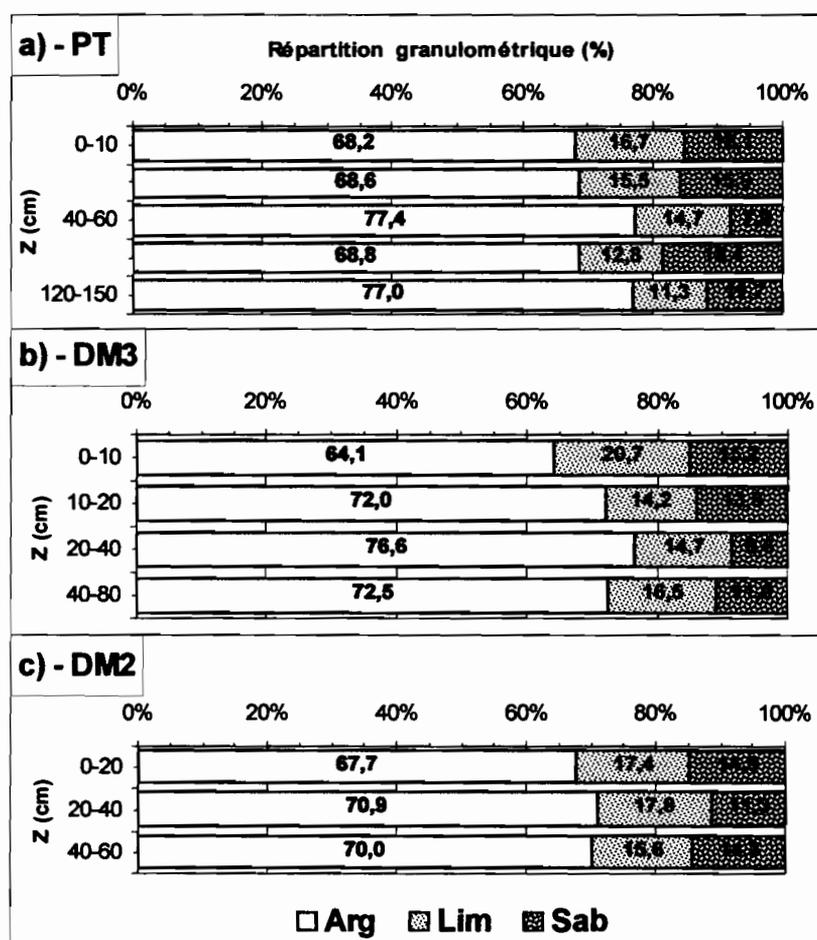


Figure 2.7 – Profil granulométrique des 3 bananeraies : a) – PT, b) – DM3 et c) – DM2.

Pour les trois parcelles étudiées, la granulométrie du sol semble voisine tant en surface qu'en profondeur. Dans la couche superficielle (0-20 cm), la texture argileuse est dominante et représente plus de 64% d'argile. Elle a tendance à augmenter en profondeur pour atteindre plus de 70% d'argile à -60 cm du sol. Par rapport à la description de la première fosse (NGP 16), la détermination de la texture du sol semble mieux correspondre aux travaux de COLMET-DAAGE et LAGACHE (1965).

Conclusion

Par conséquent, les sols issus des trois parcelles de bananiers sont analogues ils appartiennent bien au type sol brun rouille à halloysite défini par COLMET-DAAGE et LAGACHE (1965). Les parcelles choisies suivant leur pente portent des bananiers peu nécrosés (sauf à DM2) : les risques de parasitisme tellurique pouvant affecter les futurs systèmes de culture étudiés sont donc minimales. Les profils racinaires montrent par ailleurs que la zone de prospection racinaire s'étend jusqu'à -60 cm de profondeur là où se trouve la limite nette due au passage du sous-solage. Cette discontinuité permet de justifier pleinement l'emplacement des futurs lysimètres coniques sous un bananier afin d'estimer le drainage et la qualité de l'eau infiltrée.

2.38 – Détermination du sol superficiel(0-10 cm) des 10 parcelles d'érosion situées sur les bananeraies PT, DM3 et DM2 (t0 : 03/99)

Les trois bananeraies PT, DM3 et DM2 vont porter les 10 parcelles d'érosion. Lors de la mise en place de ces essais, nous avons prélevé des échantillons de sol pour faire des analyses en laboratoire de pédologie du CIRAD-FLHOR (LASSOUDIÈRE, communiqué personnel).

Ces analyses devaient définir le point (t0) (03/99) et servir ensuite à suivre l'évolution du sol en fonction de l'érosion hydrique et du développement des systèmes de cultures. Elles ont été réalisées au laboratoire de pédologie du CIRAD-FLHOR, suivant les méthodes habituellement utilisées (ROSALIE, 1999).

Puis nous avons ensuite déterminé l'indice d'érodibilité K de ce sol brun à halloysite à partir des résultats d'analyse et en se basant sur le nomogramme établi par WISCHMEIER et al. (1971). Rappelons que cet indice d'érodibilité K sert juste à estimer le comportement du sol en surface à l'agressivité de la pluie. Cet indice K, sans unité, varie de 0,01 à 0,7 : quand le sol est fragile et sensible aux pluies intenses, son indice K est proche de 1 tandis que quand il est résistant à l'agressivité des averses, K est près de 0 (ROOSE et SARRAILH, 1989).

Les résultats représentent le temps initial (t0) du sol avant l'étude sur l'érosion hydrique. Nous n'avons considéré qu'une partie de ces résultats ici (tableau 2.92), l'ensemble des données est détaillé dans l'annexe 2.

Tableau 2.92 – Quelques résultats d’analyses du sol superficiel (0-10 cm) des 10 parcelles avant le suivi de l’érosion hydrique (t0 : 03/1999).

Traitement	Sol nu			Canne			Bananeraie établie		Ananas à plat +paillis	Ananas Méca.+billonné
Parcelles	Nu1	Nu7	Nu9	Ca2	Ca8	Ca10	Ba3	Ba4	An5	An6
Pente %	11%	25%	40%	11%	25%	40%	11%	9%	9%	7,5%
Dapp (g/cm ³)	0,77	0,79	0,79	0,80	0,79	0,81	0,82	0,84	0,84	0,92
Arg* %	73,95	72,55	62,05	66,45	68,1	72,55	68,85	65,45	65,75	68,05
Lim* %	12,25	6,8	17,55	13,6	12,65	6,8	14,35	14,95	13,1	11,15
Sab* %	11,95	20,34	18,83	17,22	19,16	20,34	15,11	19,42	18,78	20,47
Teneur C** %	1,51	1,56	2,06	1,74	1,53	2,01	1,90	1,87	1,89	1,5
Teneur N %	0,09	0,1	0,15	0,19	0,16	0,14	0,16	0,19	0,17	0,12
Taux MO*** %	3,1	2,7	2,9	3,7	3,3	2,9	3,2	3,2	3,1	2,7
Structure du sol	Sol en surface à structure : grumeleuse et finement polyédrique									
Perméabilité	Perméabilité estimée à modérée à rapide (cf. 2.36 a - test au monocylindre d'infiltration)									
Indice K****	0,1	0,08	0,08	0,09	0,08	0,08	0,1	0,1	0,1	0,1

* Granulométrie réalisée d’après la méthode de la pipette sur granulomètre automatique

** Taux de C organique déterminé par la combustion au CNS (IRD Martinique – Caraïbes)

*** Dosage du carbone organique par la méthode WALKLEY et BLACK

**** indice d’érodibilité déterminé d’après le nomogramme de WISCHMEIER et al. (1971)

D’après ces résultats, les 10 parcelles d’essai ont un sol superficiel ayant une texture argileuse comparable (taux d’argile = 62 à 74%) et un taux de MO allant de 2,7 à 3,7%.

L’indice d’érodibilité du sol K varie de 0,08 à 0,1. Il indique que le sol brun à halloysite est *a priori* résistant à l’agressivité des pluies et peut-être à l’érosion en nappe. Cependant, sous ce climat tropical humide où règnent les cyclones, l’érosion hydrique peut être provoquée par les tempêtes tropicales et aussi par le ruissellement surtout si celui-ci naît rapidement (pluies intenses) et acquiert une capacité de transport importante (pente forte).

Conclusion

Les 10 parcelles d’érosion ont un sol superficiel semblable tant au niveau de leurs constituants minéraux et organiques qu’au niveau de leur indice d’érodibilité K, très faible. Le sol brun rouille à halloysite étudié ici montre des aptitudes à résister à l’agressivité des pluies.

Le risques d’érosion hydrique semblent alors être liés aux pluies violentes (tempêtes tropicales) et au ruissellement.

3 – LES METHODES

3.1 - Erosion hydrique

L'érosion (du latin "*ERODERE*" signifiant "ronger") est un processus de démantèlement, de transport et de dépôt propre à toute formation superficielle (sol) et lithologique (roche) en surface du globe, sous l'effet d'agents actifs (vent, eau, glace, gravité). Elle façonne perpétuellement la surface terrestre et est responsable de l'aplanissement des montagnes et de la formation de plaines de dépôts détritiques. HUDSON (1983) distingue l'érosion géologique de l'érosion accélérée. L'érosion géologique est un processus naturel (et lent à l'échelle humaine) résultant des forces de la nature tandis que l'érosion accélérée découle des activités anthropiques.

Quelques chiffres indicatifs permettent de distinguer, selon l'ampleur de la perte en terre, les différents types d'érosion (ROOSE, 1994) :

- érosion géologique ou normale : $0,1$ à $1 \text{ t.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$,
- érosion accélérée : 10 à $700 \text{ t.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$,
- érosion catastrophique : décapage de 1 mètre en quelques heures,
- ravinement : 100 à $300 \text{ t.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$,
- glissement de terrain : 1000 à $10000 \text{ t.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$.

Notre sujet traite de l'érosion hydrique qui, dans les plantations de bananiers, est une érosion accélérée, provoquée par la pluie et le ruissellement en résultant. Selon la FAO (1980), il y a sept processus de dégradation des sols : l'érosion hydrique, l'érosion éolienne, la salinisation et l'alcalinisation, la dégradation chimique, physique et biologique.

Cette dégradation du sol se traduit par une diminution de la capacité du sol ou de sa fertilité à produire quantitativement et qualitativement des cultures (FAO, 1980).

En général, il y a trois formes d'érosion hydrique pouvant évoluer l'une vers l'autre en fonction de la compétence érosive du ruissellement ou de l'augmentation de la pente (ROOSE, 1994).

- L'érosion en nappe ou aérolaire est le stade initial de l'érosion hydrique : l'énergie des gouttes de pluie s'applique à toute la surface du sol, détache les agrégats en fines particules qui sont ensuite transportées par un ruissellement diffus ou en nappe. Elle se manifeste souvent par des plages claires (décapage partielle de l'horizon humifère), des remontées de cailloux et des micro-demoiselles coiffées (colonettes de sol protégé par des débris ou des cailloux).

- L'érosion linéaire ou concentrée se caractérise par un ruissellement organisé, acquérant une énergie érosive et creusant des formes de plus en plus profondes : griffes (petits canaux profonds de quelques centimètres), rigoles (canaux de profondeur supérieure à 10 cm), nappes ravinantes (canaux larges de plusieurs mètres et profondes de 10 à 20 cm) et ravines (creux supérieurs à 50 cm, non effaçables par les techniques culturales).

- L'érosion en masse se définit par des mouvements de masse à l'intérieur d'une couverture pédologique. Soumis à une contrainte extérieure, le sol à la limite de plasticité (limite d'ATTERBERG) glisse sur un plan de glissement. En général, cette forme d'érosion se situe sur des versants à très forte pente et se manifeste par des glissements lents (glissement des couches superficielles sans décollement), des glissements rapides (glissement en planche, avec décollement d'une couche sur plan de glissement (couche plus compacte, voire impe-

rméable), des coulées boueuses ou solifluxion (mélange liquide d'eau et de terre), glissements rotationnels en « coup de cuillère »....

3.11 - Différentes échelles de temps / d'espace

Les processus d'érosion sont non seulement variables dans le temps mais aussi dans l'espace (ROOSE, 1994). Selon le type d'érosion étudiée, on devra donc le mesurer à l'échelle qui lui convient le mieux. Ici, pour comprendre l'origine de l'érosion hydrique et les facteurs de risques, nous avons choisi d'effectuer les mesures à l'échelle de parcelle de 100 m² à 200 m². Cette échelle semble par ailleurs la mieux adaptée car elle intègre les caractéristiques propres à la bananeraie (pratique et densité culturales, influence du couvert végétal, etc.). Par la suite, il serait intéressant d'explorer les effets de dilution du ruissellement et de l'érosion à l'échelle du bassin versant (objectif du C.T.E. BANEURO (DOREL et al., 2000).

3.12 - Parcelles d'érosion

a) - Historique

Selon ROOSE (1994), les études sur le ruissellement et l'érosion ont commencé au début du XX^{ème} siècle en Allemagne (WOLLNY), puis se sont poursuivies aux Etats-Unis à l'époque de la grande crise économique (1930) et des tempêtes de sable (*Dust Bowl*). BENNET est chargé d'étudier les problèmes d'érosion sur une dizaine de stations expérimentales au champ mesurant le ruissellement et l'érosion hydrique. Bien après, dans les années 1950, les méthodes américaines de mesures du ruissellement et de l'érosion sur petites parcelles se sont répandues dans le monde : d'abord en Afrique francophone (F. FOURNIER) et anglophone (N.W. HUDSON), puis en Amérique latine et plus récemment en Europe et Asie.

A partir de 10000 résultats annuels de mesures sur parcelles de ruissellement, WISCHMEIER et SMITH (1960 à 1978) ont développé un modèle empirique de prévision des pertes en terre à l'échelle de la parcelle connu sous le nom de U.S.L.E. ("*Universal Soil Loss Equation*").

Malgré que son application soit limitée (échelle de la parcelle et érosion en nappe), ce modèle empirique reste le seul applicable dans un grand nombre de pays où le ruissellement provoque l'érosion des sols. Son application permet d'aider à la décision de mesures de conservation des terres arables selon des conditions définies (sol, climat, topographie et couvert végétal).

Généralement, l'étude expérimentale de l'érosion au champ s'avère coûteuse à cause de la mise en place, de l'entretien et du suivi. En outre, elle fournit des informations peu exploitables ou peu intéressantes en raison des difficultés à respecter les règles de conduite des travaux, de la fiabilité des résultats ou du manque de répétition permettant le traitement statistique des données (HUDSON, 1996). Malgré ces critiques sévères, l'auteur reconnaît l'utilité des parcelles d'érosion pour :

- démontrer la gravité de l'érosion aux agriculteurs et aux collectivités locales par la comparaison entre parcelles de système de culture protégée et de sol dénudé ;
- estimer un ordre de grandeur de l'érosion sur les sols cultivés et permettre une étude comparative entre divers systèmes de culture ;
- établir un modèle ou équation de prévision du ruissellement et de l'érosion à partir des paramètres de conditions définies (climat, topographie, sol, culture...)

b) – Définition et critères d'une parcelle d'érosion (PHOTO 4)

Les parcelles d'érosion sont des surfaces rectangulaires délimitées par des plaques en tôle semi-enterrées (sur 50 cm de profondeur) et se terminant par un canal menant à des cuves de stockage à l'aval. Le ruissellement et l'érosion hydrique sont stockés et mesurés directement dans les cuves de stockage, dimensionnées à l'échelle de la parcelle expérimentale (ROOSE, 1988).

Ces parcelles expérimentales obéissent à des critères précis, décrits dans de nombreux travaux sur l'érosion hydrique (ROOSE, 1988 ; RISHIRUMUHIRWA, 1997 ; DIALLO, 2000).

Leur surface dépend de la culture testée et doit prendre en compte l'hétérogénéité traduite par la culture, les effets de la pente, du sol, de la pratique culturale et de la canopée. Mais ces parcelles doivent respecter une longueur comprise entre 20 et 25 m, longueur fixée arbitrairement par les travaux de WISCHMEIER et SMITH (1960 à 1978).

Le respect des critères de surface permettra de comparer les résultats obtenus à ceux des autres et d'appliquer le modèle de l'érosion suivant l'équation de la perte en terre ou "*Universal Soil Loss Equation*" (U.S.L.E. en abrégé).

Le cloisonnement de la parcelle en amont et sur les côtés par des bordures étanches (plaques de tôle, levées de terre...) est gênant mais il permet d'estimer la lame d'eau ruisselée et la terre érodée pour une surface à l'hectare.

La case de ruissellement délimitée débouche à l'aval sur des cuves de stockages. Ces dernières doivent être dimensionnées suivant les objectifs de l'étude et les paramètres mesurés.

A titre d'exemple, des auteurs ont proposé des cuves bétonnées, recouvertes par une toiture et comprenant différents niveaux de répartiteurs suivant l'importance des pluies prises en compte (ROOSE, 1988 ; RISHIRUMUHIRWA, 1997 ; DIALLO, 2000).

c) – Dimensionnement des cuves de stockage

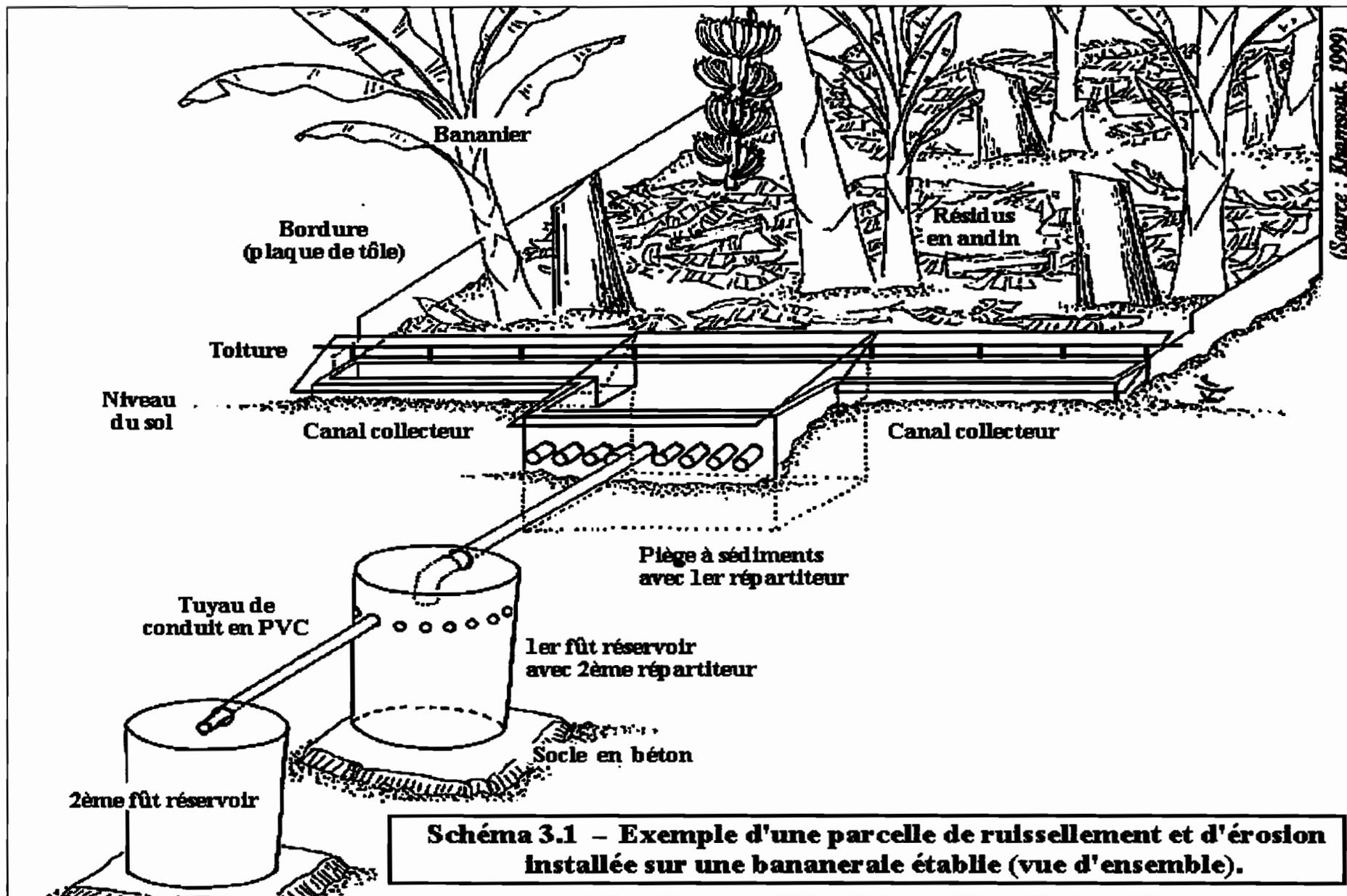
Dans le contexte tropical insulaire de la Martinique, la cuve de stockage d'eau et de sédiments doit être calibrée suivant l'importance des averses, voire des pluies cycloniques (400 mm en 48 heures) et doit par conséquent permettre l'enregistrement du ruissellement et de la perte en terre au passage des tempêtes tropicales.

Construit en béton, le dispositif à l'aval d'une parcelle d'érosion se compose en général de :

- un canal collecteur parcourant toute la largeur de la parcelle,
- une première cuve piégeant les sédiments grossiers,
- un premier partiteur à 17 voies ($\varnothing=50$ mm) au sommet cette cuve,
- un deuxième partiteur au sommet d'un fût cylindrique de 220 l, à 23 voies ($\varnothing=25$ mm),
- un dernier fût de stockage de 220 l.

Ces cuves sont reliées entre elles par des tuyaux en Poly-vinyle de chlorure ou PVC ($\varnothing=50$ mm) à faible pression.

Le schéma 3.1 présente un aperçu global des parcelles expérimentales mises en place dans notre étude.



Le nombre de voies partiteurs 17 et 23 a été calculé en fonction de très fortes pluies et du ruissellement résultant à stocker.

Prenons l'exemple, en période cyclonique, du passage d'une tempête tropicale apportant

- * une pluie P=400 mm tombant en 48 heures sur
 - * une parcelle délimitée et de surface S=200 m² (soit un volume d'eau précipitée égale à 80 m³ (400x200=80000 litres))
 - * et un coefficient de ruissellement au sol Kr=80% (soit 80% de la pluie ruissellent!)

Il ressort que le volume total du ruissellement à stocker est de 64 m³ (soit 80000x0,8) à la sortie de la parcelle. Sachant qu'arbitrairement le piège à sédiments peut stocker 1 m³ d'eau, le surplus d'eau restant s'élève à 63 m³. Il faut alors diviser en 17 fois, puis en 23 fois ce surplus pour arriver à stocker dans les fûts-réservoirs (220 l) et à mesurer finalement une fraction satisfaisante de près 160 l (soit (63/17)/23).

En réalité, les partiteurs ne partagent jamais l'eau parfaitement. Malgré le soin apporté, ces répartiteurs présentent des erreurs incombées à la disposition des tubes, lors de la construction du dispositif. Aussi, nous avons sélectionné les voies partiteurs de la façon suivante :

- pour le premier partiteur, nous avons choisi une des voies centrales dont le coefficient de partage se rapproche le plus de la fraction 1/17^{ème} ;
- pour le deuxième partiteur (fût de 220 l avec tubes soudés), le choix s'est porté sur la voie ayant le coefficient de partage le plus proche de la fraction 1/23^{ème}.

Le tableau 3.1 récapitule les coefficients de partage des voies partiteurs sélectionnées après l'application du test d'écoulement à débit constant** sur les parcelles d'érosion.

*** Le test d'écoulement s'est effectué avec le système d'irrigation de la station RLZ. Il consistait à remplir les cuves d'eau sous débit constant et à faire ruisseler les voies partiteurs sous régime permanent. Un prélèvement d'eau est fait pour chaque voie durant un laps de temps fixé, puis son volume est mesuré à partir d'éprouvettes graduées. Le coefficient de partage CP des voies est obtenu par le rapport du volume d'eau prélevé à chaque voie sur le volume total. A titre d'exemple le tableau suivant illustre la détermination des voies partiteurs pour la parcelle Ba3 : après trois répétitions (rebouchage des voies n° 1 et 2 coulant trop), le coefficient de partage CP pour la voie n°9 est d'environ 15.*

Test d'écoulement des voies du premier partiteur pour la parcelle "bananeraie établie" (Ba3)																		
n° Voie	1*	2*	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	Total
1^{er} essai																		
vol eau (ml)	640	536	452	360	340	314	294	240	304	260	307	306	280	202	298	204	260	5597
CP**	8,7	10,4	12,4	15,5	16,5	17,8	19,0	23,3	18,4	21,5	18,2	18,3	20,0	27,7	18,8	27,4	21,5	
2^{ème} essai																		
vol eau (ml)	x	x	554	422	271	390	361	375	380	342	372	367	350	375	375	285	315	5534
CP**			10,0	13,1	20,4	14,2	15,3	14,8	14,6	16,2	14,9	15,1	15,8	14,8	14,8	19,4	17,6	
3^{ème} essai																		
vol. eau (ml)	x	x	395	310	325	300	308	310	305	268	295	300	270	283	222	200	260	4356
CP**			11,0	14,1	13,4	14,5	14,1	14,1	14,3	16,3	14,8	14,5	16,1	15,4	19,6	21,8	16,8	

* rebouchage des voies n°1 et 2 coulant trop aux 2^{ème} et 3^{ème} essai ; ** CP : coefficient de partage

Tableau 3.1 – Tubes partiteurs et leurs coefficients de partage pour les 10 parcelles d'érosion.

	Parcelles d'érosion									
	Nu1	Ca2	Ba3	Ba4	An5	An6	Nu7	Ca8	Nu9	Ca10
<i>test en 03/99</i>										
n° voie	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
1 ^{er} répartiteur	21,5	22	17,6	15,4	22,2	12	16,4	18,8	8,7	14,3
2 ^{ème} répartiteur	23,3	23,5	22,4	22,2	22,1	24,5	22,7	22,5	23,4	23,9
<i>test en 06/00, après élimination des tubes coulant trop vite</i>										
n° voie	9	12	9	9	8	9	11	9	9	9
1 ^{er} répartiteur	17,1	17,1	14,6	16,8	20	17,5	16,4*	18,8*	8,7*	14,3*

*répartiteur non re-testé en juin 2000

Ce dispositif à deux niveaux de partiteurs présente des avantages et des inconvénients. Il permet :

- une très bonne précision pour les averses annuelles ($P < 70$ mm),
- une bonne précision pour les pluies importantes (P entre 100 et 200 mm),
- une médiocre précision pour les cyclones ($P > 200$ mm).

Sa conception s'avère justifier pour cette étude sur l'érosion hydrique. Parmi d'autres méthodes, ce dispositif permet d'apporter une première réponse à l'origine du ruissellement et de l'érosion dans les systèmes de culture bananière et à la détermination de leurs facteurs explicatifs.

d) – Mise en place des parcelles d'érosion

L'installation des 10 parcelles d'essai a nécessité de nombreux travaux d'aménagement et a duré près de quatre mois.

Elle passe par trois principales étapes décrites succinctement ci-dessous :

- *Etape 1 - Construction des réceptacles et de leur toiture (PHOTO 3)*

Cette première étape a consisté à aménager les trois bananeraies pour y installer les parcelles d'essai : les cuves en béton ont été disposées à leur emplacement à l'aide d'une petite pelleuse mécanique, puis les canaux collecteurs ont été coulés de part et d'autre des côtés de la cuve. Le 1^{er} partiteur à 17 voies est ensuite disposé au sommet de la cuve, puis testé suivant la méthode de détermination des coefficients de partage décrite ci-dessus. Enfin, les deux fûts de 220 l du 2^{ème} partiteur à 23 voies (testé auparavant à l'atelier suivant la même méthode) et de stockage sont disposés sur un socle horizontal bétonné et sont reliés au piège à sédiments par des tuyaux en PVC à faible pression (schéma 3.1).

Afin d'éviter un creusement du sol à l'avant du réceptacle bétonné pouvant fausser l'estimation du ruissellement et de la perte en terre, nous avons installé une toiture de protection recouvrant le contact sol-béton du dispositif. En outre, cette toiture permet d'éviter tout apport direct d'eau de pluie et d'estimer ainsi directement le volume ruisselé stocké dans les cuves. Elle est donc particulièrement importante dans les deux cuves de stockage (schéma 3.1)

- *Etape 2 - Plantation des systèmes de culture*

Les 10 parcelles expérimentales devaient porter différents systèmes de culture bananière et inclure l'effet de la pente dans les mesures du ruissellement et de l'érosion.

- *Les trois parcelles de "sol nu" : Nu1, Nu7 et Nu9 (100 m²) (PHOTO 4)*

Ce traitement permet de déterminer le comportement du sol nu à l'érosion hydrique ou érodibilité K, combiné à l'effet de la pente. Après arrachage des bananiers (18 pieds/100 m²) et nettoyage des résidus, le sol est travaillé sur 20 cm de profondeur (passage d'une rotobèche), puis la pente est rectifiée pour qu'elle soit tendue linéairement. Cette préparation du sol essaie de se rapprocher du travail du sol propre à la plantation d'une bananeraie.

- *Les trois parcelles de "canne à sucre" : Ca2, Ca8 et Ca10 (200 m²)*

Ces parcelles servent à tester la rotation de culture "canne / banane", avec les deux années 1999 et 2000 plantées en canne. La variété plantée est la "Canne Roseau" (aussi appelée B59.92) qui est la plus courante dans l'île (60% de la superficie cannière (CENTRE TECHNIQUE DE LA CANNE A SUCRE, 1997)). Récupérées au CENTRE TECHNIQUE DE LA CANNE A SUCRE, les boutures de cannes sont plantées à la main, en lignes perpendiculaires à la pente et distantes les unes des autres de 1,50 m (distance souvent utilisée en parcelles d'essai au C.T.C.S.). Puis, les résidus de bananiers tués auparavant par injection d'herbicide systémique "Glyphosate" (ROUND UP) sont coupés et disposés dans les inter-rangs, en bandes ou en andins perpendiculaires à la pente. En tout, 13 lignes de canne sont plantées dans la parcelle de 200 m² et prolongées sur environ un mètre aux bordures latérales. Les parcelles ont reçu juste après plantation un épandage d'engrais (près de 100g/pied d'engrais NPK+Mg : 14%-4%-28%-5%) et au cours des saisons sèches 1999 et 2000, de la ferti-irrigation bananière. Une ligne de canne comprenant environ 16 à 20 touffes ou thalles, la densité culturale s'élève alors à près de d=1 thalles/m² (soit d=208 thalles/200 m²). Les jeunes pousses émergent après deux semaines de plantation et pour éviter l'invasion des adventices pendant la levée de la canne, un traitement d'herbicide (dilution à l'eau de 200 ml de GEZATOP et 300 ml de R-BIX) est appliqué jusqu'à la phase de tallage des cannes.

- *Les deux parcelles en "bananeraie établie" : Ba3 et Ba4 (200 m²)*

Ces deux parcelles de bananiers doivent : soit être le témoin régional d'une "bananeraie établie" dont la durabilité est recherchée (Ba3), soit tester un système de monoculture intensive courante "banane / banane" (Ba4). Pour les deux années 1999 et 2000, ces parcelles ont gardé la bananeraie établie en place (effet de l'antécédent cultural) et n'ont subi que peu d'aménagement. Elles comptent environ 36 bananiers sur 200 m², soit une densité culturale d=0,18 pieds/m² équivalent à la densité culturale type d=1800 pieds/ha (Rappelons que ces bananiers ont été plantés en ligne simple ou en quinconce (maillage rectangulaire 2,2x2,5 m), après un sous-solage du sol jusqu'à -60 cm de profondeur). Les résidus auparavant étalés aléatoirement au sol sont désormais disposés en bande ou andin perpendiculaire à la plus grande pente. C'est une pratique culturale de lutte anti-érosive qui a déjà fait ses preuves dans les bananeraies du Burundi (RISHIRUMUHIRWA, 1997). La fertilisation sur ces deux bananeraies est conduite suivant le plan de fumure habituel (100 g /pied d'engrais complet (NPK+Mg : 14%-4%-28%-5%) tous les 21 jours en saison humide, ferti-irrigation en saison sèche et chaulage). Ces deux parcelles "témoins cultivés" permettent de se faire une idée de la variabilité du ruissellement et de l'érosion.

- *Les deux parcelles en "ananas" : An5 et An6 (200 m²)*

Ces deux parcelles d'ananas doivent tester des rotations de culture "ananas / banane", l'une portant un traitement inédit d'ananas planté à plat avec paillage des résidus bananiers dans les inter-rangs (An5), l'autre un traitement classique d'ananas mécanisé et billonné avec enfouissement des résidus bananiers (An6). Elles ont été plantées en avril 1999 après destruction des bananiers et les ananas sont cultivés en 1999 et 2000.

En (An5), après un travail superficiel du sol 0-20 cm (passage de la rotobèche pour aplanir la parcelle), les ananas sont plantés à plat et en rangs par deux, parallèles à la pente et espacés de 1,30 m tandis que les résidus des bananiers tués par injection d'herbicide systémique sont placés en bande dans les inter-rangs. Au total, la parcelle comprend sept rangs et 798 plants d'ananas, soit une densité culturale $d=4$ plants/m². En bordure, 1098 ananas complètent la plantation de l'essai.

La parcelle (An6), quant à elle, simule une conduite culturale d'ananas classique en Martinique, avec un broyage et un enfouissement de la biomasse bananière fraîche, puis un affinage du sol par une mécanisation lourde (trois passages de rotobèche à une semaine d'intervalle) et finalement un billonnage mécanique distant de 1,30 m dans le sens de la pente. En tout, la parcelle comprend sept billons et 851 pieds d'ananas plantés en quinconce à 20 ou 30 cm de part et d'autre de l'axe du billon, soit une densité culturale $d=4,2$ plants/m², proche de celle de P5. Les bordures billonnées comprennent environ 1333 plants d'ananas.

Les deux parcelles ont reçu deux à trois épandages d'engrais (environ 100 g/plant d'engrais complet (NPK+Mg : 14%-4%-28%-5%)) durant les premiers mois après plantation et ensuite la ferti-irrigation bananière en saison sèche. Le désherbage chimique (GEZATOP+R-BIX) a été appliqué en début de la culture régulièrement tous les deux mois. D'ailleurs, la parcelle (An5) a reçu en juillet 1999 un désherbage malencontreux qui a entraîné bien après le remplacement des plants tués : la parcelle (An5) a accusé un retard de croissance des ananas par rapport à celle mécanisée (An6).

• *Etape 3 - Mise en place des bordures métalliques*

Afin d'estimer la lame ruisselée et la perte en terre sur une surface bien délimitée, les parcelles d'essai sont fermées à l'aide de plaques de tôle galvanisée de 2 mm d'épaisseur (2,50 x 0,30 m), enterrées à 10 cm dans le sol et maintenues une à une par chevauchement avec des pinces en fer doux. Durant cette étape, nous avons pris soin de perturber le moins possible les parcelles d'essai pour éviter l'érosion préférentielle le long des bordures.

Finalement, l'installation des 10 parcelles d'érosion s'est terminée en mai 1999 et la campagne de mesure du ruissellement et de l'érosion a débuté en juin 1999 et s'est achevée en décembre 2000. Nous avons donc estimé le ruissellement et l'érosion sur parcelles d'essai pendant deux saisons cycloniques, périodes à grand risque d'érosion hydrique (soit près de 18 mois de mesures).

Ces deux campagnes 1999 et 2000 représentent en fait des répétitions : les résultats de 2000 servaient plutôt à vérifier ceux obtenus en 1999, bien que d'une année à l'autre la pluviosité ait pu varier au même titre que l'âge des cultures testées. En effet, HUDSON (1996) soulevait le problème de la fiabilité des résultats et du manque de répétition sur des travaux similaires. Dès lors, nous avons opté pour deux campagnes répétitives sur les années 1999 et 2000 et avons tenu compte ainsi des inconvénients soulevés par HUDSON (1996).

e) – Protocole de mesure et paramètres étudiés

e1) – Protocole de mesure

Les parcelles d'érosion permettent d'estimer le ruissellement et la perte en sédiments (terre et débris organique) pendant la campagne de mesure de l'érosion.

Lorsqu'il y a eu une pluie érosive (c'est-à-dire une pluie suffisamment agressive pour provoquer le ruissellement), les mesures du ruissellement et de la perte en sédiments suivent une démarche bien établie décrite ci-dessous.

Le matériel requis pour mesurer le ruissellement et l'érosion comprend :

- une motopompe,
- une bêche ou une poutre de soutien pour le toit,
- des seaux de 10 l (x5),
- des bouteilles d'échantillon de 1,5 l,
- une ramassette ou petite pelle pour les sédiments grossiers,
- un tamis (200 µm) pour les débris organiques flottants,
- des sacs plastiques pour emporter des échantillons de terre et de flottants,
- une balance ou peson (portée de 100 kg, avec une précision de 2 kg),
- un mètre gradué.

La méthode consiste d'abord à mesurer le volume ruisselé : les côtes d'eau dans le réceptacle (canaux collecteurs, piège à sédiments, fûts répartiteurs) sont relevées avec un mètre gradué. Ensuite, les débris organiques flottants sont prélevés à l'aide d'un tamis, puis disposés dans un sac d'échantillon. La détermination des matières en suspension s'effectue par un échantillonnage à l'aide de bouteilles d'eau, lors du pompage de la cuve.

Une fois la cuve vidée, la terre de fond ou perte en terre grossière est ramassée dans les canaux collecteurs et le piège à sédiments à l'aide d'une petite pelle et de seaux. La perte en terre s'évalue ensuite suivant des méthodes établies en fonction des situations de faible ou forte érosion (fréquente en saison cyclonique) :

1) En cas de faible érosion : la totalité de la terre de fond érodée est ramenée au laboratoire pour être séchée dans un récipient taré à 60°C pendant plus de huit jours (étuve ventilée), puis son poids sec est mesuré pour estimer la perte en terre.

2) En cas de forte érosion : estimer la perte en terre devient vite fastidieux au laboratoire car le volume de sédiments est considérable (ex : le 29/11/99, les pièges à sédiments étaient remplis à ras bord tant l'érosion était élevée après une pluie de 190 mm (PHOTO 5). Il a donc fallu trouver une méthode de détermination sur le terrain, à la fois rapide et adaptée à cette situation. C'est pourquoi l'établissement d'une abaque de mesure d'érosion permet de répondre au mieux à cette attente. Inspirée de la méthode proposée par HUDSON (HUDSON - citée par ROOSE, 1988), cette abaque repose sur la relation linéaire entre le poids humide du sol et son poids sec dans un volume constant donné et permet d'estimer indirectement et assez facilement la perte en terre sèche à partir de son poids humide dans un volume défini. Elle est établie à partir de différents poids de sols secs et broyés, mis successivement dans un seau plastique et complété d'eau jusqu'à un volume constant de 10 l. Le poids humide correspondant est relevé et permet de tracer l'abaque poids humide en fonction du poids sec de sol (tableau 3.1 et figure 3.1). Cette abaque est linéaire et a pour équation $y=0,594x+10$.

En principe, lors des mesures d'érosion sur le terrain, il suffira de collecter l'ensemble des sédiments boueux dans un seau, de remplir celui-ci d'eau jusqu'à 10 l et de peser l'ensemble pour déduire le poids sec de sol érodé à partir de l'abaque.

Tableau 3.1 – Relation entre le poids de sol humide de sol et son poids sec dans un volume constant de 10 l rempli d'eau (sol brun à halloysite).

Poids sol sec (kg)	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	5
Poids sol humide à V=10 l (kg)	10	10,1	10,2	10,3	10,4	10,6	10,8	11,3	11,5	11,8	12,2	12,8

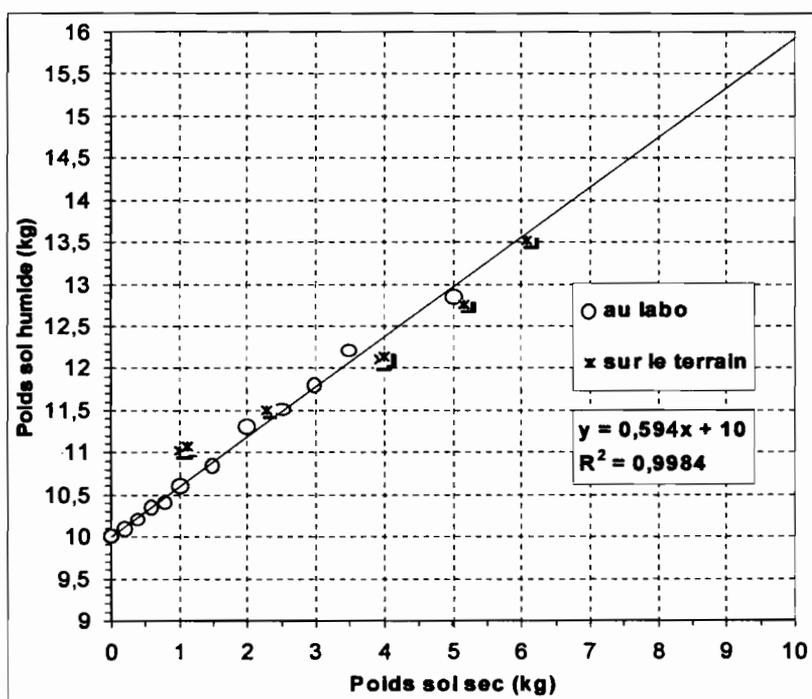


Figure 3.1 – Abaque de l'érosion "poids humide en fonction du poids sec" du sol brun rouille à halloysite dans un volume constant de 10 l.

Cette méthode de mesure du ruissellement et de la perte en terre bien que adaptée au terrain présente néanmoins quelques imperfections.

Pour le ruissellement, la mesure se fait à l'aide d'un mètre gradué. Elle est précise pour les petites pluies, avec une marge d'erreur de lecture tolérée de l'ordre de 0,5 cm induisant une erreur de l'ordre de 1,7 % pour le ruissellement. En revanche, pour de fortes pluies, cette erreur induite par la lecture peut s'élever à près de 10 à 20 % en raison du partage du surplus d'eau par les deux partiteurs. La précision devient donc moins nette plus le ruissellement est fractionné aux deux partiteurs.

Pour l'érosion, nous avons vérifié la validité et la précision de l'abaque en reportant les poids humides et secs de plusieurs seaux de terre issue des parcelles, après une pluie érosive (tableau 3.2 et figure 3.1). Les écarts constatés entre les poids secs de l'abaque et ceux du contrôle représentent l'erreur faite pour l'estimation de l'érosion à partir de l'abaque.

Celle-ci varie de 3% à 40% et pourrait s'expliquer par plusieurs facteurs.

- Une différence d'hystérèse du sol argileux (halloysite) : l'abaque est obtenu par ré-humectation du sol sec tandis que la vérification s'est effectuée par séchage du sol humide. Le volume du sol desséché et réhydraté peut être

plus faible que celui du sol prélevé *in situ* après érosion et cela peut expliquer la différence de poids observée.

- Une perte en sédiments tant en éléments grossiers qu'en particules fines (suspension) due au transvasement dans le seau lors des mesures de vérifications sur le terrain.
- Une erreur de lecture de la balance.

Tableau 3.2 – Vérification de l'abaque de l'érosion.

Parcelle	Poids humide Erodé (kg)	Poids sec Erodé Prévisionnel (kg)	Poids sec Erodé réel (kg)	Erreur entre les 2 poids secs (kg)	Erreur par rapport à l'abaque (%)
Nu1 (08/07/99)	11,51	2,53	2,28	0,26	10%
Ba3 (08/07/99)	11,02	1,72	1,02	0,70	40%
An6 (22/07/99)	11,07	1,79	1,13	0,67	37%
An6 (30/07/99)	12,11	3,55	3,94	-0,38	10%
An6 (02/08/99)	12,13	3,59	4,02	-0,43	12%
An6 (02/08/99)	12,75	4,63	5,16	-0,53	11%
An6 (02/08/99)	13,52	5,93	6,09	-0,16	3%

Généralement, l'erreur est plus importante (près de 40%) et n'est pas acceptable lorsque le poids humide est faible (<12 kg) alors qu'elle devient plus négligeable (3 à 10%) quand ce poids est fort (>12 kg) (tableau 3.2). Par conséquent, pour de faibles quantités d'érosion (poids humide < 12 kg), il est préférable de collecter la perte en terre pour la mesurer en laboratoire tandis qu'en cas de forte érosion, l'utilisation de l'abaque s'avère mieux adaptée pour estimer la perte en terre.

L'avantage de cette méthode sur la perte en terre réside surtout dans la rapidité d'estimation du poids sec des sédiments en cas de forte érosion ou d'événements cycloniques.

La démarche pour déterminer le ruissellement et l'érosion en parcelles d'essai peut être récapitulée d'après la fiche type de mesures ci-dessous.

Pour chaque parcelle et pour chaque épisode érosif, les échantillons d'eau et de terre érodée ont été prélevés en vue d'analyse chimique (estimation de la perte en nutriments minéraux).

Jour :		Pluie (mm) :				Opérateurs :				Nbre* Bouteille Ech. Eau	Débris Org oui/non	TdF** Pw ou Ps
Parcelle	Ruissellement - relevés des côtes d'eau au cm -											
	Piège à sédiments		Canal gauche		Canal droite		Fût 1	Fût 2				
	H1	H2	Lg	Hg	Ld	Hd	F1	F2				
P1												
P2												
etc.												

* nombre de bouteilles d'échantillons d'eau prélevés pour la suspension et l'analyse chimique

** Terre de fond ou sédiments grossiers érodés à déterminer suivant le poids humide Pw (situation à forte érosion) ou le poids sec Ps (situation à faible érosion)

e2) – Paramètres étudiés

A partir des différentes pluies érosives et des déterminations du volume ruisselé et de la perte en sédiments sont définis les paramètres usuels de ce type d'étude.

- La pluie d'imbibition P_i (mm) est la hauteur de pluie nécessaire à provoquer un début de ruissellement. On distingue $P_{i\text{sec}}$ et $P_{i\text{hum}}$ correspondant respectivement à l'imbibition sur sol sec et sol humide.
- La lame ruisselée LR (mm) : hauteur du ruissellement par le rapport du volume ruisselé VR (m^3) sur la surface parcellaire S (m^2).

$$LR = \frac{(VR) \times 1000}{S}$$

Où LR (mm) ; VR (m^3) ; S (m^2)

- Le coefficient de ruissellement K_r (%) se définit comme le rapport de la lame ruisselée sur la hauteur de pluie érosive. Généralement, bon nombre d'études similaires distinguent le K_{ram} (%) correspondant à la somme des LR sur la pluie annuelle et le K_{rmax} (%) défini par le rapport de la LR maximale sur sa pluie érosive.

$$K_{ram} = \frac{\sum (LR)}{P \text{ annuelle}} \quad K_{rmax} = \frac{LR_{max}}{P}$$

où K_{ram} (%) et K_{rmax} (%) ; LR et L_{rmax} (mm) ; P annuelle et P (mm)

- La perte en suspension $Susp.$ (kg/ha) représente la perte en éléments fins (argiles et limons fins) entraînés en suspension par le ruissellement. Pour une aliquote de 1,5 l d'eau ruisselée (VR), le poids sec en suspension correspondant ($Susp.$ aliquo.) est déterminé après floculation (ajout d'un floculant (sulfate d'alumine)), puis élimination du surnageant et séchage dans un bécher taré à l'étuve ventilée à 105°C pendant 48 heures (schéma 3.2). Pour une pluie érosive, la perte totale en suspension $Susp.$ est alors le produit de la turbidité par le volume ruisselé sur un hectare :

$$Susp. = \frac{(Susp.aliquo \times Volume \text{ ruisselé } VR)}{(Aliquote \times S)}$$

où $Susp.$ (kg/ha) ; $Susp.aliquo$ (g) ; VR (m^3) ; Aliquote (1,5 l) ; surface parcellaire S (ha)

Cette méthode de détermination des suspensions a été préférée à d'autres méthodes pour des raisons de commodité de manipulation. En effet, travailler avec un petit volume de 1,5 l facilitait le traitement des suspensions et offrait un gain de temps non négligeable. Par souci de précision de la méthode, nous l'avons comparée à une détermination des suspensions réalisée à partir d'un prélèvement

de 22 l. Après la pluie érosive du 21/10/99 (P=74 mm), provoquant un ruissellement de VR=108,1 l sur P4, nous avons prélevé des aliquotes de 1,5 l et de 22 l afin de déterminer la perte en suspension.

	Poids sec susp.aliquo. G	Susp. kg/ha	Ecart kg/ha	Erreur par rapport à méthode aliquote. 1,5 l
Aliquote 1,5 l	0,278	1,0	0,08	8%
Aliquote 22 l	4,430	1,08		

L'erreur observée entre les deux méthodes s'élève à environ 8% et est de même ordre de grandeur que l'estimation de la perte en terre (10%). La méthode utilisée reste donc assez précise tout en étant plus facile d'utilisation. Néanmoins, elle ne permet pas d'obtenir suffisamment de matières en suspension sèches pour faire des analyses chimiques et estimer la perte chimique par suspension après une pluie érosive. D'où cette estimation de la perte chimique sur le total cumulé des suspensions durant les deux campagnes 1999 et 2000.

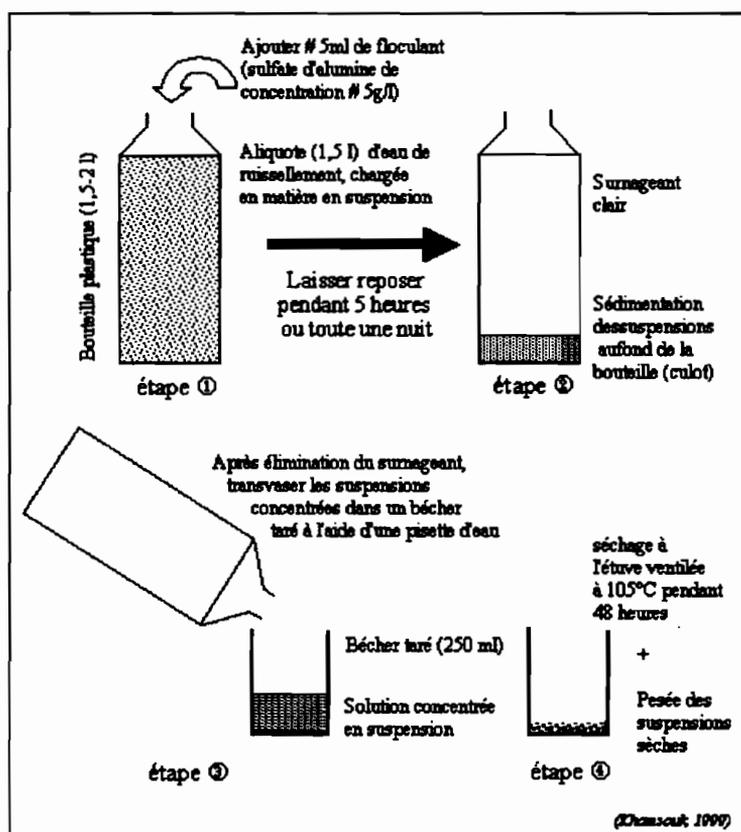


Schéma 3.2 – Différentes étapes dans la détermination du poids sec des suspensions du ruissellement.

- La perte en terre de fond PT (kg/ha) représente le poids sec de terre érodée (éléments grossiers) ou transportée hors de la parcelle par le ruissellement. Sa détermination découle d'une des deux méthodes adaptées aux situations soit de faible érosion, soit de forte perte en terre et peut s'écrire de la façon suivante :

$$PT = \frac{\sum Ps}{S} \quad \text{où } PT \text{ (kg/ha) ; } Ps \text{ (kg) ; } S \text{ (ha)}$$

- L'érosion totale E (t/ha) découle de la somme des pertes en suspension $Susp.$ et de la perte en terre PT pour une pluie érosive. Elle s'écrit donc :

$$E = (Susp. + PT) \times 0,001 \quad \text{où } E \text{ (t/ha) ; } Susp. \text{ (kg/ha) ; } PT \text{ (kg/ha)}$$

- Le rapport $(Susp./E)$ (%) permet de caractériser le comportement du sol à l'érosion hydrique et le type d'érosion (désagrégation des mottes en fines particules et transport, érosion d'agrégats....)
- Les débris organiques $Débris\ Org.$ (kg/ha) sont des résidus de la culture en place et de l'antécédent cultural (paillage ou résidus enfouis) et constituent la fraction organique fraîche évacuée par le ruissellement. Ces débris organiques flottent à la surface de l'eau ruisselée et sont prélevés dans un sac plastique à l'aide d'un tamis à 200 μm . Ramenés au laboratoire, ils sont lavés à l'eau puis séchés à 60°C pendant plus de huit jours (étuve ventilée) pour être finalement pesés (schéma 3.3).

$$Débris\ Org. = \frac{\text{poids sec débris}}{S} \quad \text{où } Débris\ Org \text{ (kg/ha) ; poids sec (kg) ; } S \text{ (ha)}$$

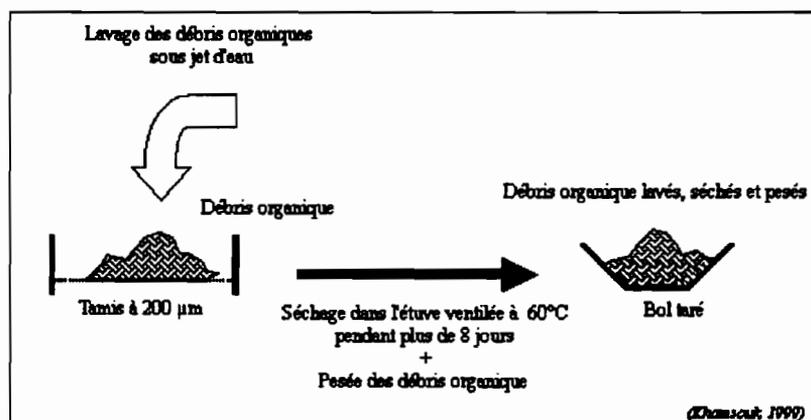


Schéma 3.3 - Traitement des débris organiques érodés (ou flottants) en vue de la détermination de leur poids sec.

3.13 – Etat de surface

a) - Introduction

L'état de la surface des parcelles d'érosion change au cours du temps sous l'effet de différents facteurs : une déformation liée au tassement du sol par les ouvriers qui passent au moins 27 fois par an pour entretenir la bananeraie, une couverture du sol due à l'envahissement d'herbes et à une évolution des résidus ou litière, une fermeture en surface provoquée par la battance des pluies, etc.

Cette évolution morphologique des parcelles influence le comportement du sol à l'érosion hydrique et explique en partie, les variations du ruissellement et de la perte en terre. En effet, il est avéré que le recouvrement du sol par la végétation (canopée basse d'une culture, enva-

hissement d'adventices...), par la litière ou encore par des cailloux joue un rôle de protection du sol contre l'énergie des pluies et du ruissellement (ROOSE, 1967 ; HUDSON, 1983). En Afrique de l'Ouest, CASENAVE et VALENTIN (1989) travaillant à partir de simulation de pluie, ont mis en évidence l'influence de l'organisation superficielle du sol (plus précisément en pellicules ou en croûtes) sur le ruissellement et l'infiltration. En climat tempéré et sur un sol limoneux, cette influence de surface du sol sur le ruissellement s'observe également, avec notamment la formation de croûtes (très liée l'état hydrique du sol) lissant et fermant la surface à mesure que la pluie simulée est maintenue (LE BISSONNAIS *et al.*, 1989).

Or, sur ce sol brun tropical d'origine volcanique, le phénomène de battance s'exprimant par la formation de pellicules ou de croûtes n'est pas apparent (ROOSE *et al.*, 1999). Il semble donc que le ruissellement et l'érosion pourraient davantage dépendre d'autres facteurs que de l'organisation superficielle du sol tels le taux de surface couverte du sol (protection par les résidus), la culture (écoulement préférentiel le long des bananiers) et la préparation du sol (tassement et billonnage). C'est pourquoi nous baserons notre observation de l'état de surface du sol sur une méthode décrivant l'évolution du recouvrement du sol et les formes d'érosion sur les 10 parcelles.

Ce suivi mensuel repose sur des méthodes décrites par ROOSE (1996), avec toutefois des adaptations répondant au mieux aux observations sur les parcelles cultivées.

b) - Méthodologie

Le matériel requis pour relever l'état de surface se compose d'une bobine de fil de nylon (longueur 25-30 m), d'un double décimètre, d'un cahier d'observation et d'un stylo bic, voire d'un pénétromètre manuel (pointeur).

Les caractéristiques étudiés sont :

- surface dénudée et fermée : sol nu, plus ou moins croûté avec des mousses ;
- surface couverte : litière ou résidus, adventices et cailloux ;
- cohésion : sol tassé ou compact et sol meuble (en kg/cm²);
- figures d'érosion : chemins d'eau.

Le suivi de l'état de surface est réalisé sur les deux diagonales des parcelles rectangulaires, tracées à l'aide du fil de nylon. Les caractéristiques de surface sont relevées tous les 10 cm le long de ce fil d'Ariane à l'aide d'un pointeur (stylo bic ou pénétromètre pour distinguer les zones tassées des meubles). Notons que nous avons arbitrairement fixé le seuil entre sol compact et sol meuble à 2,5kg/cm² au pénétromètre. Cependant, nous n'avons pas tenu compte de l'état d'humidité du sol qui intervient étroitement sur la cohésion du sol car durant la saison humide, le sol est toujours près de la capacité au champ. Les résultats sur la cohésion ne donnent donc qu'une tendance de l'évolution du tassement du sol au cours du temps.

c) – Paramètres observés

Globalement, l'observation mensuelle de la parcelle totalise environ 370 à 390 points relevés sur les deux diagonales, l'une servant de répétition à l'autre. Les paramètres (surface ouverte, surface couverte, cohésion...) sont généralement exprimées en pourcentage (rapport des points d'une caractéristique sur le total de points observés). La différence de résultats d'une diagonale à l'autre peut s'élever à 15% et traduit l'hétérogénéité de la parcelle.

Ces paramètres d'état de surface peuvent se présenter sous forme de graphiques.

3.14 – Stabilité structurale

a) – Introduction et objectif

Dans cette partie, on s'est intéressé à mesurer au laboratoire l'évolution de la stabilité structurale du sol puisque celle-ci est étroitement liée aux processus d'érosion (HENIN et *al.*, 1958 ; QUANTIN et COMBEAU, 1962 ; KEMPER et KOCH, 1966 ; BOIFFIN, 1984 ; LE BISSONNAIS et LE SOUDER, 1995).

Il existe un grand nombre de tests de stabilité structurale proposés, par exemple, par HENIN et *al.* (1958), par KEMPER et ROSENAU (1986) ou plus récemment par BARTHES (1998) ou encore par LE BISSONNAIS et LE SOUDER (1995).

Mais, bien que ces tests aient bel et bien fait leur preuve, avec des résultats intéressants en tant qu'indicateurs de l'érosion hydrique, ils reposent souvent soit sur des méthodes reconnues aujourd'hui comme dangereuses (benzène) (HENIN et *al.*, 1958), soit sur un appareil permettant une agitation mécanique standardisée dont nous ne disposons pas (KEMPER et ROSENAU, 1984 ; BARTHES, 1998).

C'est pourquoi des auteurs ont proposé un test de stabilité inspiré des travaux antérieurs et reposant sur des méthodes simples et facilement applicables (LE BISSONNAIS et LE SOUDER, 1995 ; LE BISSONNAIS, 1996). En outre, d'après une étude récente comparant ce test de LE BISSONNAIS à celui de KEMPER et ROSENAU, il semble présenter dans certains cas, de meilleurs liens avec la perte en terre (AMEZKETA et *al.*, 1996),

Par conséquent, nous avons choisi d'appliquer le test proposé par LE BISSONNAIS pour mesurer la stabilité structurale des agrégats du sol brun rouille à halloysite (sol brun tropical d'origine volcanique) des 10 parcelles d'érosion, bien qu'il soit jusqu'à présent, adapté aux sols limoneux, particulièrement sensibles à la battance de la pluie (LE BISSONNAIS, 1996). Ce test de stabilité structurale est appliqué sur des échantillons de sol superficiel prélevés à deux dates différentes en saison sèche : en mars 1999, lors de la mise en culture des parcelles d'essai (t_0) et en mars 2000, après une année de culture (t_0+1).

L'objectif de cette étude est : (1) – de mesurer l'évolution de la stabilité structurale du sol sous différents systèmes de culture bananière ; (2) – de comparer cette stabilité structurale à l'érosion hydrique mesurée ; (3) – de rechercher les facteurs explicatifs de l'érosion (pratiques culturales, pente de la parcelle).

Nous rappelons que cette partie sur la stabilité structurale a été publiée avec un premier bilan de l'érosion mesurée en 1999 sur les 10 parcelles expérimentales (KHAMSOUK et *al.*, 1999).

b) – Méthodologie

b1) – Echantillonnage

Le long d'une diagonale de chaque parcelle d'érosion, dans les inter-rangs (bananiers et canne : espaces dominants et plus exposés à l'érosion) et dans les rangs ou billons pour les ananas (An5) et (An6), les échantillons composites de sol (composés de cinq prises/parcelle) sont prélevés au transplantoir sur 0-10 cm à deux dates différentes : au cours de la mise en place des cultures en mars 1999 (t_0) et un an après, à savoir en mars 2000 (t_0+1). Les échantillons composites sont séchés à l'air au laboratoire avant d'être utilisés pour le test.

b2) – Test de stabilité

Les échantillons sont tamisés à sec pour obtenir des agrégats de diamètre 2-5 mm, puis sont ensuite séchés à l'étuve à 105°C pendant une heure (ce bref passage à 105°C permet de ramener les échantillons à une même humidité avant toute application du test).

Différents traitements sont ensuite appliqués sur environ 5g d'agrégats secs (LE BISSONNAIS et LE SOUDER, 1995 ; LE BISSONNAIS, 1996).

- T1 - *Humectation rapide par immersion* : ce traitement reproduit l'humectation brutale provoquée par une pluie intense intervenant après une période sèche. L'échantillon est brutalement immergé dans l'eau distillée pendant 10 minutes.
- T2 - *Humectation lente par capillarité* : il correspond à l'effet d'une pluie modérée sur un sol déjà humide. L'échantillon est placé sur un support couvert d'un papier absorbant puis ré-humecté par capillarité avec de l'eau permutée pendant au moins 30 minutes.
- T3 - *Désagrégation mécanique par agitation* : il permet de tester la résistance du sol humide aux contraintes mécaniques (cohésion dans l'eau). L'éclatement des agrégats lié à la ré-humectation est évité dans ce traitement par une immersion de l'échantillon dans l'alcool (solvant non polaire et miscible à l'eau) pendant 30 minutes avant son transfert dans un flacon d'eau distillée. Celui-ci est ensuite soumis à 20 retournements sur un agitateur rotatif, puis laissé à décanter pendant 10 minutes.

Après chaque traitement, les agrégats sont transférés et tamisés à 50 µm dans l'éthanol : après 5 cycles immersion/émersion, les agrégats restants (>50 µm) sont transférés dans béccher à l'aide d'une pissette d'éthanol pour être séchés à l'étuve ventilée (105°C) pendant 48 heures.

La détermination de la distribution des différentes classes d'agrégats est réalisée par un tamisage à sec sur une colonne de 6 tamis (de 0,05 à 2 mm) : après 20 basculements latéraux apparaissent 7 classes d'agrégats ou refus de diamètres Ø : >2 mm, 1-2 mm, 0,5-1 mm, 0,2-0,5 mm, 0,1-0,2 mm, 0,05-0,1 mm et <0,05 mm. Les refus des différents tamis sont pesés, le poids de la fraction <50 µm est calculé par différence ; les classes d'agrégats sont exprimées en pourcentage pondéral du poids sec initial de l'échantillon.

Pour chaque échantillon et pour chaque traitement, 4 à 5 répétitions de l'opération ont été effectuées.

c) – Paramètres étudiés

Pour chaque traitement, les résultats obtenus peuvent s'exprimer soit :

- 1) – sous forme d'une distribution des classes dimensionnelles des agrégats (tableau ou histogramme),
- 2) – sous forme du paramètre diamètre médian pondéral MWD ou "*Mean Weight Diameter*", calculé d'après le pourcentage des 7 classes d'agrégats pour chaque traitement.

$$\text{MWD} = \sum_i p_i \times D_i \quad \text{où} \quad \begin{array}{l} \text{MWD} = \text{diamètre médian pondéral (mm)} \\ P_i = \text{effectif de la classe d'agrégats de diamètre } D \text{ (\%)} \\ \quad \text{(rapport entre le poids sec des classes d'agrégats} \\ \quad \text{et celui de l'échantillon initial)} \\ D_i = \text{diamètre médian de la classe d'agrégats (mm)} \end{array}$$

En général, plus la stabilité structurale d'un sol est forte, plus la distribution des agrégats tend vers le pôle fraction grossière et plus son MWD est élevé.

3.15 – La simulation de pluies (simulateur ORSTOM sur 1 m²)

a) – Introduction et objectif

La simulation de pluies est un test de terrain permettant de déterminer le comportement d'un sol cultivé soumis à une pluie artificielle définie (énergie des gouttes comparable à celle des pluies naturelles d'intensité égale à 60 mm/h, durée et intensité de l'averse). En fonction d'une averse artificielle définie, elle dégage des paramètres hydrodynamiques du ruissellement et la charge solide ou perte en terre caractéristiques du sol ou d'une culture sur une surface d'étude délimitée (LAFFORGUE, 1977).

Ce test repose sur le simulateur de pluie ou infiltromètre mis au point par ASSELINE et VALENTIN en 1978 (schéma 3.4).

L'objectif de cette étude est de dégager :

- les processus et les facteurs explicatifs du ruissellement et d'érosion,
- la caractérisation et les relations éventuelles entre les résultats des pluies simulées (1 m²) et naturelles mesurés en parcelles (100 ou 200 m²).

– Parcelles testées

La simulation de pluie a été appliquée sur six parcelles correspondant à quatre traitements représentatifs des facteurs cultureux déterminant le comportement des cultures et du sol à l'érosion hydrique.

Ces quatre traitements sont :

- "le sol nu" : trois parcelles (Nu1, Nu7 et Nu9) situées sur des pentes linéaires, dont l'inclinaison p est respectivement de 10%, 25% et 40% et sur lesquelles on a étudié l'influence de la pente ;
- "la rotation canne à sucre / bananier", avec culture de la canne en 1999 et 2000 : parcelle (Ca2) à pente $p=10\%$, où l'on a testé le comportement de l'inter-rang paillé sous résidus de culture soumis à la simulation de pluie ;
- "la bananeraie établie" : parcelle (Ba3) à pente $p=10\%$, où l'on a distingué deux situations types de l'inter-rang : sous paillage de résidus de bananiers et sur zones de sol nu ;
- "la rotation ananas mécanisé et billonné / bananier", avec culture de l'ananas en 1999 et 2000 : parcelle (An6) à pente $p=7\%$, sur laquelle on testera le comportement de l'inter-rang ou du sillon sous pluie simulée.

Ces quatre traitements ont été sélectionnés parce qu'ils intégraient la majorité des facteurs cultureux déterminant le ruissellement et l'érosion hydrique sur le sol brun rouille à halloysite, c'est-à-dire la pente, les pratiques culturales (inter-rang nu ou paillé), le type de culture (couvert végétal, travail du sol). En outre, appliquer les simulations de pluies sur quatre traitements sur dix permettait de limiter la lourdeur de l'étude sur le terrain puisqu'une simulation de pluie durait généralement une journée et nécessitait de la main d'œuvre, soit quatre opérateurs pour une simulation de pluie.

b) – Méthodologie

Mis au point par ASSELINE et VALENTIN (1978), le simulateur de pluie de type ORSTOM se compose d'une tour métallique pyramidale haute de 4 m sur laquelle est fixé un gicleur motorisé arrosant une placette fermée de 1 m² enfoncée dans le sol de 6 cm. L'eau de la pluie artificielle est alimentée par une citerne à l'aide d'une motopompe thermique et d'un circuit de tuyaux d'arrosage (schéma 3.4).

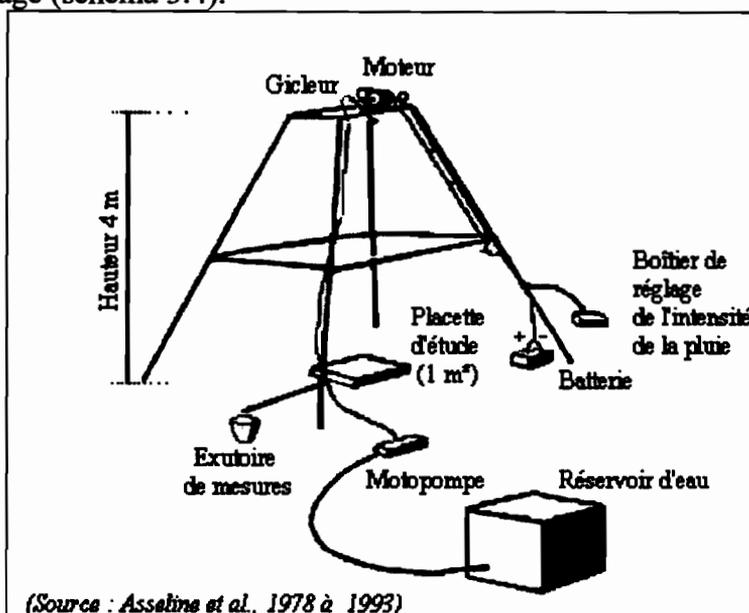


Schéma 3.4 – Le simulateur de pluie ORSTOM
(Source : ASSELINE et al., 1978 à 1993).

L'intensité de la pluie artificielle I_p se règle suivant l'angle de balancement à partir d'un boîtier électronique : plus cet angle est grand, plus le gicleur arrose une grande surface et plus l'intensité I_p devient faible sur la placette de 1 m².

Dans notre étude, l'intensité de la pluie est fixée arbitrairement à $I_p=100$ mm/h correspondant à une pluie cyclonique. La pluie simulée est poursuivie jusqu'à la durée totale de trois, voire quatre heures ou jusqu'à l'obtention d'un palier de ruissellement maximal permanent.

La placette de 1 m² est définie par un cadre métallique ouvert en aval par de nombreux orifices débouchant sur un canal collecteur, puis sur un exutoire à partir duquel seront mesurés ruissellement et perte en terre durant une pluie simulée. Le ruissellement et sa charge solide sont stockés pendant 30 minutes dans une grande cuve en plastique de 50 l d'où on extrait ensuite un échantillon de suspension et l'ensemble des terres de fond.

Ces mesures vont permettre ensuite de tracer l'hydrogramme (ou courbe du ruissellement au cours du temps), le turbidigramme (ou courbe de turbidité des sédiments ruisselés (suspension et terre de fond ou agrégats grossiers)) et de déterminer les paramètres hydrodynamiques (LAFFORGUE, 1977 ; ROOSE et ASSELINE, 1978 ; COLLINET et VALENTIN, 1979).

Le cadre est enfoncé de 6 cm dans le sol et la surface d'étude du sol n'est pas travaillée sauf pour le traitement "sol nu" qui est griffé sur 5 cm afin de déterminer l'érodibilité du matériau, après la préparation du lit de plantation.

Trois répétitions de simulation de pluie sont appliquées dans la plupart des traitements sauf dans le cas des inter-rangs sous paillage (Ca2 et Ba3) qui n'ont nécessité deux pluies simulées, le ruissellement restant nul au bout de 180 minutes.

b1) – Conditions avant et après application de la pluie simulée

La placette de 1 m² constitue la surface d'étude du sol. Par conséquent, déterminer l'état initial de cette placette permettra de rechercher d'éventuels facteurs explicatifs des résultats des pluies simulées.

Avant toute application du test, les conditions initiales sont définies tels que :

- la pente **p** de la placette (%), déterminée à l'aide d'un mètre, d'une règle et d'un niveau à bulle posé sur les côtés du cadre métallique ;
- l'humidité pondérale initiale du sol superficiel (0-10 cm) **Hp avant** (%), à partir de trois échantillons de sol prélevés autour de la placette, puis pesés après séchage à 105°C ;
- la rugosité **Rugsté** du sol, par la méthode de la chaînette (elle consiste à disposer suivant une ligne directrice de 1 m, la chaînette sur la surface de façon à épouser sa rugosité, puis à mesurer la longueur (R) correspondant de la chaîne. Le paramètre Rugsté est ensuite défini par le rapport de la longueur (R) sur la distance directrice de 1 m. L'opération peut-être répétée 4 à 5 fois sur la placette de 1 m² (ROOSE, 1996)) ;
- l'état de surface du sol (en %), effectué sur 120 à 220 points de la placette, comprenant les surfaces ouvertes **S.O.** ou mottes, les surfaces couvertes **S.C.** regroupant la litière et les cailloux protégeant le sol et les surfaces fermées **S.F.** représentant des pellicules ou des croûtes en surface du sol (ROOSE, 1996) ;
- la cohésion du sol (en %), comprenant les zones tassées (>2 kg/cm²) et les zones meubles (<2 kg/cm²) définies d'après les mesures au pénétromètre manuel effectuées en même temps que le comptage de l'état de surface.

Après la simulation de pluie, d'autres déterminations sont effectuées telles :

- l'humidité pondérale du sol juste après la pluie **Hp après** (%), à partir de trois prélèvements de sol humide effectués dans la placette, puis séchés à 105°C et pesés ;
- la densité apparente **Dapp** (g/cm³), déterminée d'après trois ou quatre prélèvements au cylindre cubique de 1000 cm³ enfoncé jusqu'à 10 cm dans les placettes humides après la simulation.

Ces paramètres de conditions sont propres à chaque traitement étudié. Leur détermination va permettre de rechercher les facteurs explicatifs du ruissellement et de la perte en terre mesurés sur 1 m², à l'aide de corrélations entre les paramètres.

En général, la détermination d'un de ces paramètres nécessite la répétition de l'opération à trois reprises.

b2) – Hydrogrammes, turbidigrammes et paramètres hydrodynamiques

A l'exutoire de la placette de 1 m², le ruissellement est mesuré (chronomètre et éprouvette graduée) toutes les deux minutes après son démarrage et la perte en terre (matière en suspension et agrégats grossiers) est prélevée toutes les demi-heures après une heure de pluie simulée.

Ces mesures de ruissellement permettent de tracer un hydrogramme de simulation de pluie ou courbe de ruissellement au cours du temps, comportant quatre phases distinctes : (1) – la phase d'imbibition correspondant à la durée d'humectation du sol avant le démarrage du ruissellement ; (2) – la phase transitoire qui représente la croissance du ruissellement et son installation ; (3) – le régime permanent du ruissellement avec une intensité maximale et

constante ; (4) – la phase de vidange correspondant à la baisse puis à la fin du ruissellement après arrêt de la simulation de pluie (LAFFORGUE, 1977 ; ROOSE et ASSELINE, 1978 ; COLLINET et VALENTIN, 1979) (schéma 3.5).

Les mesures de sédiments serviront à tracer le turbidigramme ou courbe d'évolution de la perte en terre (suspension et agrégats grossiers) sous simulation de pluie (ROOSE et ASSELINE, 1978 ; COLLINET et VALENTIN, 1979). Ce turbidigramme sert à visualiser la dynamique de perte en sédiments sous pluie simulée (figure 3.5).

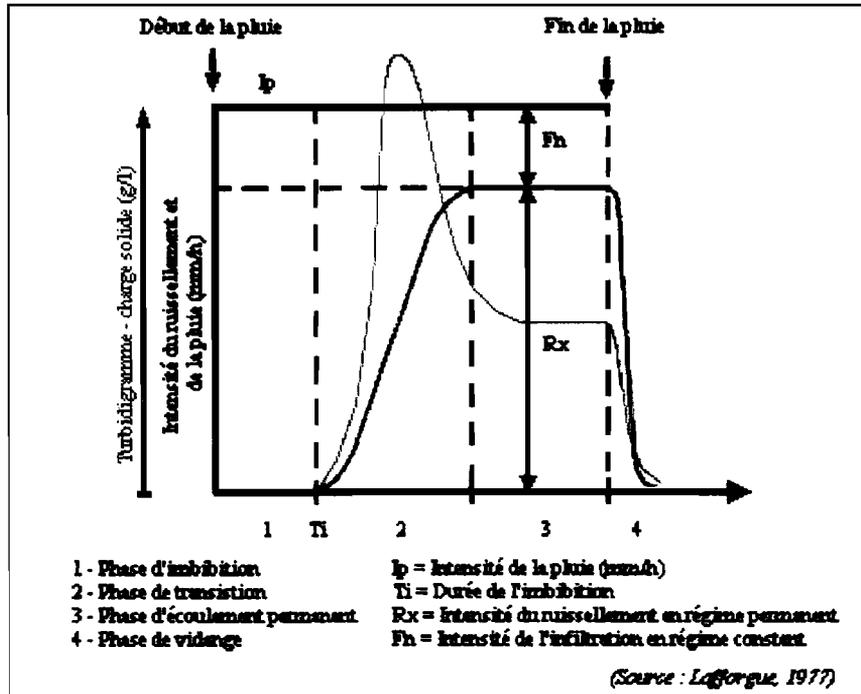


Schéma 3.5 – Hydrogramme de ruissellement et turbidigramme de la charge solide théorique pour une simulation de pluie d'intensité I_p constante (Source : LAFFORGUE, 1977).

Ces mesures permettent de définir les paramètres hydrodynamiques suivants (LAFFORGUE, 1977) :

- la pluie d'imbibition P_i (mm) ou hauteur d'eau de pluie minimale et nécessaire pour provoquer le ruissellement ;
- la lame ruisselée cumulée L_{Rc} (mm) correspondant à la hauteur du ruissellement (rapport du volume d'eau ruisselée sur la surface de la placette) après 60, 90, 120, 150 et 180 minutes de pluie simulée ;
- le coefficient de ruissellement K_r (%) défini par le rapport de la lame ruisselée cumulée L_{Rc} sur la hauteur de pluie appliquée ;
- le palier de ruissellement R_x (mm/h) qui représente une intensité maximale et constante, observée en phase de régime permanent du ruissellement ;
- le taux d'infiltration stabilisée F_n (mm/h) qui correspond à la différence entre les intensités de pluie et de ruissellement en régime permanent ;
- la perte en terre PT (t/ha) qui correspond à la somme des sédiments fins (suspension) et grossiers (agrégats de sol) évacués par le ruissellement en dehors de la placette après 60, 90, 120, 150 et 180 minutes de pluie.

Il faut noter que les différents temps de prélèvement (60, 90,180 minutes) permettent de découper la simulation de pluie et comparer les traitements entre eux au cours du temps et sous une pluie de même intensité et même durée.

3.2 – Bilan hydrique

Le bilan hydrique est établi sur les systèmes de culture bananière suivant le modèle ci-après :

$$P = LR + Dr + ETP +/- \text{Var. stock.}$$

où P : hauteur de la pluie (mm) ;
LR : hauteur de la lame ruisselée (mm) ;
Dr : lame d'eau infiltrée ou drainée en sous-sol ;
ETP : l'évapotranspiration potentielle de la culture (mm) ;
Var. stock : la variation de stock d'eau du sol (mm)

Le pas de temps choisi est hebdomadaire.

Le bilan hydrique est réalisé durant les deux campagnes 1999 et 2000 de mesures du ruissellement et de l'érosion en parcelles d'érosion (200 m²).

Nous avons choisi d'établir le bilan hydrique à partir de ce modèle car il s'appuie directement sur des paramètres indicateurs de l'influence des systèmes de culture bananière sur l'environnement. En effet, les écoulements d'eau (ruissellement et infiltration) sont souvent des vecteurs de transferts tant en éléments solides (érosion par ruissellement) qu'en éléments solubles (pertes chimiques) pouvant avoir une répercussion sur la pollution à la sortie des parcelles cultivées.

Disposant directement de la plupart des paramètres de ce bilan hydrique avec l'étude en parcelles d'érosion, nous avons donc mis au point des méthodes pour estimer les quelques paramètres manquants du modèle. Ces paramètres sont décrits ci-dessous.

3.21 – Les paramètres connus dans le bilan hydrique

Ces paramètres connus (P, LR et ETP) sont en général déterminés quotidiennement ou par événement. Etablir le bilan hydrique au pas de temps hebdomadaire requiert donc qu'ils soient convertis et regroupés par semaine.

3.211 – La pluie (P)

La pluie P (mm) est obtenue soit par le relevé journalier de la pluviosité au pluviomètre à lecture directe, soit par les enregistrements automatiques des stations météorologiques de METEOFRANCE (station Rivière Lézarde) ou du CIRAD (station Campbell), avec une précision de 0,1 mm.

3.212 – Le ruissellement ou la lame ruisselée (LR)

Le ruissellement est obtenu à partir des parcelles d'érosion. Celles-ci ruissellent quand la pluie est suffisamment intense. La mesure du volume d'eau ruisselée au bas des parcelles permet de calculer le ruissellement de 0,1 (en cas de pluies annuelles) à 10 mm près (en cas de fortes pluies).

3.213 – L'évapotranspiration potentielle (ETP)

Par approximation, nous considérons l'évapotranspiration réelle ETP des cultures comparable à son évapotranspiration potentielle ETP. Cette approximation est particulièrement valable en saison humide avec un risque de drainage maximal quand le sol est bien couvert par la culture et quand son humidité est proche de la capacité au champ (Humidité supérieure ou égale à pF 2,5) (ELDIN (1968), cité par GODEFROY et *al.*, 1970). Elle se justifie aussi par une erreur commise par défaut qui reste faible en saison sèche (ETR < ETP) puisqu'en principe, le drainage devrait être négligeable, voire nul.

Ce paramètre ETP est obtenu à partir des données météorologiques (rayonnement) de la station automatique du CIRAD (station Campbell) d'après la relation définie par MEYER et SCHOCH (1976) :

$$ETP = 0,2392 \times Ray - 0,0026$$

Où ETP (mm) ; Rayonnement Ray (MJ/m²)

Sa précision est constante et vaut près de 1 mm par jour.

3.22 – Paramètres à déterminer pour le bilan hydrique

Les paramètres à déterminer sont le drainage (Dr) et la variation de stock (Var. stock).

3.221 – Le drainage (Dr) au-delà des racines de bananier (-60 cm)

a) – Introduction et objectif

Pour estimer le flux d'infiltration ou de percolation du sol dans le bilan hydrique d'un système de culture, plusieurs outils et méthodes existent et ont été étudiés par divers auteurs.

Citons par exemple les bougies poreuses en céramique permettant le prélèvement de la solution du sol à faible profondeur (CHEVERRY, 1983 ; POSS, 1991) ou des lysimètres cylindriques enfoncés dans le sol collectant les eaux gravitaires (ROOSE et HENRY des TUREAUX, 1970 ; ROOSE et GODEFROY, 1977) ou encore, plus récemment, les lysimètres à mèches en fibre de verre collectant par succion l'eau percolée (HOLDER et *al.*, 1991 ; BOLL et *al.*, 1992 ; BRAHY, 1998). Cependant, tous ces outils cités présentent des défauts dans leur fonctionnement et des inconvénients selon la culture étudiée : faible quantité d'eau prélevée (cas des bougies poreuses) ou bien nécessité de nombreux dispositifs (3 à 5 répétitions) parfois lourds à installer pour estimer correctement l'infiltration (cas des bougies poreuses et des lysimètres) ou encore faible surface d'investigation pour une culture de grands plants comme les bananiers (cas des lysimètres à mèches).

Or, notre étude concerne le bilan hydrique en système de monoculture bananière et recherche précisément son impact sur l'environnement, notamment à travers les écoulements d'eau.

Par conséquent, on a choisi un collecteur d'eau de percolation respectueux de l'organisation des pores du sol et suffisamment représentatif des flux d'infiltration sous un bananier, à

travers sa zone racinaire ou couche de sol non remanié. D'où l'idée d'un lysimètre conique à mèches, placé sous la zone racinaire du bananier et inspiré des travaux de ROOSE et HENRY des TUREAUX (1970) et de BRAHY (1998).

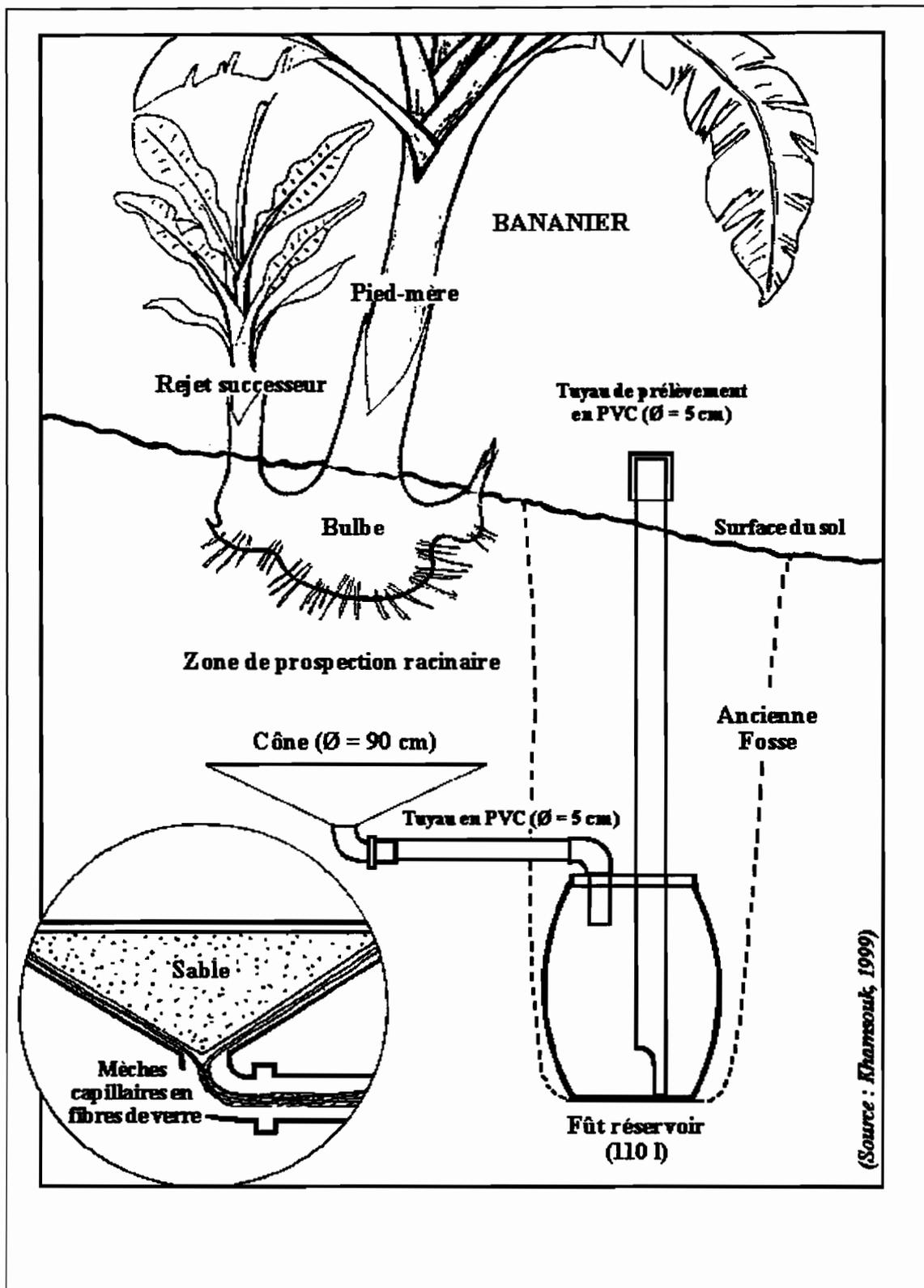


Schéma 3.6 - Disposition du lysimètre conique à mèches capillaires, à -60 cm du sol sous un bananier (Détail intérieur du cône : sable, toile maillée en nylon et mèches en fibres de verres).

b) – Principe de fonctionnement du lysimètre conique à mèches capillaires

Le lysimètre conique a pour objectif de collecter les eaux gravitaires percolant à travers une couche de sol non remanié. Placé avec le sommet dirigé vers le bas, le cône permet une concentration et une évacuation des eaux infiltrées vers le fût réservoir, via un tuyau évacuateur ($\varnothing = 50$ mm). Il fonctionne donc comme un évier placé sous une couche de sol, collecte et concentre par écoulement passif les eaux de sub-surface (ROOSE et HENRY des TUREAUX, 1970). Le sol étant un milieu poreux, l'eau circule rapidement vers le bas dans les macropores ($\varnothing > 1$ mm) (eau gravitaire) mais plus lentement dans les micropores ($\varnothing < 1$ mm) (eau capillaire). Les mèches capillaires incluses dans le cône permettent en principe de mobiliser plus efficacement l'eau retenue dans les micropores vers le lysimètre.

c) – Description du lysimètre conique

Ses caractéristiques sont décrites ci-dessous (schéma 3.6) :

- un cône circulaire en fer galvanisé (2 mm d'épaisseur), de diamètre $\varnothing = 0,90$ m et de hauteur $H = 20$ cm, tronqué et percé au sommet (trou de diamètre $\varnothing = 6$ cm) ;
- un coude en fer galvanisé (diamètre $\varnothing = 50$ mm) soudé au sommet ;
- un raccord en PVC vissé au coude permettant la connexion des tuyaux en PVC (diamètre $\varnothing = 50$ mm) entre le cône et le fût réservoir (110 l) ;
- des mèches en fibre de verre (de *Pepperell Braiding Company* (réf. 1380)) captant et conduisant les eaux par capillarité, défibrées en partie pour prospecter toute la surface du cône ;
- une toile maillée étendue sur la laine de verre défibrée du cône ;
- du sable de rivière lavé, remplissant le cône ;
- une toile maillée ronde, séparant le sable du sol de la zone racinaire.

Notons que le sable permet d'éviter un effondrement du sol supérieur – et donc du bananier ! – sur le cône. En outre, il faut préciser que les mèches en fibre de verre utilisées pour capter les eaux présentent les caractéristiques suivantes : conductivité hydraulique à saturation $K_{sat} = 0,01$ cm/s, diamètre $\varnothing = 0,95$ cm, hauteur capillaire maximale $H = 54$ cm, pouvoir de succion comprise entre 0 à -5,4 KPa du potentiel hydrique – c'est-à-dire jusqu'à capacité au champ (HOLDER *et al.*, 1991 ; BRAHY, 1998).

Le schéma 3.6 donne une vision globale du lysimètre conique placé sous un bananier à -60 cm du sol en place.

d) – Mise en place

Pour notre étude, cinq lysimètres (notés A, B, C, D et E) ont été installés vers -60 cm de profondeur dans la bananeraie "Ponterre" : d'abord trois lysimètres coniques A, B et C sont mis sous trois bananiers situés en amont de la parcelle d'érosion (Ba3) (05/99), puis deux autres D et E sont placés sous deux plants situés en amont de (Ba4) (08/99) (schéma 3.7).

Ces lysimètres ont été mis en place à partir d'une grande fosse ouverte perpendiculairement à la pente et en aval des bananiers (distance de 30 à 50 cm des plants) sélectionnés pour accueillir les lysimètres sous leur pied.

En amont de cette fosse, des cavités latérales sont creusées à -60 cm en dessous des bananiers pour placer le lysimètre conique. Cette couche de sol (épaisse de 60 cm) représente en fait, la zone de prospection des racines et semble privilégier des écoulements d'eau intéressants d'après ses caractéristiques physiques (sol léger et poreux : $D_{app} = 0,85$ g/cm³ et $P_t = 0,6$ à $0,67$ (cf. § 2.37b – Détermination physique du sol des 3 bananeraies PT, DM3 et DM2)).

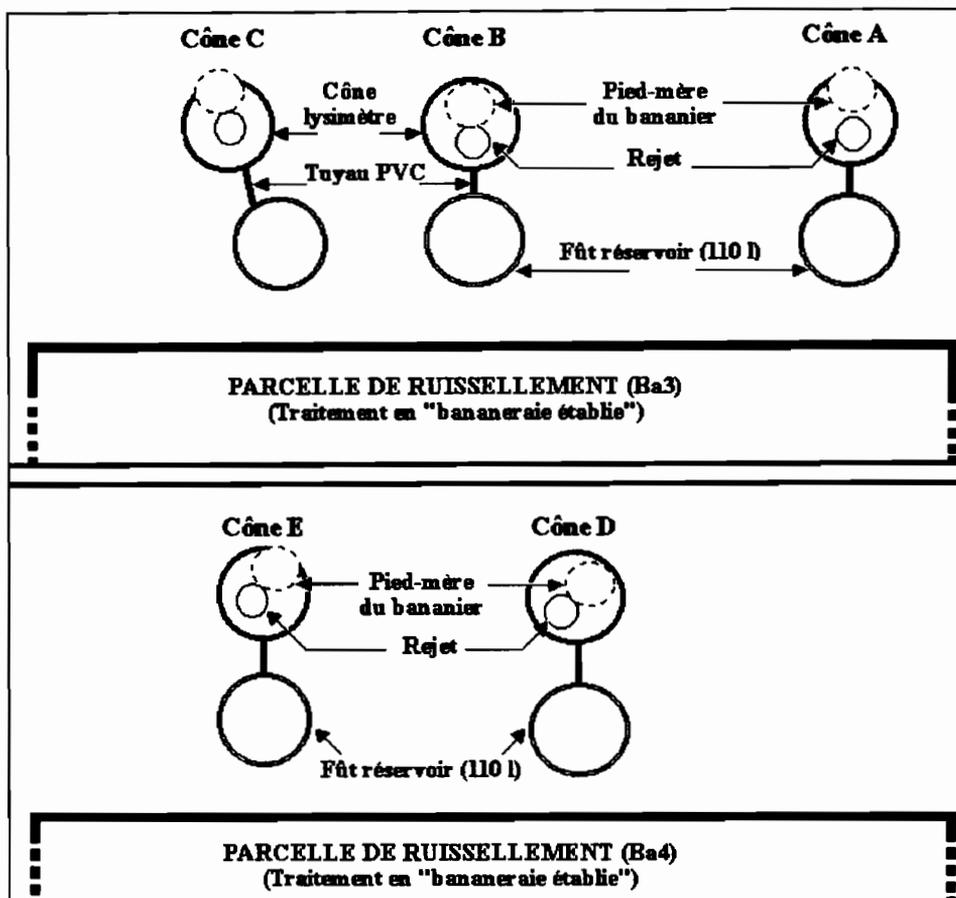


Schéma 3.7 – Localisation des 5 lysimètres coniques dans la parcelle "Ponterre".

Les cônes remplis de mèches et de sables sont placés dans leur cavité à l'aide de cales en bois, puis sont plaqués et immobilisés contre la zone racinaire. Les fûts réservoirs (110 l) sont ensuite posés au fond de la grande fosse, puis sont reliés hermétiquement au cône par un tuyau en PVC. Enfin, un long tuyau en PVC ($\varnothing=50$ mm) est enfoncé verticalement dans le fût de stockage et permettra d'assurer la collecte de la solution percolée par pompage (après le rebouchage de la grande fosse).

Il faut noter que la remarquable cohésion de ce sol brun a facilité l'installation des lysimètres sous la couche de sol non remanié, et aucun éboulement n'a contraint à cette mise en place lors du creusement des cavités latérales. Mais, après avoir placé les trois lysimètres sous les bananiers, les rebords de la grande fosse avaient tendance à s'effriter. Il a donc fallu reboucher la fosse d'urgence.

e) – Protocole de mesures et d'échantillonnage

En général, les lysimètres sont relevés une fois par semaine, selon la méthode décrite ci-dessous. Ce suivi régulier est fixé arbitrairement et correspond au pas de temps du bilan hydrique. Cependant, il peut être modifié pour suivre les événements pluvieux et la vitesse de percolation ou de drainage.

La démarche pour mesurer le drainage requiert deux opérateurs sur le terrain et nécessite le matériel suivant :

- une motopompe,
- 5 jerricans de 20 l (chacun correspond à un lysimètre),
- un petit tuyau PVC rigide, gradué et long de plus de 2 m (baguette),
- un bac gradué de 2 l (précision : +/- 1 dl),
- une balance (précision : +/- 2 kg),
- un seau plastique, propre et gradué de 10 l (précision : +/- 0,5 l),
- des bouteilles d'échantillon de 1,5 l.

Elle consiste d'une part à mesurer, pour chaque lysimètre, le volume d'eau drainée stockée dans les fûts réservoirs au bout de sept jours, puis à prélever d'autre part des échantillons d'eau en vue d'analyse chimique. Pour cela, après vérification de la présence d'eau dans les fûts, le volume est vidé à l'aide d'une motopompe propre, puis est stocké dans les jerricans.

La détermination du volume d'eau drainée VD peut se faire de deux manières.

- en cas de fort volume d'eau, la pesée des jerricans tarés et remplis d'eau permet d'avoir directement le volume drainé (la précision des mesures est de 1 l).
- en cas de faible volume, la mesure de l'eau s'effectue grâce au seau et au bac gradué (la précision des mesures est de 0,1 l).

Ensuite, deux bouteilles d'échantillon composite d'eau sont effectuées pour les trois premiers lysimètres A, B et C, puis pour les deux autres D et E.

Cette démarche peut être récapitulée dans la fiche ci-dessous.

Date :		Poids jerrican rempli (kg)	Tare (kg)	Volume d'eau total VD (l)	Nombre de bouteilles d'eau prélevées
N° lysimètres	N° jerrican				
A	J1		0,62		2 échantillons composites d'eau pour les lysimètres A+B+C et D+E
B	J2		0,70		
etc.	J3		0,62		

Remarque - Le nombre de bouteilles d'échantillon d'eau dépend en fait de la quantité d'eau contenue dans les lysimètres. En période sèche à faible drainage, il y a peu d'eau stockée dans les lysimètres permettant parfois de prélever seulement une bouteille d'échantillon.

Les lysimètres peuvent collecter différemment les flux d'eau en raison de l'hétérogénéité du sol (variation de la conductivité hydraulique, chemins préférentiels de circulation d'eau...) et/ou en raison des modifications survenues lors de la mise en place des lysimètres malgré le soin apporté (éboulement d'une partie de la couche du sol en place, emplacement du cône plus ou moins dans l'axe du bananier). Leur fonctionnement peut donc varier d'un lysimètre à l'autre. C'est pourquoi il serait préférable de collecter autant d'échantillons d'eau qu'il y a de lysimètres coniques pour les analyses car ce serait plus représentatif de la variation des flux. Mais cette méthode par échantillon moyen a été préférée en raison du coût des analyses de l'eau (plus le nombre d'échantillons est important, plus le coût de l'analyse d'eau est élevé !).

f) – Paramètre étudié (Dr)

A partir de la détermination du volume d'eau drainée VD et connaissant la surface des cônes des lysimètres ($S=0,64 \text{ m}^2$), nous déterminons la lame d'eau drainée Dr :

$$Dr = \frac{VD}{S} \quad \text{où} \quad \begin{array}{l} Dr = \text{lame d'eau drainée (mm)} \\ VD = \text{volume d'eau drainée (l)} \\ S = \text{surface du cône (0,64 m}^2\text{)} \end{array}$$

Bien qu'il permette de collecter une grande partie de l'eau de drainage en période humide, ce système comporte néanmoins quelques défauts. En effet, la méthode de mesure par pompage ne permet pas de recueillir la totalité de l'eau drainée et il doit rester environ près de 1 l d'eau au fond du fût réservoir (soit environ 1,5 mm en lame d'eau drainée). Cette erreur est négligeable en période de fort drainage, mais elle devient élevée en période de faible volume drainé, notamment quand le drainage avoisine les 10 mm et où l'erreur s'élève alors à 15%.

La précision de ce paramètre Dr est donc variable et va de 0,1 à 4 mm.

3.222 – La variation de stock (Var. stock) d'eau du sol

a) – Introduction

Dans cette partie, nous avons cherché à estimer la variation hebdomadaire du stock d'eau du sol à partir des tensiomètres placés à -30 cm dans le sol (DOREL, communication orale). Cette méthode proposée par DOREL donne une évaluation de l'état hydrique du sol à partir d'un outil servant en général à piloter l'irrigation suivant l'état hydrique du sol ou d'une culture (GAUDIN *et al.*, 1998 ; DOREL et OZIER-LAFONTAINE, 1998).

b) – Description et principe de fonctionnement du tensiomètre

Le tensiomètre se compose d'un bouchon en silicone auto-cicatrisant (réf. TENS22013), d'un tube PVC (rempli d'une bulle d'air et d'une colonne d'eau dégazée) et d'une céramique poreuse ou bougie (réf. SDEC 2150) permettant les échanges d'eau entre le tube et le sol. C'est un système fermé à son sommet et ouvert au niveau de la bougie poreuse. Il entre donc facilement en dépression par succion du sol au niveau de la céramique poreuse (SDEC, 1998).

Son fonctionnement repose sur la colonne d'eau en équilibre avec l'état hydrique du sol. Plus le sol est desséché, plus la colonne d'eau est basse et plus la dépression de la bulle dans le tube est grande. Par contre, plus le sol s'humidifie, plus la colonne d'eau remonte (recharge du tensiomètre) et plus la dépression mesurée est faible.

Les tensiomètres peuvent indiquer l'état hydrique d'un sol compris entre la saturation et une teneur en eau à pF 3 : la dépression varie de 0 mbar (saturation du sol) à -999 mbars (sol desséché jusqu'à pF 3).

Cette dépression est mesurée à l'aide du tensiomètre électronique à aiguille hypodermique (réf. SMS2500S) et il permet ainsi de connaître facilement l'état hydrique du sol.

c) - Abaque teneur pondérale en eau du sol (Hp%) en fonction de la dépression tensiométrique

Les tensiomètres vont servir à estimer indirectement la teneur pondérale en eau du sol (Hp%) par l'intermédiaire d'une abaque établie au laboratoire, suivant une méthode proposée (DOREL, communication orale). Celle-ci consiste à suivre la dessiccation à l'air de pots de terre initialement saturés en eau et à relever, en même temps, les tensions et le poids des pots correspondants. Après décrochage des tensiomètres (sol desséché jusqu'à pF 3), les pots de terre sont desséchés pendant 10 jours à l'étuve à 105°C, puis sont pesés. La teneur pondérale en eau (Hp%) est calculée par la différence entre les poids humide et sec, rapporté au poids sec des pots de terre. Cinq pots de terre ont été utilisés pour la détermination de la relation entre la dépression des tensiomètres et l'humidité pondérale du sol.

L'abaque est construite suivant la correspondance d'une valeur de tensiomètre avec une teneur pondérale en eau (Hp%). Il s'agit de tracer une courbe pF en dessiccation du sol brun rouille à halloysite, allant jusqu'à pF 3 (décrochage des tensiomètres à -999 mbars) (figure 3.1).

Celle-ci est comparée à une courbe pF réalisée sur des mottes de sol superficiel (0-20 cm) provenant d'une parcelle d'agrumes voisine de la bananeraie "Ponterre".

Remarque : l'établissement de la courbe pF en dessiccation est propre à un type de sol donné et à sa géométrie porale. Par conséquent, il est nécessaire de prélever des échantillons du sol au champ dans des pots afin de définir sa teneur en eau en fonction du tensiomètre.

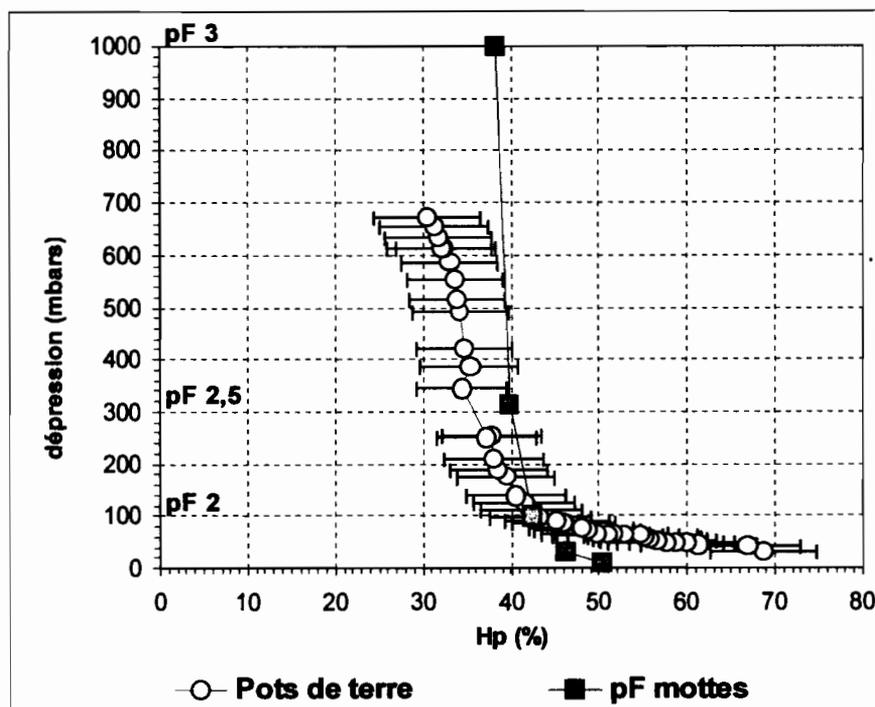


Figure 3.1 – Abaque dépression tensiométriques (mbars) en fonction de l'humidité pondérale du sol (Hp%) pour le sol brun rouille à halloysite sur (0-20 cm) – courbe pF de dessiccation.

D'après la figure 3.1, la courbe de dessiccation obtenue dans les pots présente des différences avec celle du pF tracée sous agrume : les pots de terre présentent une humidité pondérale plus élevée puis plus sèche que les mottes de part et d'autre du pF 2. Cela pourrait s'expliquer par une macroporosité plus développée dans la méthode des pots qui contiendrait au départ plus d'eau que les mottes, mais se dessècherait aussi plus vite au cours du temps car l'eau est peu retenue dans les macropores. Par ailleurs, la dessiccation des pots de terre pourrait être

différente de celle obtenue par application d'une pression sur les mottes : les tensiomètres placés dans les pots montrent des écarts - types de plus en plus importants à mesure que la terre se dessèche.

La précision pour estimer l'humidité pondérale du sol (Hp%) est très variable : sur sol très humide (pF bas), elle est de 1% ; par contre sur sol plus desséché (proche de pF 3), elle augmente à 10%.

Bien que cette méthode recouvre seulement une gamme d'humidité du sol allant jusqu'à pF3, elle permet une estimation rapide de l'humidité du sol et semble adaptée aux études sur de nombreuses parcelles d'essai et au contexte bananier. En effet, dans les systèmes de culture bananière pratiqués dans les Antilles françaises, très souvent l'humidité du sol est maintenue au-dessus de pF 3 grâce à l'irrigation car le bananier est une plante particulièrement sensible au stress hydrique.

d) – Disposition des tensiomètres dans les parcelles d'érosion

Les tensiomètres sont disposés à -30 cm dans le sol à l'aide d'une tarière suivant deux méthodes.

- Pour trois parcelles de 100 m² (traitement "sol nu"), trois tensiomètres ont été placés suivant la ligne de la plus grande pente, en amont, au milieu et en aval de la parcelle (en tout, 9 tensiomètres).
- Pour les parcelles de 200 m² (traitements cultivés), six tensiomètres en rang de deux ont été mis dans le sens de la plus grande pente, en amont, au milieu et en aval de la parcelle. Seule la parcelle ananas billonnée (An6) comporte neuf tensiomètres car nous avons arbitrairement séparé les sillons des billons (en tout, 42 tensiomètres).

e) - Relevé des tensiomètres

Les tensiomètres sont mesurés deux fois par semaine. Ces relevés sont effectués à l'aide du tensiomètre électronique à aiguille hypodermique (réf. SMS 2500S). Afin d'éviter toute perturbation de l'appareil par l'humidité, les bouchons des tensiomètres sont essuyés à l'aide d'un chiffon avant leur lecture.

En général, il faut plus d'une heure pour relever les 51 tensiomètres dans les 10 parcelles d'érosion. Ces relevés permettront ensuite d'estimer l'humidité pondérale du sol, puis la variation de stock d'eau contenue dans le sol au cours du temps.

f) – Paramètres de la variation de stock (Var. stock)

L'humidité pondérale du sol (Hp%) est définie hebdomadairement par le report sur l'abaque de la valeur moyenne des tensiomètres. A partir de Hp%, la variation de stock d'eau du sol est calculée d'une semaine à l'autre selon la relation :

$$\text{Var. stock} = (\text{Hp}\%_2 - \text{Hp}\%_1) \times D_{\text{app}} \times E$$

où Var. stock = variation de stock (mm) ;
Hp%1 et Hp%2 : humidité pondérale des semaines n°1 et 2 (%) ;
Dapp : densité apparente du sol (Dapp=0,8 g/cm³) ;
E : épaisseur de la couche de sol étudiée (mm) ;

La précision pour estimer la variation de stock est variable puisqu'elle découle de l'humidité pondérale (près de 1 à 10 mm).

3.23 – Conclusion sur le bilan hydrique

Pour évaluer le bilan hydrique ($P=LR+ETP+Dr\pm Var. \text{ stock}$), on a mesuré par différentes méthodes :

- la pluie P (mm) (précision : $\pm 0,1$ mm),
- le ruissellement LR (mm) (précision : $\pm 0,1$ à 10 mm),
- l'évapotranspiration potentielle ETP (mm) (précision constante : ± 1 mm/j),
- le drainage Dr (mm) (précision : $\pm 0,1$ à 4 mm),
- la variation de stock de surface Var. stock (mm) (précision : $\pm 0,1$ à 10 mm).

Aucune méthode n'est parfaite mais nous nous sommes efforcés de tout mesurer pour éviter d'estimer un paramètre avec les erreurs de tous les autres. La précision des mesures est très variables (0,1 à 10 mm). L'approximation du drainage par les lysimètres semblent assez satisfaisante ($Dr \text{ obs} \sim Dr \text{ calc}$).

3.3 – Analyses chimiques

Les analyses chimiques des eaux et des terres ont été réalisées aux laboratoires de pédologie du CIRAD-FLHOR de Martinique et au laboratoire "Biologie et Organisation des Sols Tropicaux" (BOST) de l'IRD Martinique – Caraïbes.

La texture des sols a été déterminée par la méthode de la granulométrie au laser (*cf. annexe 1*), les taux de C et N organiques par celle de la combustion au microanalyseur CNS au laboratoire BOST.

La matière organique (MO) a été déterminée par la méthode WALKLEY et BLACK et l'azote total (N) du sol, par la méthode KHEJDHAL au laboratoire de pédologie (ROSALIE, 1999). Les cations échangeables (K, Ca, Mg) des terres et des eaux ruisselées et drainées ont été analysés par la méthode d'extraction à l'acétate d'ammonium (ROSALIE, 1999). Le phosphore (P) a été déterminé par la méthode TRUOG (ROSALIE, 1999).

3.4 – Conclusion sur les méthodes

Nous avons vu que les méthodes choisies dans cette étude présentaient des avantages et des inconvénients.

Elles ont nécessité de gros travaux d'installation (en tous 6 mois) et d'exploitation (nombreux résultats durant 2 années de mesures). Mais ce dispositif (parcelles d'érosion, lysimètres coniques et tensiomètres) est très précieux car il permet d'estimer l'érosion hydrique des systèmes de culture et de fournir des échantillons d'eau (ruissellement et drainage) pour les analyses de pertes en nutriments et de polluants (pesticides – partie non traitée ici).

Le choix porté sur ce type de dispositif (parcelles d'érosion et lysimètres coniques) permet en outre d'étudier les processus le plus près possible des bananiers, de suivre au jour le jour ou à la semaine le fonctionnement et le bilan hydrique sous culture bananière.

L'analyse de la composition des eaux permet d'évaluer le comportement du sol et des systèmes de culture un peu comme l'analyse du sang et de l'urine permet de connaître le fonctionnement du corps vivant (animal/humain).

Les parcelles d'érosion servent donc à fournir des données de base sur le comportement des sols et des cultures (rétention de certains corps, minéralisation, évacuation d'autres...) et sont un outil très utile pour montrer au grand public ce qui se passe. C'est un laboratoire à ciel ouvert.

4 – RÉSULTATS

4.0 – Quelques résultats agronomiques

Ces résultats sont indiqués à titre d'information. Ils ne seront pas discuter par la suite.

a) – Profils culturaux observés sur les traitements cultivés

six à huit mois après la plantation des cannes à sucre et des ananas, nous avons observé à partir d'une fosse creusée en bordure des essais, trois profils culturaux des traitements de "canne paillé" (Ca2), d'"ananas à plat avec paillis" (An5) et d'"ananas mécanisé et billonné" (An6) (figures 4.0 a, b et c).

Les profils racinaires observés sont différents de ceux relevés sous bananiers (*cf. figures 2.5 a, b et c du chapitre 2*) et ils sont caractéristiques de leurs cultures.

- Sous canne (Ca2), les racines sont nombreuses (densité racinaire=0,1 à 0,4 racines/cm²) et leur zone de prospection s'étende jusqu'à -60 à -80 cm de profondeur. Le sol superficiel (0-60 cm) est poreux (anciennes galeries des racines de bananier) et en profondeur, il est plus compact (cohésion=2,2 à 4 kg/cm² au pénétromètre manuel pour une humidité pondérale du sol Hp=35%).

- Sous "ananas à plat et paillé" (An5), les racines sont plutôt organisées en faisceau et elles occupent généralement la couche superficielle du sol (0-30 cm). Le sol superficiel (0-20 cm) est meuble (cohésion=1 à 1,5 kg/cm²) et devient de plus en plus tassé en profondeur (cohésion=2,7 à 3,5 kg/cm²).

- Sous "ananas mécanisé et billonné" (An6), les racines sont limitées dans le billon et les faisceaux racinaires occupent les 10 premiers centimètres du sol superficiel. Le profil montre que le billon renferme des mottes massives et des résidus de bananiers enfouis. Il semble qu'il y ait une limite nette et tassée vers -40 cm de profondeur, due probablement à la préparation lourde de la terre.. Celle-ci pourrait expliquer en partie les forts ruissellement et érosion mesurés sur cette parcelles. Le sillon est en outre très tassé en surface et en profondeur (cohésion=5 kg/cm²) et l'on distingue une pellicule d'agrégats provenant sans doute de l'érosion des flancs de billons.

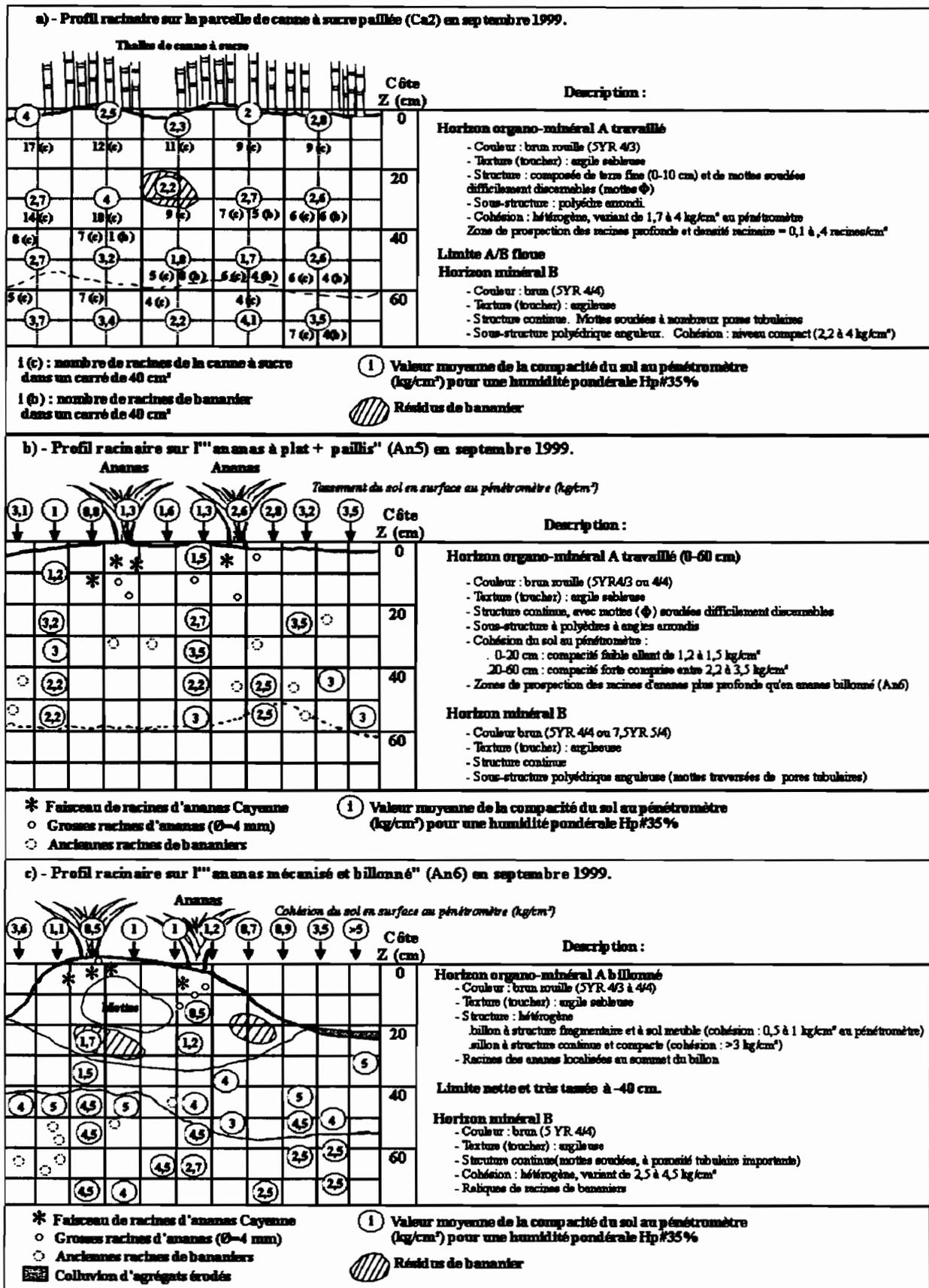


Figure 4.0 – Profils racinaires des parcelles : a) - de canne paillée (Ca2) ; b) - d'"ananas à plat + paillis" (An5) ; c) - d'"ananas mécanisé et billonné" (An6) en septembre 1999.

b) – Taux de C organique dans le sol superficiel (0-10 cm) à (t0+1).

Parallèlement à l'évolution des parcelles, nous avons estimé le taux de C organique du sol superficiel (0-10 cm) après un an de mise en place (t0+1) par microanalyse au CNS, au laboratoire « Biologie et Organisation des Sols Tropicaux » (IRD Martinique – Caraïbes).

Le tableau 4.0 présente les taux de C organique du sol superficiel (0-10 cm) à (t0) et à (t0+1).

Tableau 4.0 – Taux de C organique dans le sol superficiel (0-10 cm) des 10 parcelles à (t0) et à (t0+1).

Parcelles	Sol nu			Canne			Banane		Ananas			
	Nu1	Nu7	Nu9	Ca2	Ca8	Ca10	Ba3	Ba4	An5	An6		
									R*	IR*	Bi*	Si*
Pente %	11%	25%	40%	11%	25%	40%	11%	9%	9%			7%
C Org. à (t0) %	1,51	1,56	2,06	1,74	1,53	2,01	1,90	1,87	1,89			1,5
C Org. à (t0+1) %	1,35	1,44	1,87	1,50	1,72	2,22	1,89	1,62	2,03	1,77	1,70	1,54

* R = rang d'ananas ; IR = inter - rang ; Bi = rang ou billon d'ananas ; Si = sillon ou inter - rang

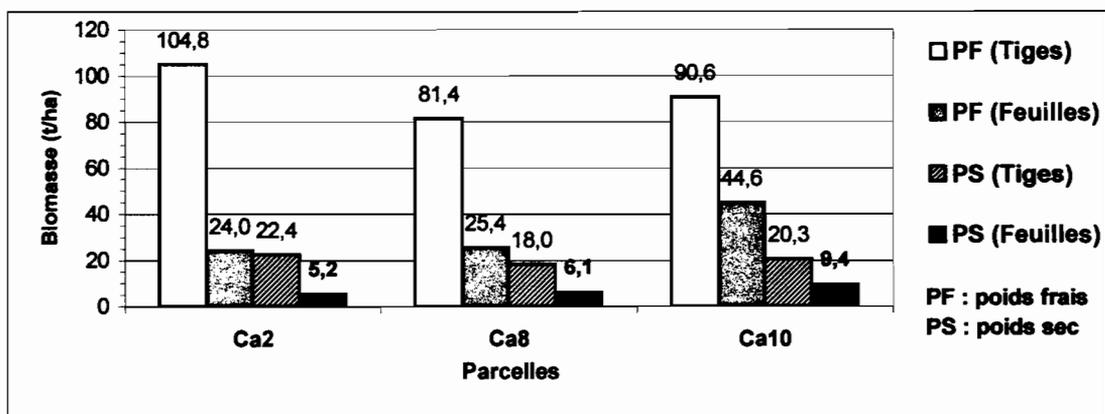
Après un an de mise en place, le taux de C organique a diminué sur les trois "sols nus" et tandis qu'il a augmenté dans les cannes sur fortes pentes et les rangs ou billons d'ananas.

Nous verrons ultérieurement que cette évolution du C organique est liée à la stabilité des agrégats.

c) – Rendements des cannes et des ananas après un an de culture (t0+1)

- La canne à sucre

Après une année de culture, nous avons estimé la production de biomasse des trois parcelles en cannes. Cette estimation s'est effectuée par la pesée des différentes parties végétales vertes de la canne sur trois lignes de plantations pour le poids frais, puis par le séchage et la pesée de cinq plants pour le poids sec. Les résultats de la biomasse fraîche sont illustrés par la figure ci-dessous.



4.01 – Production de biomasse des trois parcelles de cannes (200 m² et 13 lignes de plantation) après une année de culture.

La production des cannes est assez élevée et elle varie de 81 à 105 t/ha. Cette forte production est due aux lignes de plantations beaucoup plus serrées dans les essais agronomiques qu'en exploitation car la production martiniquaise s'élève généralement de à 63 à 76 t/ha (sources :

AGRESTE DOM, 1999). Les feuilles de cannes constituent aussi une biomasse non négligeable : en effet , les résidus de cette culture (feuilles sèches) sont en quantité importante (PS feuilles=5 à 9 t/ha) et ils ont servi de paillage lors de la répétition des observation en 2000. Nous verrons ultérieurement leur rôle dans la protection du sol.

- *L'ananas*

L'estimation de la production de biomasse des deux parcelles d'ananas (An5) et (An6) s'est effectuée essentiellement sur 100 fruits (poids frais et mensuration) durant la récolte de mai à juin 2000. Nous n'avons pas pu estimer la production de biomasse foliaire.

Les résultats sont présentés dans la figure 4.02

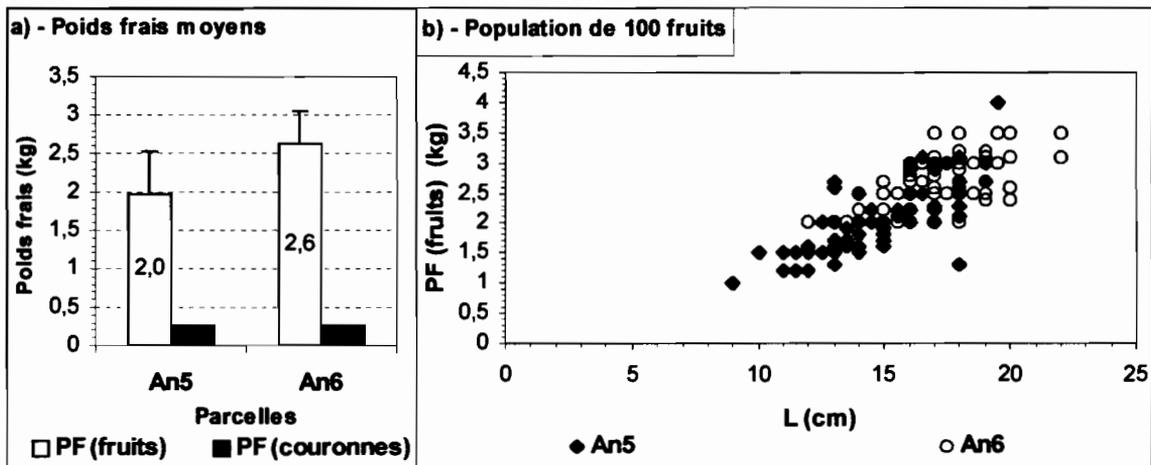


Figure 4.02 – Comparaison des fruits d’ananas issus de 100 plants des deux parcelles (An5) et (An6) : a) – poids frais moyens ; b) – population des 100 fruits à travers la représentation $PF=f(L)$.

D’après la figure 4.02, les fruits observés en (An5) semblent moins grands et moins lourds que les ananas sous traitement billonné (An6). Mais, les deux populations échantillonnées ne montrent pas de différence significative au niveau des poids et des mensurations de leur fruits. Suivant la répartition des deux populations sous la forme de PF en fonction de L, les fruits de la parcelle (An6) semblent plus homogènes que ceux de (An5). Cela est sans doute due au retard de croissance de certains plants en (An5) qui ont été atteint par un herbicide lors du traitement des adventices en juillet 1999.

Il ressort que les ananas plantés à plat avec paillis (An5) donnent des fruits assez comparables que ceux plantés en billon (An6), au niveau de leur calibre et de leur poids. La production d’ananas par plantation à plat et paillis pourrait être envisager.

4.1 – Les pluies

Les pluies ont été enregistrées durant les deux campagnes de mesures 1999 et 2000, à partir de deux stations météorologiques automatiques (METEOFRACTE et Station Campbell) et de pluviomètres à lecture directe (cf. annexe 3).

Globalement, 1999 a été une année sèche, avec un déficit avoisinant 13% par rapport à la pluviosité annuelle moyenne PAM établie de 1978 à 1998 (PAM=2420 mm/an).

Par contre, 2000 a été une année ordinaire, avec une pluviosité annuelle proche de la PAM (P=2333 mm) (tableau 4.1).

Tableau 4.1 – Pluviosité annuelle moyenne PAM et pluies annuelles sur les deux années 1999 et 2000 (d'après METEOFRACTE).

	P annuelle (mm)	Carême (mm)	Hivernage (mm)
PAM (moyenne 1978-98)	2419,7	796,0	1623,7
1999	2110,4	726,0	1384,4
2000	2333,3	833,0	1500,3

La distribution des pluies montre que les risques de ruissellement et d'érosion sont plus grands et plus fréquents en période cyclonique (de juillet à novembre) avec des pluies mensuelles variant de 250 à 420 mm (figure 4.1). La pluie cumulée durant l'hivernage s'élève environ à 65% de la pluie annuelle (soit 1384 mm de pluies en 1999 et 1500 mm en 2000 (tableau 4.1)).

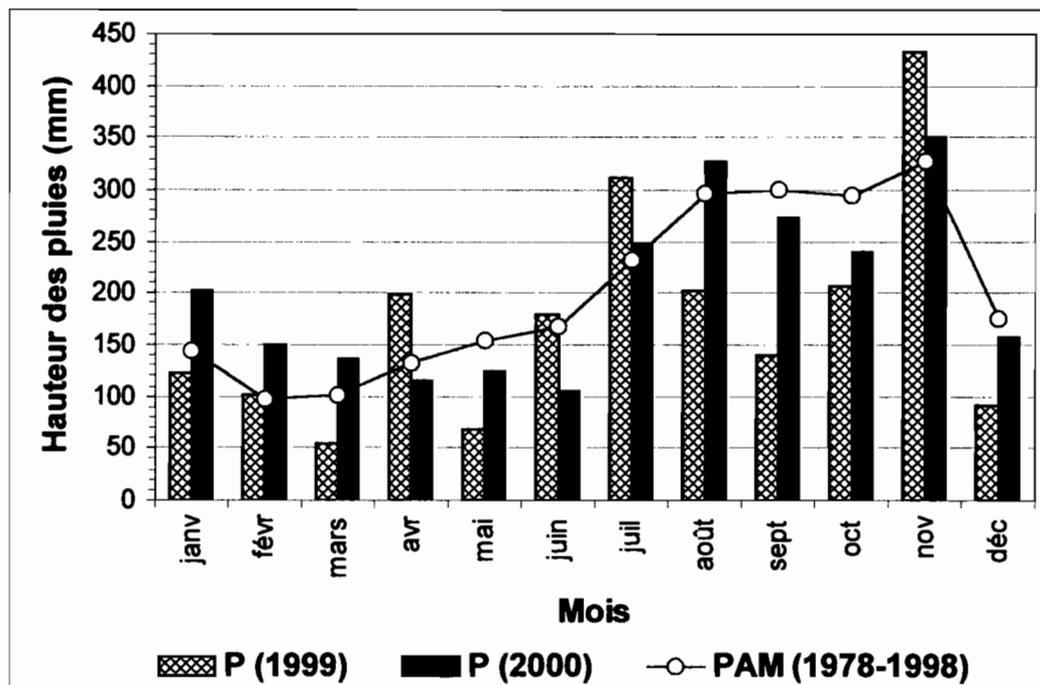


Figure 4.1 – Hauteur des pluies mensuelles des années 1999 et 2000 et comparaison avec la pluviosité annuelle moyenne PAM de 1978 à 1998 (d'après METEOFRACTE).

Bien que l'année 1999 soit plus sèche que celle de 2000, elle comporte plus de pluies agressives avec trois perturbations tropicales qui ont affecté l'île : deux tempêtes tropicales José le

21/10/99 et Lenny le 22/11/99 et une grande perturbation le 29/11/99 apportant respectivement des pluies journalières de 74, 58 et 190 mm.

La deuxième année de mesure n'a pas vraiment subi de perturbation cyclonique importante (seulement une grande averse le 08/11/00 (P=93 mm)) et elle a été plus affectée par des pluies plus faibles (P=10 à 20 mm) à modérées (P=30 à 60 mm).

Sur les deux campagnes d'érosion 1999 et 2000, on a observé 59 pluies érosives (c'est-à-dire des averses provoquant du ruissellement et de l'érosion sur sol nu). Le nombre d'événements érosifs dépend en réalité des traitements cultivés. En effet, sur une même pente p=10%, la parcelle "ananas mécanisé et billonné" (An6) a subi plus d'épisodes érosifs que celle sous "sol nu" (Nu1), avec respectivement 95 averses contre 59. Sur les deux années, les traitements "bananeraie établie" (Ba3) et (Ba4) comptabilisent au total 53 et 43 averses érosives, soit au total 2022 et 1771 mm d'eau représentant près de 50% de la pluviosité bi-annuelle 1999-2000. Les traitements paillés en "canne" (Ca2, Ca8 et Ca10) et en "ananas à plat" (An5), quant à eux, ont connu peu d'événements érosifs, avec par exemple 2 averses érosives sur la parcelle de "canne paillée" (Ca10) malgré une très forte pente p=40% (cf. annexe 4).

Le nombre de pluies érosives varie donc d'un traitement à l'autre. Cette variation dépend de la hauteur des pluies tombées et de leur agressivité (indice R) ainsi que de l'humidité préalable du sol. Lors d'un événement érosif, cette agressivité R est déterminée par l'intensité pluviale maximale pendant 30 minutes (I_{pmx30}) multipliée par l'énergie totale (E_t) de la pluie (WISCHMEIER, 1959 ; WISCHMEIER et SMITH, 1978 ; ROOSE, 1994).

Cette agressivité R se définit d'après le calcul donné dans le tableau 4.2.

Tableau 4.2 – Exemple de calcul de l'indice d'agressivité des pluies R (Tempête tropicale José (P#70 mm) du 21/10/1999).

Date	Heure	Hauteur de pluie durant les laps de temps (mm)					H* totale (mm)	Durée (min)	Ip* partielle (mm/h)	E* Unitaire	Et* totale	Ip mx30* (mm/h)	R index* (EI métrique)
		6'	12'	18'	24'	30'							
20/10/99	7:30	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,5	6	5	184	92		
20/10/99	8:00	0,5	2,5	0,0	0,5	1,5	5,0	30	10	210	1050		
20/10/99	8:30	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0	6	10	210	210		
20/10/99	9:00	0,5	1,5	0,0	0,0	0,0	2,0	12	10	210	420		
20/10/99	10:30	2,5	5,0	5,0	10,5	2,5	25,5	30	51	273	6961,5		
20/10/99	12:30	1,5	0,5	0,0	0,0	0,0	2,0	12	10	210	420		
20/10/99	13:00	0,0	0,5	8,5	1,0	1,0	0,5	6	5	184	92		
20/10/99	13:30	2,0	2,5	0,5	0,0	0,0	15,0	30	30	253	3795		
20/10/99	17:00	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	24	2,5	163	163		
20/10/99	19:30	4,0	1,0	0,5	0,0	0,5	6,0	30	12	217	1302		
20/10/99	20:00	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	6	10	210	210		
20/10/99	21:30	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,5	6	5	184	92		
21/10/99	2:00	0,0	0,0	0,0	0,5	0,5	1,0	12	5	184	184		
21/10/99	4:30	0,0	0,0	0,0	0,0	4,5	4,5	6	45	268	1206		
21/10/99	7:00	0,0	0,5	2,0	0,5	0,0	3,0	18	10	210	630		
21/10/99	10:00	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	6	5	184	92		
21/10/99	14:00	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,5	6	5	184	92		
21/10/99	15:00	0,5	0,0	0,5	0,0	0,0	1,0	12	5	184	184		
21/10/99							70,5			17195,5	51,0	50,5	

* H : hauteur totale de pluie (mm) ; Ip partielle : intensité pluviale calculée sur H et sa durée (mm/h) ;

E. unitaire : énergie cinétique de la pluie en tonne métrique x mètre / ha / cm de pluie ;

Et totale : énergie cinétique totale ramenée à la hauteur de la pluie ;

I_{pmx30} : intensité pluviale maximale durant 30 minutes exprimée en (mm/h) ;

R index : indice d'agressivité métrique, calculé d'après $R=(E_t \times I_{pmx30})/17356$ et exprimé en J/m²/h ou t/ha.

En Afrique, CHARREAU (1970), DELWAULLE (1973) et ROOSE (1977) ont trouvé des relations linéaires entre les pluies journalières et leur indice d'agressivité R.

A RLZ, nous avons obtenu une relation similaire, après avoir reporté pour 69 pluies érosives ($P > 10$ mm) leurs agressivités R en fonction de leurs hauteurs correspondantes (figure 4.2). Celle-ci est linéaire et s'écrit suivant l'équation : $y = 0,9 x - 13,6$ où y : indice d'agressivité R et x : pluie journalière (coefficient de corrélation $R^2 = 0,89$ pour 69 pluies mesurées).

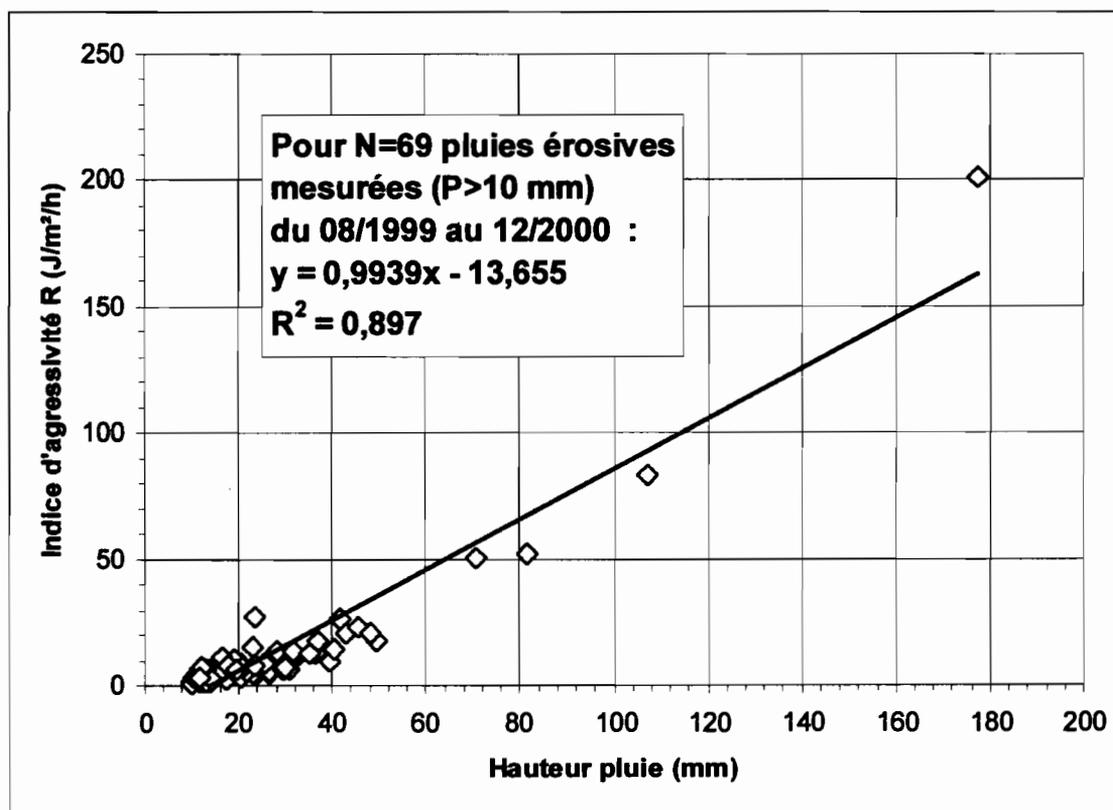


Figure 4.2 – Relation entre agressivité des pluies (indice R) et leur hauteur journalière (Hauteur pluie) à "Rivière Lézarde" durant les campagnes de mesures 1999 et 2000 (d'après les données de METEOFRACTE).

Cette relation est établie sur l'ensemble des pluies supérieures à 10 mm. Cette limite ($P > 10$ mm) a été choisie car c'est à partir des averses journalières de 10 mm que nous avons observé du ruissellement sur les parcelles d'érosion. Les pluies très faibles ($P < 10$ mm) ne sont pas suffisamment agressives ici, pour provoquer le ruissellement et peuvent donc être négligées. Dans d'autres pays et sous d'autres climats, cette limite des pluies agressives vaut souvent 10 à 12 mm et peut atteindre même 30 mm pour observer un début de ruissellement et d'érosion (WISCHMEIER et SMITH, 1958 ; ROOSE, 1977 ; RISHIRUMUHIRWA, 1997 ; DIALLO, 2000).

Sur les campagnes de mesures 1999 et 2000, l'indice d'agressivité des pluies R s'élève à $R_{1999} = 569 J/m^2/h$ et à $R_{2000} = 523 J/m^2/h$. Ces valeurs sont inférieures au R annuel moyen établi sur 23 années de mesures de pluviosité ($R = 915 J/m^2/h$) et semblent confirmer que nous avons eu une année sèche (1999) suivie d'une année peu agressive (2000).

**Tableau 4.3 – Ruissellement et érosion sur les 10 parcelles d'essai à Rivière Lézarde
(sol brun rouille à halloysite - Campagne 1999).**

Traitement	Parcelle	Pente %	Pluie annuelle (mm)	Pluie érosive		PI (mm)		LR (mm)	K _{max} %	K _{ram} %	Susp. (kg/ha/an)	E (t/ha/an)	(Susp/E) %	D. Org. (kg/ha/an)
				Nbre Pluies érosives	Hauteur (mm)	sec	hum							
Sol nu	Nu1	11	2110,4	18	852,6	38	18	132,8	48	6,3	383,9	86,8	0,4	22,3
Sol nu	Nu7	25	2110,4	15	737,9	38	18	107,8	37	5,1	497,3	152,8	0,3	29,3
Sol nu	Nu9	40	2110,4	15	722,4	38	18	87,2	32	4,1	543,6	165,1	0,3	39,3
Canne	Ca2	11	2110,4	5	383,9	60	32	22,4	12	1,1	113,4	0,1134	100	0,0
Canne	Ca8	25	2110,4	5	547	60	32	25,1	13	1,2	101,4	0,1014	100	0,5
Canne	Ca10	40	2110,4	2	287	60	32	31,3	16	1,5	216,1	0,2161	100,0	0,0
Banane	Ba3	11	2110,4	22	918,8	20	15	82,7	40	3,9	81,2	0,4	19,4	2,1
Banane	Ba4	9	2110,4	14	710,6	30	20	69,7	36	3,3	61,0	0,4	15,1	21,0
Ananas à plat+itière	An5	9	2110,4	3	322	70	32	22,6	12	1,1	81,8	0,0818	100	0,0
Ananas méca+billon.	An6	7	2110,4	30	1084,9	15	6	152,3	34	7,2	366,6	29,0	1,3	20,4

**Tableau 4.4 – Ruissellement et érosion sur les 10 parcelles d'essai à Rivière Lézarde
(sol brun rouille à halloysite - Campagne 2000).**

Traitement	Parcelle	Pente %	Pluie annuelle (mm)	Pluie érosive		PI (mm)		LR (mm)	K _{max} %	K _{ram} %	Susp. (kg/ha/an)	E (t/ha/an)	(Susp/E) %	D. Org. (kg/ha/an)
				Nbre Pluies érosives	Hauteur (mm)	sec	hum							
Sol nu	Nu1	11	2333,3	41	1220	19	13	184,1	42	7,9	491,8	84,8	0,6	0,0
Sol nu	Nu7	25	2333,3	32	1190	19	13	125,2	27	5,4	401,5	102,1	0,4	0,0
Sol nu	Nu9	40	2333,3	33	1194	19	13	105,7	24	4,5	466,8	129,7	0,4	0,0
Canne	Ca2	11	2333,3	2	154	61	61	0,1	0	0,0	0,4	0,0004	100	0,0
Canne	Ca8	25	2333,3	1	93	61	61	0,2	0	0,0	0,4	0,0004	100	0,0
Canne	Ca10	40	2333,3	0	0	93	93	0,0	0	0,0	0	0,000	x	0,0
Banane	Ba3	11	2333,3	31	1103	19	11	40,5	13	1,7	61,3	0,4	14,9	0,0
Banane	Ba4	9	2333,3	29	1060	19	13	35,9	12	1,5	62,0	0,6	9,7	9,5
Ananas à plat+itière	An5	9	2333,3	7	404	50	19	2,0	2	0,1	1,1	0,001	100	0,0
Ananas méca+billon.	An6	7	2333,3	65	1646	12	4,5	361,5	69	15,5	185,8	5,3	3,5	0,9

Remarques :

- *Pluie annuelle* (mm) : hauteur totale des pluies de l'année.
- *Pluie érosive* (mm) : pluie agressive provoquant du ruissellement et de l'érosion
 - *Nbre Pluies érosives* = nombre total de pluies érosives
 - *Hauteur* (mm) = hauteur totale des pluies agressives
- *PI* (mm) : pluie d'imbibition (hauteur minimale supposée de pluie provoquant le ruissellement) sur sol sec (**sec**) et sur sol humide (**hum**)
- *LR* (mm) : lame ruisselée (hauteur d'eau ruisselée qui est le rapport volume ruisselé / surface parcelle d'essai)
- *K_{max}* (%) : coefficient de ruissellement maximal pour une averse.
- *K_{ram}* (%) : coefficient de ruissellement annuel moyen (rapport des hauteurs d'eau totales L_{total} / Pluie totale)
- *Susp.* (kg/ha/an) : érosion en suspension.
- *Erosion E* (t/ha/an) : poids total de sédiments secs (terre de fond et suspension) évacués hors de la parcelle d'essai par le ruissellement
- *D. Org.* (kg/ha/an) : poids sec des débris organiques (taille > 0,2 mm) flottant en surface de l'eau ruisselée.

4.2 – Le ruissellement

Le ruissellement et l'érosion hydrique ont été mesurés en parcelles expérimentales (100 à 200 m²) durant près de deux années 1999 et 2000 (cf. annexe 4).

Les tableaux 4.3 et 4.4 présentent globalement les paramètres du ruissellement (Pi, LR, K_{rmax} et K_r) ainsi que ceux de l'érosion (Susp., E, rapport (Sups/E), D.Org.) observés sur les 10 parcelles durant les deux campagnes de mesures 1999 et 2000.

Globalement, les résultats de ces deux campagnes 1999 et 2000 semblent comparables – sauf pour la perte en terre en (An6) – malgré les différences de pluies enregistrées entre ces deux années.

4.21 – Les pluies d'imbibition (Pisec et Pihum)

De manière générale, les pluies d'imbibition Pisec et Pihum ont été toutes plus faibles en 2000 qu'en 1999. Mais leur hiérarchie observée sur les 10 parcelles durant la première campagne est respectée à la deuxième (tableaux 4.3 et 4.4).

La figure 4.3 présente par ordre croissant, les différentes Pisec et Pihum observées sur les 10 parcelles d'érosion durant la première campagne 1999 ; celle de 2000 n'ayant pas connu de pluies suffisamment violentes pour déterminer correctement l'imbibition sur les traitements paillés canne et ananas à plat (surtout pour Pihum).

L'ordre des pluies d'imbibition observées sur sol sec (Pisec) se reflète également en condition humide (Pihum).

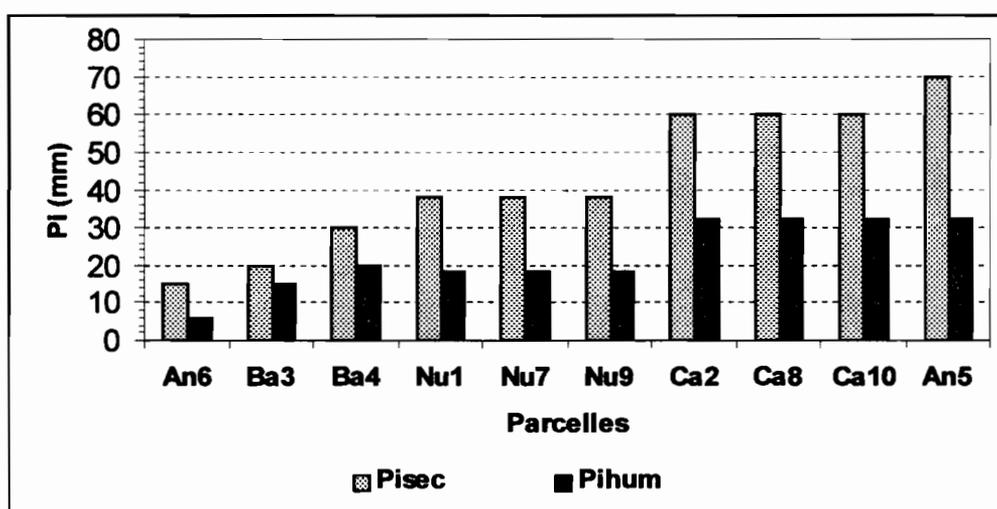


Figure 4.3 – Répartitions des pluies d'imbibition en condition de sol sec (Pisec) et de sol humide (Pihum) sur les 10 parcelles d'érosion (campagne 1999).

- La parcelle "ananas mécanisé et billonné" (An6) se distingue de tous les autres, avec des pluies d'imbibitions les plus basses tant en condition de sol sec que de sol humide (en 1999 et 2000 : Pisec=15 à 12 mm et Pihum=6 à 4 mm) (figure 4.3).

- Les deux bananeraies établies (Ba3 et Ba4) ont des pluies d'imbibition proches tant sur sol sec qu'en condition humide (Pisec=19 à 30 mm et Pihum=11 à 20 mm). Ces deux répétitions confirment bien la pluie d'imbibition observée.

- Le traitement "sol nu" présente des pluies d'imbibition comparables sur les trois parcelles (Nu1, Nu7 et Nu9), malgré leurs pentes. D'une année à l'autre, les pluies

d'imbibition sont en général plus élevés sur ce traitement que les deux précédents, tant sur sol sec (Pisec=38 à 19 mm) que sur sol humide (Pihum=18 à 13 mm).

- Les traitements paillés de canne (Ca2 à Ca10) et d'ananas (An5), quant à eux, ont les pluies d'imbibition les plus élevées sur sol sec et sur sol humide. Par exemple, Pisec est souvent supérieure à 50 mm (pluie journalière modérée) et peut atteindre près de 90 mm (forte averse) : Pisec=52 à 93 mm pour la canne et Pisec=70 à 50 mm pour l'ananas à plat. Comme pour les "sols nus", il n'y a pas d'effet de la pente sur les pluies d'imbibition des trois parcelles de canne (Ca2, Ca8 et Ca10).

4.22 – Le ruissellement (LR, Kram et Kramax)

Comme pour les pluies d'imbibitions, il y a une hiérarchisation des comportements des traitements face au ruissellement allant de la parcelle très ruisselante ("ananas mécanisé et billonné") à celles peu ruisselantes ("cannes paillées" et "ananas à plat avec paillis").

Les figures 4.4 et 4.5 montrent les variations du ruissellement (LR, Kram et Kramax) observées sur les 10 parcelles.

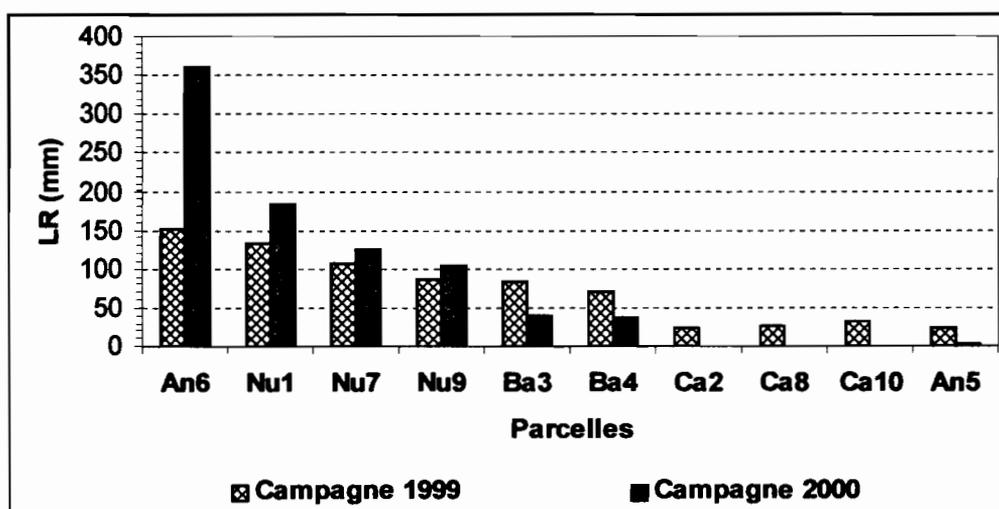


Figure 4.4 – Lames ruisselées (LR) observées sur les 10 parcelles d'érosion durant les deux campagnes de mesures 1999 et 2000.

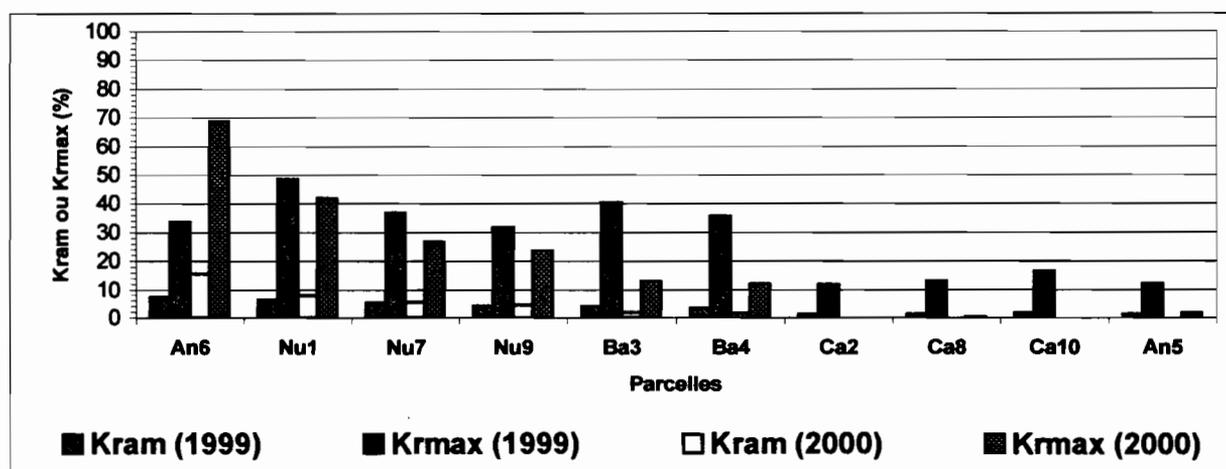


Figure 4.5 – Coefficients de ruissellement annuel (Kram) et maximal (Kramax) des 10 parcelles durant les campagnes 1999 et 2000.

- La parcelle (An6) est celle qui ruisselle le plus (LR=152 à 361 mm). Elle est aussi celle qui a les coefficients de ruissellement annuel (Kram) et maximal (Krmax) les plus élevés (Kram=7 à 15% et Krmax=34 à 69%) (figures 4.4 et 4.5)

- Les "sol nus" (Nu1, Nu7 et Nu9) ruissellent beaucoup aussi. A l'inverse des pluies d'imbibition, il y a un effet de la variation de pente sur le ruissellement : celui-ci diminue plus la pente devient forte (par exemple en 2000, LR=184 mm sur la pente p=11% (Nu1) et LR=108 mm sur la pente p=40% (Nu9)). Le coefficient de ruissellement annuel (Kram) varie alors de 4 à 8% sur les deux campagnes de mesures ; le coefficient de ruissellement maximal (Krmax), quant à lui, va de 24 à 48% (figure 4.4 et 4.5).

- Les parcelles en banane (Ba3 et Ba4) ont un comportement comparable face au ruissellement durant les campagnes de mesures en 1999 (LR=70 à 83 mm) et en 2000 (LR=36 à 40 mm). Leur ressemblance s'observe aussi à travers leurs coefficients de ruissellements (Kram) et (Krmax) d'une année d'observation à l'autre (par exemple : Kram=3 à 4% en 1999 et Kram=1,5 à 2% en 2000).

- Les traitements paillés de canne (Ca2, Ca8 et Ca10) et d'ananas à plat (An5) n'ont pratiquement ruisseler qu'en 1999, lors des trois tempêtes tropicales survenues le 21 octobre et les 17 et 29 novembre 1999. Les parcelles ont donc un faible ruissellement en 1999 (LR=22 à 31 mm) et ne ruissellent quasiment plus en l'absence de fortes pluies en 2000 (LR < 2 mm). Les coefficients de ruissellement sont par conséquent très faibles (Kram < 1,5% et Krmax < 16%).

D'après ces résultats, il en ressort que les parcelles qui ont une pluie d'imbibition faible tant sur sol sec qu'en condition humide (c'est-à-dire qu'elles ruissellent tôt durant un événement pluvieux) sont aussi celles qui ruissellent abondamment. C'est le cas de "l'ananas mécanisé et billonné" (An6) qui ruisselle bien plus que les "sols nus" (Nu1, Nu7 et Nu9) et les "bananeraies établies" (Ba3 et Ba4). Par contre, les parcelles qui possèdent une pluie d'imbibition élevée (démarrage tardif du ruissellement) ruissellent très peu. C'est le cas des traitements paillés de canne (Ca2, Ca8 et Ca10) et d'ananas à plat (An5) qui ne coulent que sous de fortes pluies ou tempêtes tropicales.

Cette relation entre Pluie d'imbibition et ruissellement peut se modéliser à partir des paramètres (Pisec) et (LR) suivant une équation exponentielle : $LR = 1314 \cdot \exp^{-0,1 \cdot Pisec}$ avec un coefficient de corrélation significatif $R^2 = 0,60$ (figure 4.6).

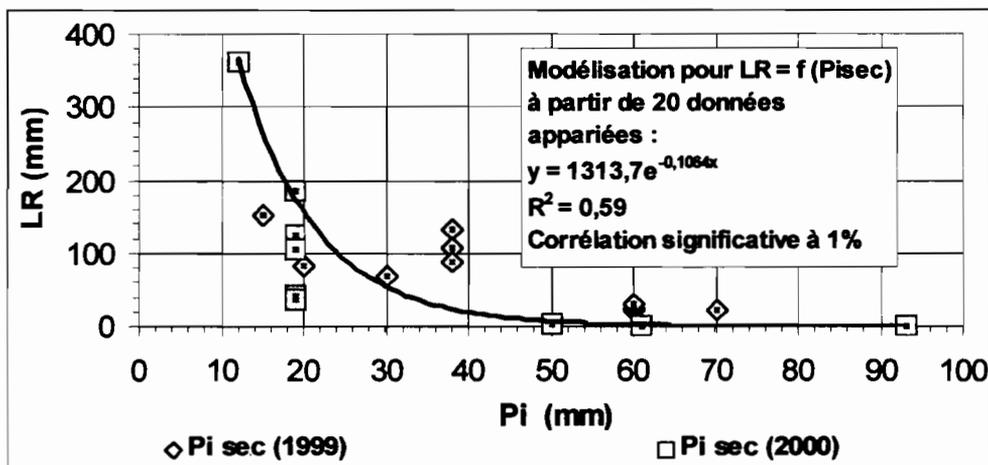


Figure 4.6 – Relation entre pluie d'imbibition (Pisec) et ruissellement (LR) sur les 10 parcelles d'érosion durant les 2 campagnes 1999 et 2000.

En outre, les parcelles qui ruissellent le plus fréquemment durant les deux campagnes 1999 et 2000 sont aussi celles coulent le plus en période de fortes pluies : la relation étroite entre les deux coefficients de ruissellement (K_{ram}) et (K_{rmax}) permettent justement d'illustrer cette propriété (régression linéaire : $K_{ram}=0,18x(K_{rmax})-0,75$ avec $R^2=0,84$) (figure 4.7).

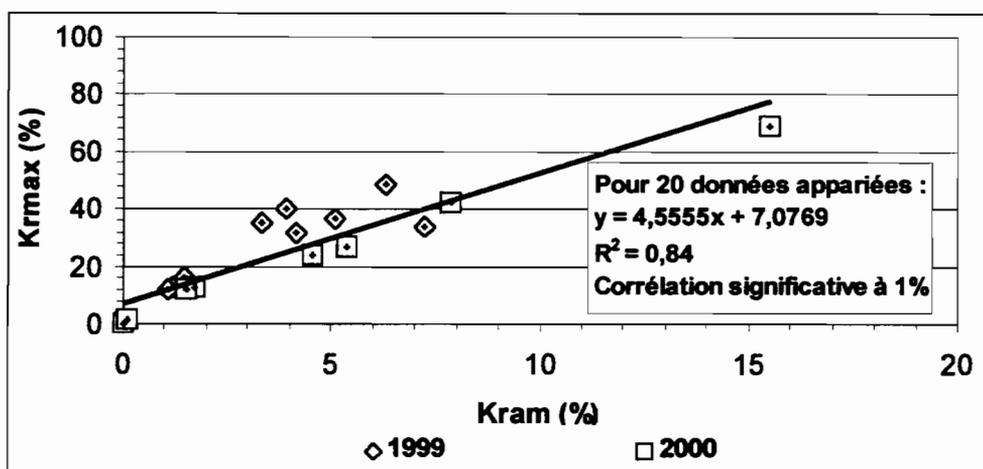


Figure 4.7 – Relation entre les coefficients de ruissellement maximal (K_{rmax}) et moyen annuel (K_{ram}) sur les 10 parcelles d'essai.

4.3 – L'érosion hydrique

L'érosion hydrique se manifeste par les pertes en sédiments fines (Suspensions) et grossiers (terre de fond composée d'agrégats et parfois de petits cailloux) et par les débris organiques ou flottants.

4.31 – Les pertes en suspension (Susp.)

Les pertes en suspension observées durant les campagnes 1999 et 2000 sont inférieures à 1 t/ha/an.

- Les plus fortes pertes en suspension (Susp.) se manifestent sur les traitements ruisselant beaucoup tels que les "sols nus" (Nu1, Nu7 et Nu9) et "l'ananas mécanisé et billonné" (An6) où elles peuvent atteindre 367 à 544 kg/ha/an. Durant l'année 2000, la parcelle (An6) présente une diminution des pertes en suspension allant de 366 à 186 kg/ha/an et qui pourrait être liée à un effet couvrant du couvert végétal des ananas bien plus développés en deuxième cycle de culture.

- Les faibles pertes en suspension (Susp.) s'observent souvent sur les traitements paillés de canne (Ca2, Ca8 et Ca10) et d'ananas à plat (An5) et plus particulièrement durant l'année 2000 où en l'absence de fortes pluies, elles restent inférieures à 1 kg/ha/an.

- Les deux bananeraies établies (Ba3 et Ba4) montrent des pertes en suspensions semblables d'une année à l'autre et leurs pertes en fines s'élèvent de 61 à 81 kg/ha/an (bonne répétition des deux parcelles en banane et bonne répétition des deux campagnes de mesures).

Cette variation des pertes en suspension semble donc suivre celle du ruissellement.

4.32 – L'érosion totale E et le rapport (Susp./E)

a) – Les deux années d'observation 1999 et 2000

D'après les tableaux 4.3 et 4.4 et la figure 4.8, il y a une variation du comportement des traitements face à l'érosion hydrique.

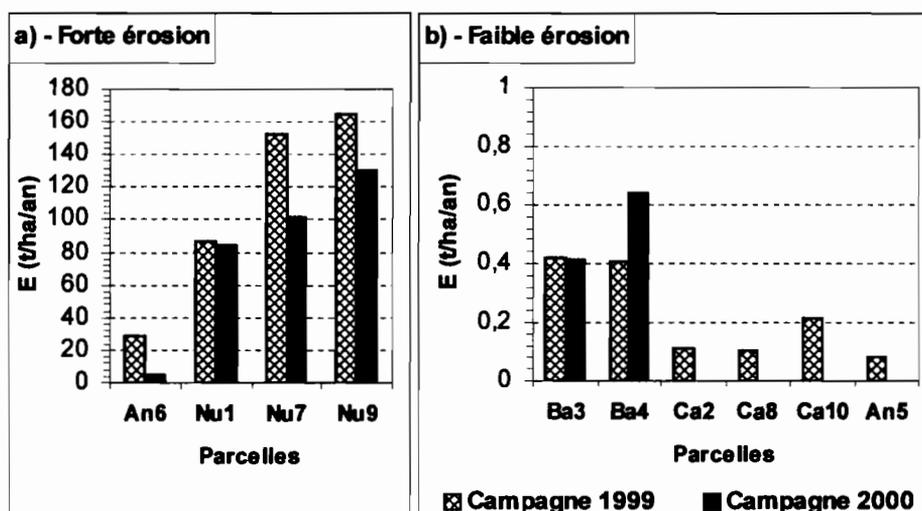


Figure 4.8 – Erosion mesurée sur les 10 parcelles expérimentales durant les observations 1999 et 2000 : a) - forte perte en terre sur les traitements "ananas mécanisé et billonné" (An6) et "sol nu" (Nu1, Nu7 et Nu9) ; b) - faible érosion sur les traitements paillés de banane (Ba3 et Ba4), de canne (Ca2, Ca8 et Ca10) et d'ananas à plat (An5).

- Sur les "sols nus" (Nu1, Nu7 et Nu9), l'érosion totale (E) varie de 85 à 165 t/ha/an : malgré les variations de pluies entre 1999 et 2000, elle augmente considérablement avec l'inclinaison de pente (figure 4.8a).

- Sur "l'ananas mécanisé et billonné" (An6), l'érosion (E) est importante (E=29 t/ha/an en 1999 et E=5 t/ha/an en 2000). La baisse de la perte en terre (E) entre les deux observations pourrait s'expliquer par les variations de pluies et par la basse canopée des ananas bien plus développée en 2000.

- Sur les "bananeraies établies" (Ba3 et Ba4), la perte en terre est faible et elle est comparable sur les deux répétitions et sur les deux années (E=0,4 à 0,6 t/ha/an (figure 4.8b)).

- Sur les traitements paillés de canne (Ca2, Ca8 et Ca10) et d'ananas (An5), l'érosion est très négligeable (E < 0,2 t/ha/an). D'ailleurs, le peu de perte en terre observée sur ces parcelles a été mesuré que lors des passages de tempêtes tropicales en 1999 ; la deuxième campagne de mesures qui n'a pas connu de fortes pluies a permis de démontrer la quasi-absence d'érosion sur ces traitements.

Sur les traitements à forte érosion (Nu1, Nu7, Nu9 et An6), le rapport (Susp./E) démontre que la perte en terre totale (E) est constituée principalement d'éléments grossiers (les pertes en suspensions représentent de 0,3 à 4% de l'érosion totale (tableaux 4.3 et 4.4).

En revanche, sur les traitements à très faible érosion (Ca2, Ca8, Ca10 et An5), l'érosion totale (E) est due essentiellement aux pertes par suspensions : (Susp./E)=100% (tableaux 4.3 et 4.4).

Les parcelles en banane (Ba3 et Ba4), quant à elles, perdent de la terre souvent sous forme de suspensions, mais en cas de fortes pluies, elles érodent aussi des sédiments grossiers : c'est pourquoi leur rapport (Susp./E) varie de 10 à 20% (tableaux 4.3 et 4.4).

En outre, nous avons cherché à exprimer les pertes en terre (E) en fonction de celles en suspension (Susp.) sur les deux années 1999 et 2000. Les résultats de 1999 et 2000 indiquent que les pertes en terre (E) et en suspension (Susp.) n'augmentent pas proportionnellement. Les fortes érosions sont essentiellement dues aux pertes en sédiments grossiers ; les pertes en suspension, quant à elles, sont importantes et deviennent évidentes seulement dans les situations à faible érosion.

Ces deux pertes (Susp.) et (E) présenteraient une relation étroite et complexe qui suivrait un modèle polynomial selon l'équation : $E=0,0008x(\text{Susp})^2 - 0,12x(\text{Susp})+2,1$ (figure 4.9).

D'après cette relation, les pertes en suspension (Susp.) semblent atteindre un seuil quand l'érosion totale (E) devient de plus en plus importante (modèle parabolique).

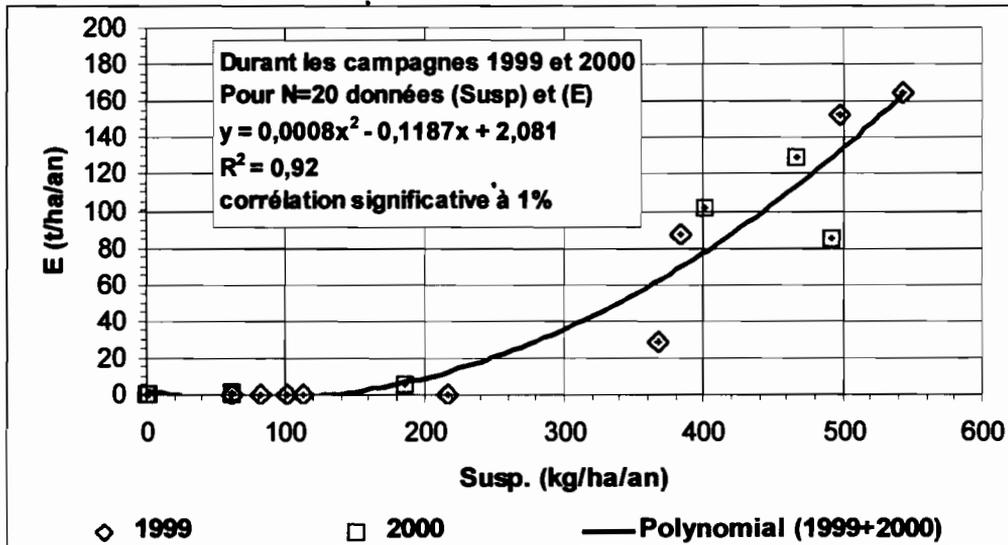


Figure 4.9 – Relation entre les pertes en suspension (Susp.) et l'érosion totale (E) sur les 10 parcelles en 1999 et 2000.

b) – Caractérisation de l'érosion hydrique

Les parcelles en "sol nu" (Nu1, Nu7 et Nu9) et en "ananas mécanisé et billonné" (An6) sont celles qui ont le plus ruiselé et perdu de terre. Devant l'importance de leurs pertes en terre, il était nécessaire de définir les caractéristiques de l'érosion hydrique sévissant sur le sol brun rouille à halloysite. Après plusieurs épisodes érosifs durant la saison humide 1999 (04/10-, 21/10- et 01/11/99), les pertes en terre recueillies en (Nu1, Nu7, Nu9 et An6) ont été tamisées à l'eau en moins d'une heure sur un jeu de tamis de diamètre \varnothing : 2 – 0,500 – 0,200 – 0,05 mm. Puis le poids sec des différentes classes d'agrégats a été déterminé après un séjour à l'étuve à 105°C pendant 48 heures. Ces classes d'agrégats sont exprimées en fraction pondérale par le rapport de leur poids sec respectif sur le poids sec total de l'échantillon.

En considérant le diamètre ($\varnothing=0,200$ mm) comme limite arbitraire pour séparer les fractions d'agrégats, il apparaît deux grandes classes distinctes : celle constituée d'éléments grossiers appelés aussi macro-agrégats ($\varnothing>0,200$ mm) et celle à particules fines ou ($\varnothing<0,200$ mm). Notons que cette limite ($\varnothing=0,200$ mm) est souvent utilisée pour distinguer les agrégats en France, notamment dans le test de stabilité structurale (HENIN et al., 1958).

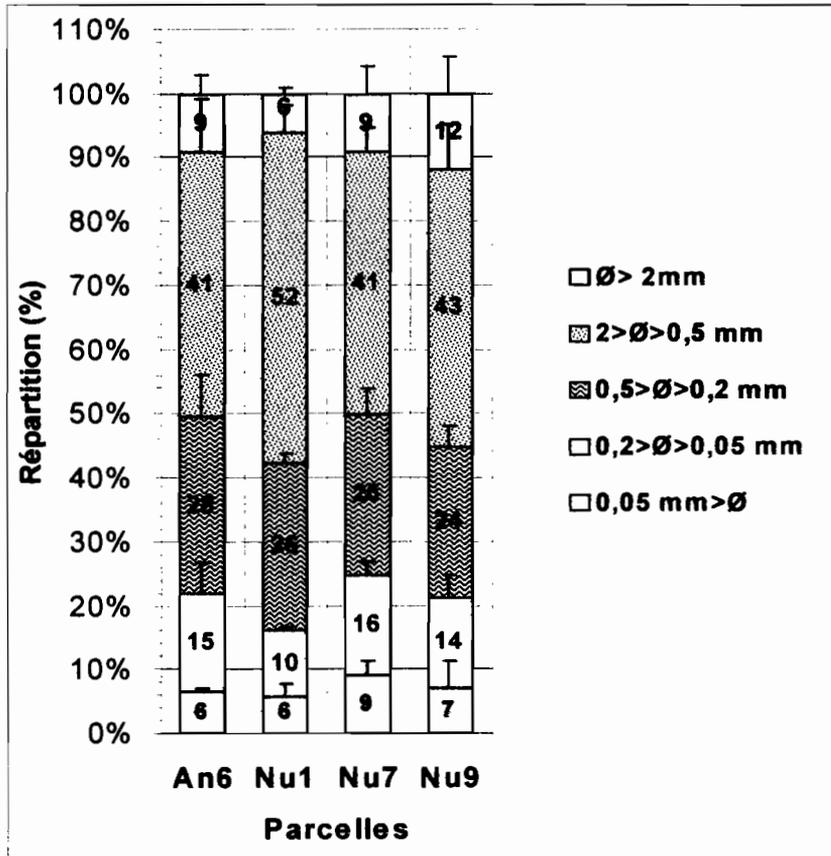


Figure 4.10 – Répartition moyenne des classes d'agrégats érodés sur les traitements "ananas mécanisé et billonné" (An6) et "sol nu" (Nu1, Nu7 et Nu9).

La figure 4.10 montre la répartition moyenne des classes d'agrégats érodés après le tamisage à l'eau. Dans l'ensemble, la répartition des agrégats érodés issus de ces parcelles est comparable.

Les sédiments érodés sont constitués majoritairement par des classes d'agrégats grossiers (de la taille des graviers au sable grossier), soit près de 75 à 84% d'agrégats ($\text{Ø} > 0,200 \text{ mm}$) respectivement sur (Nu7) et (Nu1). La proportion d'éléments fins (de la taille des sables fins aux argiles) est par conséquent faible et représente par exemple 16 à 25% d'agrégats ($\text{Ø} < 0,200 \text{ mm}$) sur (Nu1) et (Nu7).

Parmi les agrégats grossiers, la classe de taille ($\text{Ø} > 2 \text{ mm}$) est composée d'agrégats, de graviers, voire de cailloux et bien qu'ils soient minoritaires (6 à 10% du sédiment), ces éléments grossiers vont permettre de démontrer l'importance de la force du ruissellement et le type d'érosion hydrique constaté sur le sol brun d'origine volcanique.

4.4 – Quelques relations entre le ruissellement et l'érosion

Nous avons cherché à établir des relations entre le ruissellement et la perte en terre.

Globalement, nous n'avons pas constaté de lien entre ruissellement et érosion. Mais en séparant le traitement "sol nu" de ceux cultivés avec paillage, il apparaît quelques propriétés entre lame ruisselée (LR) et perte en terre (E).

- Sur les traitements paillés de canne (Ca2, Ca8 et Ca10), de banane (Ba3 et Ba4) et d'ananas (An5), il semble que l'érosion (E) augmente avec la lame ruisselée (LR), même si les valeurs sont faibles. Cette relation reste quelque peu délicate à considérer car ces traitements paillés dénotent plutôt des comportements extrêmes. Il y a d'un côté des cultures de cannes et d'ananas paillés à faible ruissellement et à perte en terre négligeable et de l'autre des "bananeraies établies" ruisselant mais s'érodant faiblement (figure 4.11). Il n'est pas possible en outre d'établir une régression sur si peu de données, car nous disposons que des résultats observés sur deux campagnes 1999 et 2000 (seulement 9 points de (LR) et (E) appariés). Notons que sur les cannes (Ca2, Ca8 et Ca10), les résultats de (LR) et (E) sont comparables quelle que soit la pente où se trouvent les parcelles d'érosion.

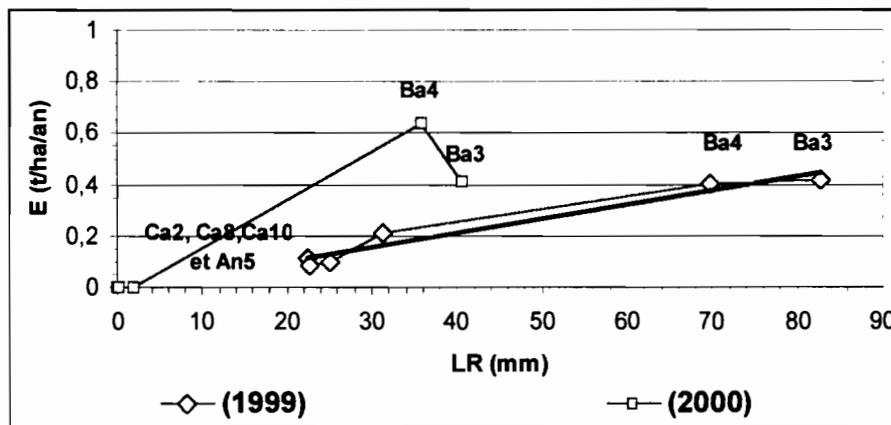


Figure 4.11 – Relation entre ruissellement (LR) et érosion (E) sous traitements paillés de canne (Ca2, Ca8 et Ca10), de banane (Ba3 et Ba4) et d'ananas à plat (An5) durant les observations 1999 et 2000.

- Sur le traitement "sol nu" (Nu1, Nu7 et Nu9) et en considérant chaque épisode érosif, nous constatons que l'érosion (E) augmente avec le ruissellement (LR) suivant une régression linéaire qui est propre à chaque parcelle. Nous présentons un exemple de cette relation entre (LR) et (E) observée sur la parcelle (Nu1) (figure 4.12). La figure 4.12 montre que les deux campagnes 1999 et 2000 ont connu beaucoup de petites pluies (points resserrés autour de l'origine) et qu'il y a une variation du comportement du sol aux pluies érosives, provoquée peut-être par l'état de surface et l'humidité préalable du sol (dispersion des points). Sur cette parcelle (Nu1) située sur une pente assez forte ($p=11\%$), nous avons tracé une régression linéaire entre (LR) et (E) qui est de type : $E=0,6x(LR)$ avec un coefficient de corrélation significatif $R^2=0,94$ pour 59 points. Mais, cette courbe reste incomplète car durant les deux observations 1999 et 2000, nous n'avons pas connu de pluies modérément fortes (P entre 100

à 200 mm) nous permettant d'affiner la relation (figure 4.12). D'ailleurs, sur les deux autres parcelles (Nu7 et Nu9), cette relation entre (LR) et (E) reste aussi incomplète.

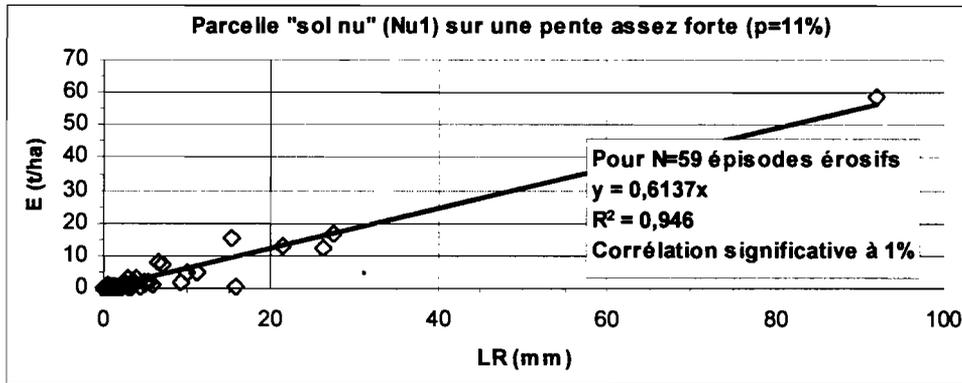


Figure 4.12 – Relation entre ruissellement (LR) et érosion (E) sur la parcelle sol nu (Nu1) située sur une pente assez forte p=11% (campagnes 1999 et 2000 : 59 résultats de (LR) et (E)).

Par ailleurs, nous avons cherché à définir l'influence de la variation de pente sur le ruissellement et l'érosion hydrique sur les observations 1999 et 2000. L'influence de la pente sur ces deux paramètres (LR) et (E) n'est pas apparente globalement. Par contre, en considérant que les trois "sols nus", l'effet de la pente sur le ruissellement et l'érosion devient distinct. En effet, le ruissellement (LR) diminue avec l'augmentation de la pente tandis que l'érosion augmente (figure 4.13). Bien que nous constatons l'influence de la pente sur (LR) et (E), nous n'avons pas pu établir de relation étroite en raison d'un nombre insuffisant de résultats (seulement 3 pentes différentes et 6 valeurs de (LR) et de (E) en deux campagnes de mesures). Il serait intéressant de poursuivre les observations pour arriver à établir une relation nette de la pente sur le ruissellement et l'érosion.

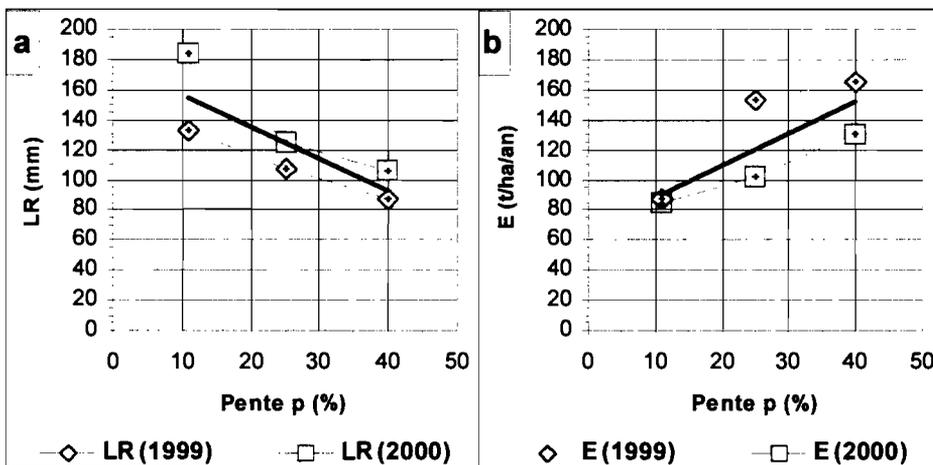


Figure 4.13 – Influence de la pente (p) sur : a) le ruissellement (LR) et b) l'érosion (E) des 3 "sols nus" (Nu1, Nu7 et Nu9) en 1999 et 2000.

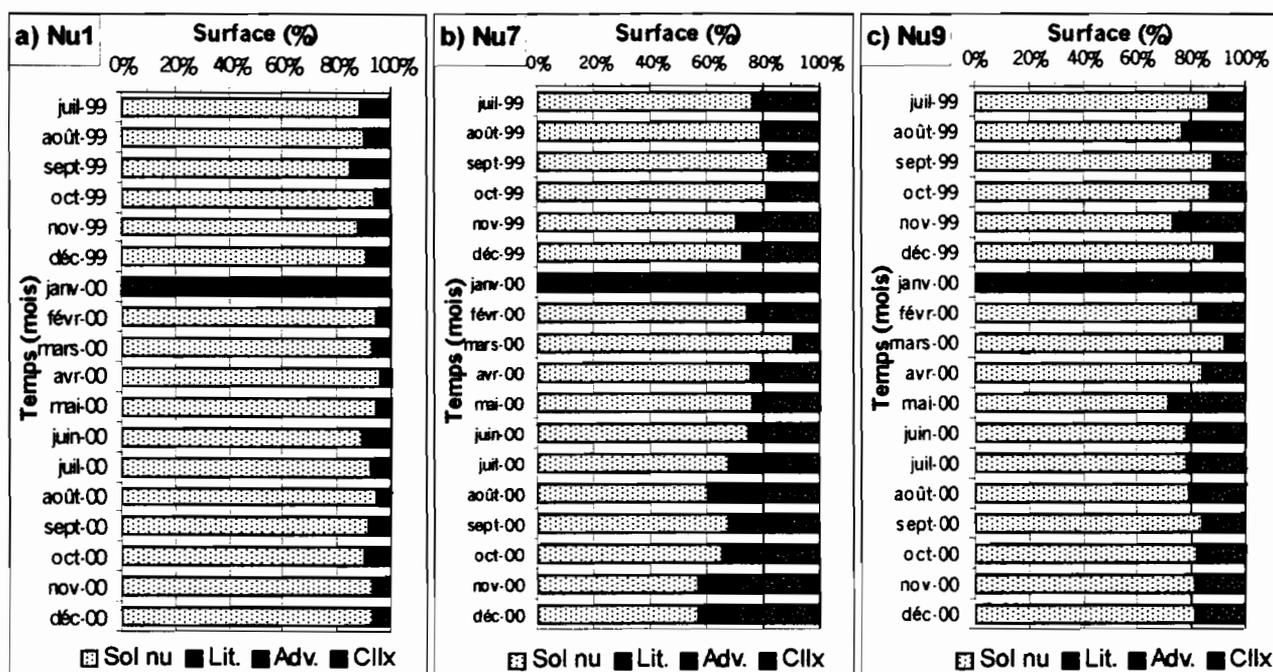
4.5 – Les états de surface des parcelles d'érosion

Les 10 parcelles présentent des surfaces évoluant au rythme du développement des cultures installées ou du comportement du sol dénudé soumis à la pluie et à l'érosion. Cette évolution de la surface parcellaire peut influencer sur le ruissellement et la perte en terre..

C'est pourquoi les parcelles sont suivies mensuellement sur les deux campagnes 1999 et 2000 (cf. annexe 5). Nous discuterons d'ailleurs de cette influence à travers les résultats du ruissellement et de l'érosion. Les figures suivantes permettent de décrire l'évolution de leur surface.

a) – Le traitement "sol nu" (Nu1, Nu7 et Nu9)

L'évolution des trois parcelles "sol nu" est schématisée d'après la figure 4.51.



**Figure 4.51 – Evolution de l'état de surface des 3 parcelles "sol nu" en 1999 et 2000 : a) - Nu1 (pente $p=11\%$) ; b) - Nu7 ($p=25\%$) ; c) - Nu9 ($p=40\%$)
surface couverte (S.C.) = litière (Lit.)+adventices (Adv.)+cailloux (Cllx)
(Rem – en hachure : travail du sol sur 0-20 cm en 01/2000)**

Ces trois parcelles "sol nu" ont été travaillées manuellement sur 0-20 cm de sol en janvier 2000 car il faut conditionner chaque année ce traitement afin de répéter la campagne de mesures. En effet, les deux années 1999 et 2000 sont deux observations répétitives permettant d'estimer la variabilité de l'évolution de l'état de surface.

Sur ces trois parcelles, le sol dénudé constitue la majorité de la surface parcellaire et occupe plus de 80% de la parcelle en début de la campagne 1999, puis fluctue au long des deux années (figure 4.61). Sauf en (Nu1), les surfaces en sol nu de (Nu7) et (Nu9) diminuent jusqu'à 60% (Nu7) et s'accompagnent d'une apparition conséquente de cailloux de 18 à 29% sur (Nu7) et de 7 à 15% sur (Nu9). L'érosion du sol sur fortes pentes ($p=25\%-40\%$) fait donc apparaître des cailloux en surface. ROOSE (1973) et POESEN (1988) ont d'ailleurs interprété cette manifestation de l'érosion hydrique comme la "fonte" des terres fines due à la pluie et au ruissellement.

En outre, le suivi de l'état de surface a permis de constater l'apparition des chemins d'eau sur les surfaces dénudées. En effet, les trois parcelles présentent des rigoles occupant jusqu'à 30 et 40% de la superficie parcellaire à la fin des deux campagnes et quelle que soit l'inclinaison de leur pente (figure 4.52).

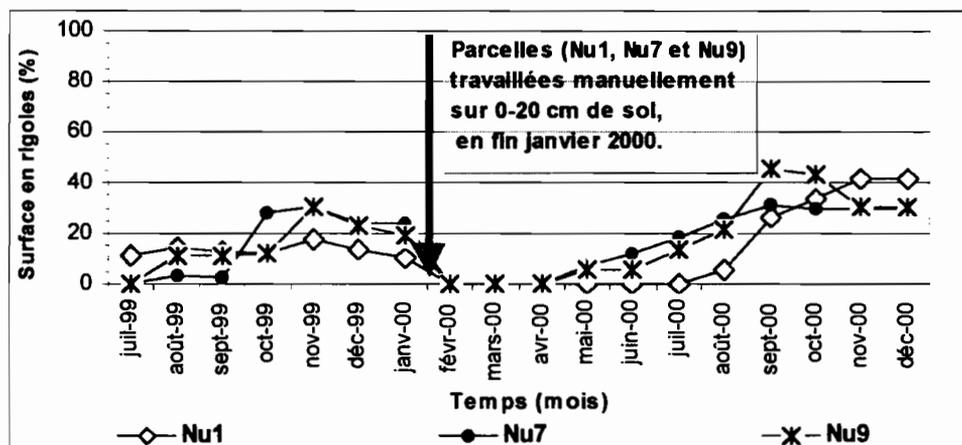


Figure 4.52 – Développement des chemins d'eau ou rigoles sur les 3 "sols nus" (Nu1, Nu7 et Nu9) sur les 2 campagnes 1999 et 2000.

Nous avons estimé également l'évolution du tassement du sol au cours du temps et de l'érosion. Généralement, les "sols nus" (Nu1, Nu7 et Nu9) semblent se tasser de plus en plus après chaque épisode érosif : les zones tassées augmentent et occupent jusqu'à 60% et à 50% de la parcelle respectivement à la fin des campagnes 1999 et 2000. Ce tassement semblerait être provoqué par les pluies et les piétinements dans les parcelles lors de leur entretien (désherbage chimique des adventices) (figure 4.53).

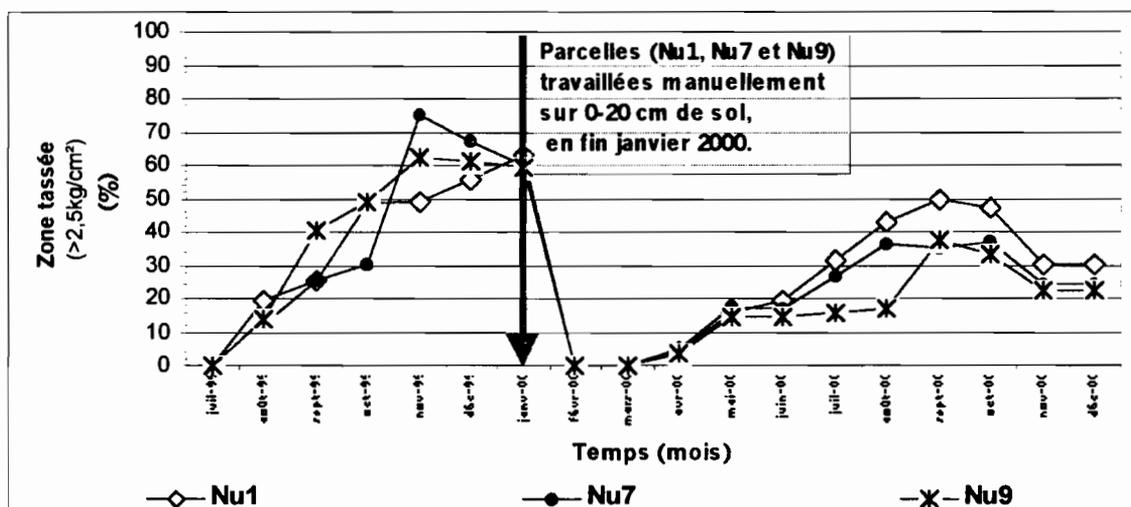
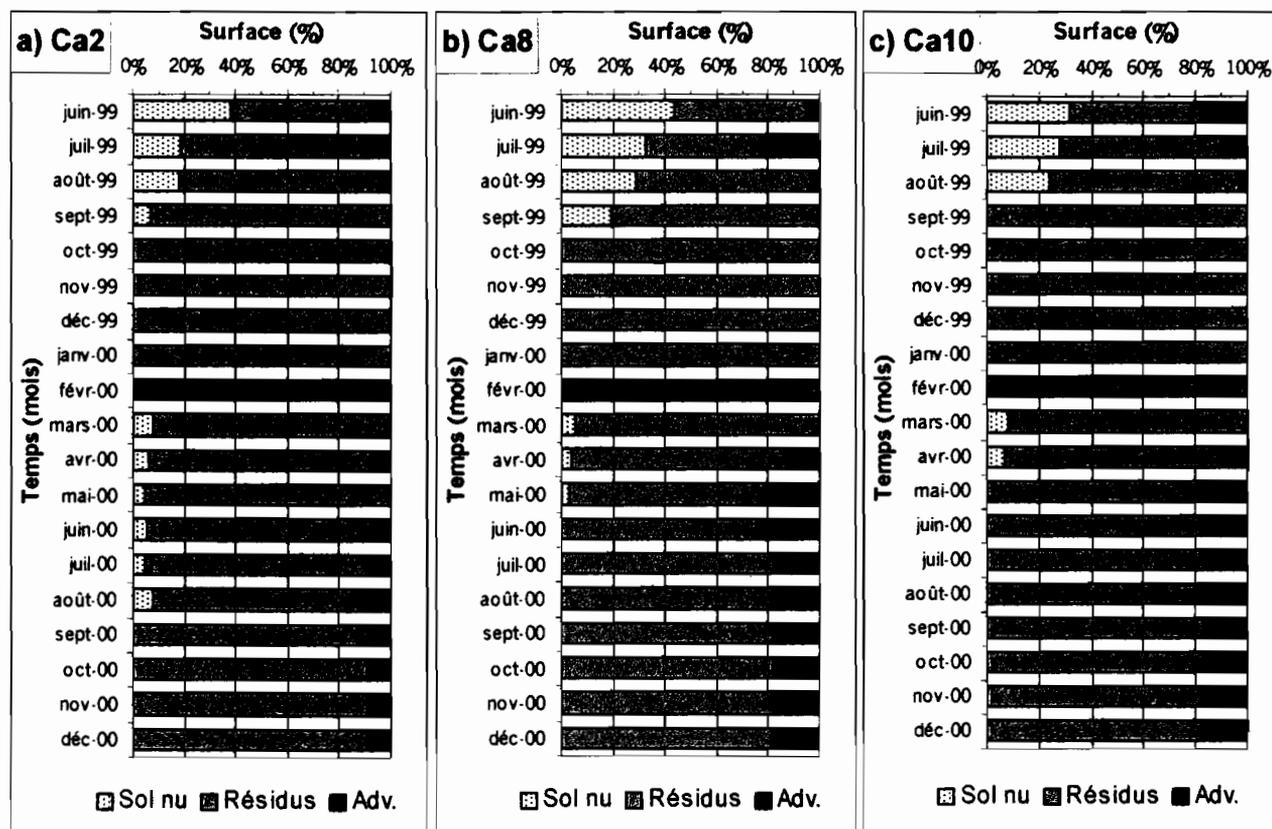


Figure 4.53 – Evolution des zones tassées sur les 3 "sols nus" (Nu1, Nu7 et Nu9) en 1999 et 2000 (limite tassée/meuble : 2,5kg/cm² au pénétromètre).

b) – Le traitement de canne avec paillis (Ca2, Ca8 et Ca10)

L'état de surface des parcelles de canne (Ca2, Ca8 et Ca10) est décrit dans la figure 4.54.



**Figure 4.54 – Etat de surface des 3 parcelles de canne de juin 1999 à décembre 2000 : a) – Ca2 (pente $p=10\%$) ; b) – Ca8 ($p=25\%$) ; c) – Ca10 ($p=40\%$)
surface couverte (S.C.) = résidus (résidus) + adventices (Adv.) + cailloux (Clx)
*(Rem – en hachure : coupe des cannes en 02/2000).***

Les cannes ont été coupées en février 2000 afin de conditionner à nouveau le traitement et de répéter les observations durant l'année 2000. Les deux années 1999 et 2000 permettent d'estimer la variabilité des résultats obtenus.

Paillées initialement de résidus de la culture antérieure (résidus de bananiers en 1999, puis résidus de cannes en 2000), les trois parcelles ont gardé au long des deux campagnes une couverture de plus en plus importante au sol : en effet, les surfaces ouvertes (sol nu) ont diminué rapidement de 40% à 0% en quelques mois pendant le premier cycle cultural (de juillet à septembre 1999), puis disparaissent presque en deuxième cycle (de février à août 2000) (figure 4.54). Ce recouvrement croissant des parcelles est dû aux résidus de cannes et en partie à leurs tiges couchées par le vent après la levée des thalles. D'ailleurs, il faut souligner la difficulté pour entrer dans les parcelles et faire l'estimation mensuelle de l'état de surface tant les cannes étaient denses et tant leur recouvrement au sol faisait obstacle au suivi des diagonales (fils de nylons) tracées initialement dans les essais.

Pour cette raison, il fut trop difficile d'estimer le tassement du sol dans ces essais car la couverture de résidus était très dense.

c) – Le traitement "bananeraie établie" (Ba3 et Ba4)

L'état de surface des deux "bananeraies établies" (Ba3 et Ba4) est détaillé sur la figure 4.55.

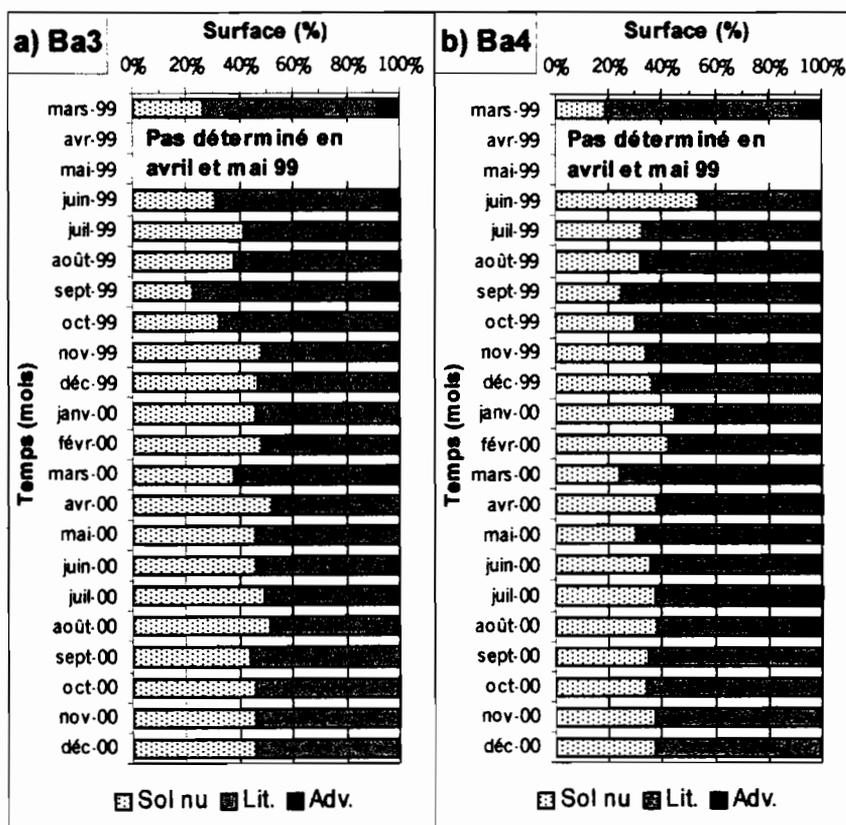


Figure 4.55 – État de surface des "bananeraies établies" Ba3 (a) et Ba4 (b) situées sur des pentes moyennes (p=9 à 11%) durant les campagnes 1999 et 2000 surface couverte = litière bananière (Lit.) + adventices (Adv.).

Contrairement aux précédents traitements, les "bananeraies établies" n'ont pas eu besoin de travail particulier en 2000 pour remettre les parcelles aux conditions initiales de 1999. Durant les deux années, il y a une restitution régulière des résidus foliaires et donc un paillage permanent au sol : les parcelles sont constamment couvertes avec près de 40% à 80% de leur surface occupée par les résidus ; les zones dénudées, quant à elles, représentent près d'un tiers de la superficie parcellaire (sol nu=30 à 40% de la parcelle (figure 4.55)). Cette couverture constante est due aux coupes fréquentes des bananiers et à la dispersion de ses feuilles au sol après la récolte de leurs régimes.

Nous avons estimé également le tassement du sol au pénétromètre manuel durant les deux années 1999 et 2000. Les zones tassées et les zones meubles étaient définies suivant que la cohésion du sol était supérieure (zone tassée) ou inférieure (zone meuble) à la limite arbitraire de 2,5 kg/cm².

Sur les deux parcelles, il semble que le tassement du sol ne varie pas beaucoup : les zones tassées occupent près de 40 à 50% de la parcelle et peuvent augmenter jusqu'à plus de 70% en période sèche (figure 4.66). Mais cette estimation du tassement du sol laisse à désirer car, parallèlement aux mesures de tassement, nous avons négligé l'humidité du sol influençant sa cohésion (augmentation de zones tassées en période sèche (de 12/1999 à 05/2000)).

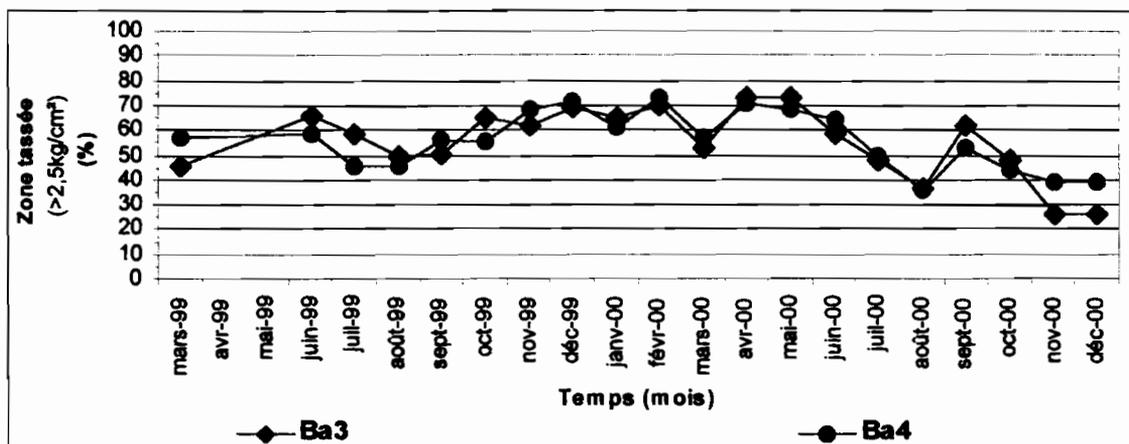


Figure 4.56 – Evolution de la cohésion du sol (au pénétromètre) sur les 2 "bananeraies établies" (Ba3 et Ba4) durant 1999 et 2000.
(limite entre zone tassée et zone meuble : 2,5 kg/cm²)

La figure 4.56 ne donne alors qu'une tendance de la cohésion du sol qui, bien que variant avec l'humidité, semble occuper près de la moitié de la surface parcellaire. Celle-ci ne semble pas expliquer dans ce cas le ruissellement et l'érosion observés

d) – Les traitements en ananas (An5 et An6)

L'état de surface des deux traitements en ananas (An5 et An6) est décrit dans la figure 4.57.

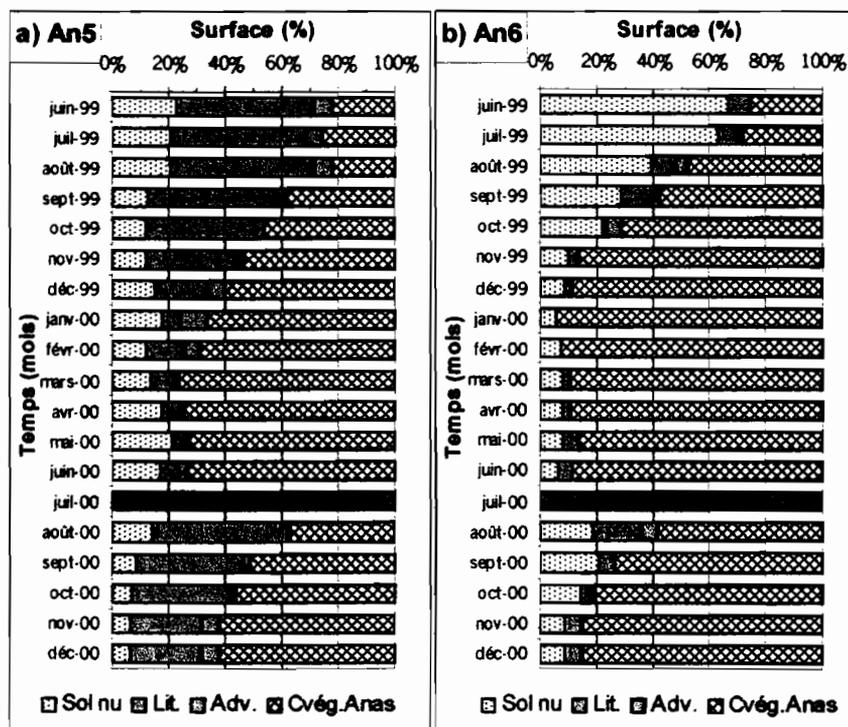


Figure 4.57 – Etat de surface des 2 parcelles "ananas à plat avec pailis" (An5) et "ananas mécanisé et billonné" (An6) durant 1999 et 2000.
surface couverte = litière (Lit.) + adventices (Adv.) + canopée d'ananas (Cvég.Anas)

Sur la parcelle (An5), le taux de couverture de la parcelle est assurée essentiellement par la litière, et le couvert végétal des ananas. Globalement, le taux de couverture sur cette parcelle est resté constant de 80 à 90% durant les deux observations (figure 4.57).

Par contre sur la "parcelle ananas mécanisé et billonné" (An6), le taux de surface couverte augmente en raison de la croissance du couvert végétal des plants (S.C.=30% à 90% de juin à novembre 1999).

Il faut noter qu'en (An5), une grande partie des plants d'ananas est devenue malade après avoir été touchée par un herbicide lors du désherbage chimique de l'essai en juillet 1999. Cette incidence a eu une répercussion sur la croissance des ananas et sur les fruits produits (couvert végétale moins étendu).

A la deuxième année d'observation 2000, les ananas taillés des deux parcelles (An5) et (An6) ont recouvert le sol encore plus rapidement qu'en premier cycle (en août 2000, couvert végétal=40 à 60% contre 20% en juin 1999). Donc, malgré le soin apporté pour re-conditionner les deux essais (An5) et (An6), les parcelles n'avaient pas le même état de surface entre les deux campagnes de mesures.

Comme pour les autres traitements, nous avons cherché à déterminer s'il y avait ou non une évolution de la cohésion du sol sur ces parcelles d'ananas (An5) et (An6). Même si cette détermination de la cohésion du sol semble délicat par négligence de l'influence de l'humidité, nous pouvons dresser une tendance du tassement du sol (figure 4.58). Globalement, il semble ne pas y avoir de variation de zones tassées sur (An5) et (An6) et celles-ci occuperaient régulièrement près de 40 à 60% de la surface parcellaire (figure 4.58). En effet, sur la parcelle à ananas billonné (A6), les zones tassées sont essentiellement localisées au fond des sillons qui sont restés tels quels tout au long des deux années de mesures. De même, lors de l'installation de la parcelle (An5), le sol était piétiné et tassé dans les inter - rangs par les nombreux passages nécessaires à la plantation des ananas. Notons que sur (An5) en septembre 1999, les zones tassées ont baissé un peu en raison de la replantation des ananas malades.

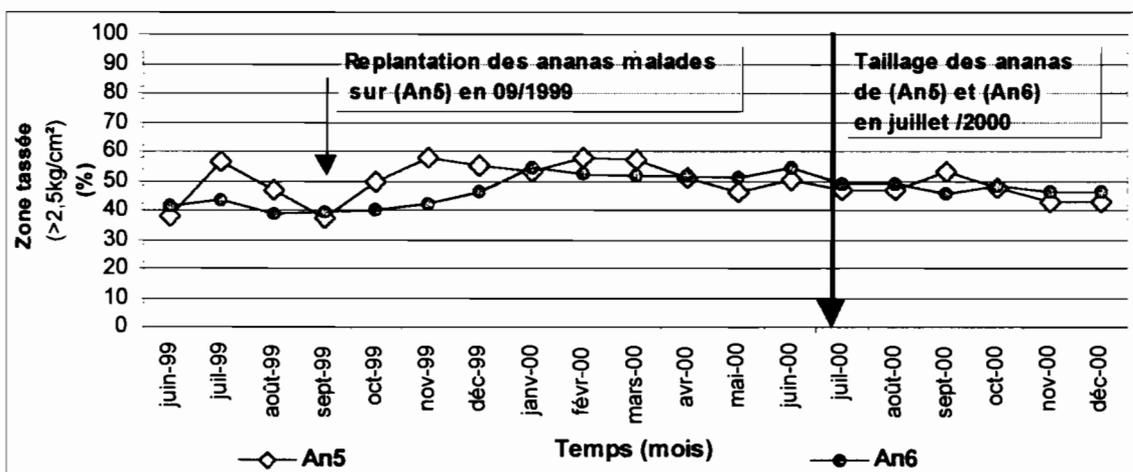


Figure 4.58 – Cohésion du sol (au pénétromètre) sur les 2 parcelles "ananas à plat + paillis" (An5) et "ananas mécanisé et billonné" (An6) durant 1999 et 2000. (limite entre zone tassée et zone meuble : 2,5 kg/cm²)

e) - Conclusion

Bien qu'en général, on admet l'influence du tassement en surface du sol sur l'augmentation du ruissellement et de l'érosion, nous n'avons pas pu la mettre bien en évidence sur nos parcelles. En effet, seuls les "sols nus" ont une tendance indiquant un accroissement des surfaces tassées du sol, provoqué sans doute par les gouttes de pluies et les passages lors des

dés herbages d'adventices. Les autres parcelles avaient déjà des zones tassées liées soit à la mise en place des cultures, soit aux entretiens fréquents des plants. Donc, nous n'avons pas pu démontrer ici, de lien probant entre les zones tassées et le ruissellement ou l'érosion mesurés. Ces derniers semblent plutôt liés au taux de surfaces couvertes comme nous le verrons ultérieurement.

4.6 – Un test de stabilité structurale comme indicateur de l'érosion

Les résultats de ce test se présentent sous forme d'une distribution des classes d'agrégats ou selon le diamètre médian pondéral MWD. Nous présenterons brièvement la distribution des classes d'agrégats à partir d'un échantillon car elle est comparable dans l'ensemble des parcelles étudiées. Par contre, nous détaillerons les résultats à partir du paramètre MWD dont l'unicité permet des comparaisons entre les traitements et d'une année à l'autre.

a) - Distribution des classes d'agrégats

La distribution des classes d'agrégats des échantillons de surface (0-10 cm) à (t0) et à (t0+1) est présentée respectivement dans les deux tableaux joints en annexe (cf. annexe 6). On voit que cette distribution est comparable pour tous les échantillons de (t0) et (t0+1). A titre d'exemple, la figure 4.61 illustre, sous forme d'histogramme, cette distribution granulométrique des agrégats pour la parcelle (Ba3) à (t0+1). Cette distribution est du type normal et unimodal. Lorsque l'on passe du traitement T1 à T2 puis à T3, la classe modale des agrégats (ou classe à effectif maximal) se déplace vers la fraction grossière $\varnothing > 2$ mm.

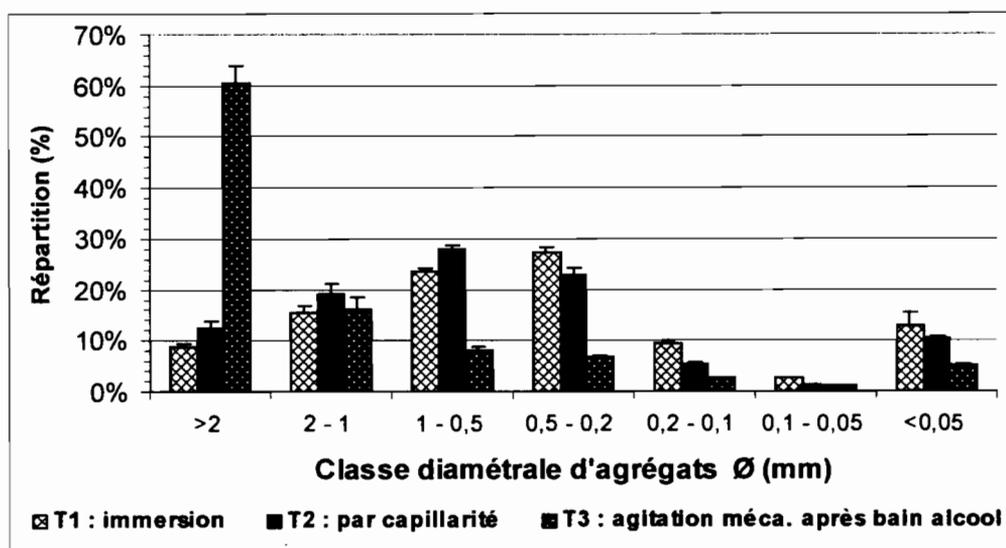


Figure 4.61 – Répartition des fractions d'agrégats après les 3 traitements T1, T2 et T3 du test de stabilité structurale - exemple sur la parcelle "bananeraie établie" (Ba3), un an après sa mise en place (t0+1).

b) – Diamètre médian pondéral MWD

Les diamètres moyens pondéraux MWD des échantillons prélevés à (t0) et (t0+1), sont présentés dans les tableaux 4.5 et 4.6.

Tableau 4.5 – Diamètre médian pondéral MWD (mm) des 10 échantillons de sol superficiel (0-10 cm) testés à t0.

t0 : Mars 99	Sol Nu			Canne			Banane		Ananas	
Parcelle	Nu1	Nu7	Nu9	Ca2	Ca8	Ca10	Ba3	Ba4	An5	An6
Pente	11%	25%	40%	11%	25%	40%	10%	9%	9%	7%
MWD-T1 (mm)	0,79	1,11	1,45	1,08	1,07	1,34	1,08	0,99	0,83	0,88
<i>Ecart – type (mm)</i>	0,02	0,07	0,10	0,09	0,07	0,03	0,09	0,10	0,06	0,04
MWD-T2 (mm)	0,99	1,25	1,69	1,83	1,64	1,91	1,71	1,44	1,22	1,31
<i>Ecart – type (mm)</i>	0,07	0,06	0,12	0,22	0,15	0,15	0,12	0,11	0,13	0,21
MWD-T3 (mm)	2,09	2,04	2,74	2,38	1,95	2,54	1,57	1,77	2,13	1,93
<i>Ecart – type (mm)</i>	0,13	0,15	0,07	0,13	0,12	0,19	0,09	0,11	0,15	0,14

Tableau 4.6 – Diamètre médian pondéral MWD (mm) des 12 échantillons de sol superficiel (0-10 cm) testés à t0+1.

t0+1 : Mars 00	Sol Nu			Canne			Banane		Ananas			
Parcelle	Nu1	Nu7	Nu9	Ca2	Ca8	Ca10	Ba3	Ba4	An5 R*	An5 I-R*	An6 Bi*	An6 Si*
Pente	11%	25%	40%	11%	25%	40%	10%	9%	9%		7%	
MWD-T1 (mm)	0,65	0,78	1,11	0,93	1,14	1,62	0,83	0,67	0,87	0,77	0,95	0,73
<i>Ecart – type (mm)</i>	0,03	0,04	0,14	0,07	0,12	0,06	0,05	0,07	0,07	0,05	0,07	0,06
MWD-T2 (mm)	1,03	1,15	1,70	1,58	1,49	1,93	1,03	1,05	1,82	1,02	1,31	0,97
<i>Ecart – type (mm)</i>	0,14	0,13	0,16	0,23	0,13	0,18	0,08	0,11	0,22	0,09	0,10	0,06
MWD-T3 (mm)	1,61	1,62	2,08	1,78	1,83	2,61	2,45	1,69	2,07	1,79	2,14	1,66
<i>Ecart – type (mm)</i>	0,15	0,08	0,12	0,17	0,04	0,19	0,16	0,09	0,07	0,16	0,18	0,07

*sur (An5) et (An6) : R = rang de plantation ; I-R = inter - rang ; Bi = billon ; Si = sillon

c) – Pour l'ensemble des échantillons à t0 et à t0+1

Quel que soit l'échantillon testé, on observe une augmentation des MWD lorsque l'on passe du traitement T1, à T2 et à T3, comme précédemment constaté sur la figure 4.61.

De plus, les résultats de stabilité structurale observés sous humectation rapide (traitement T1) semblent se répéter sous la ré-humectation lente (T2) car les MWD-T1 varient avec les MWD-T2 suivant une régression linéaire de type : $MWD-T2=1,05 \times MWD-T1+0,38$ avec un coefficient de corrélation significatif à 1% ($R^2=0,64$ pour 22 échantillons) (figure 4.62).

Pour tous les échantillons à t0 et à t0+1, la désagrégation est plus intense sous traitement T1 que sous T2 : en effet, MWD-T1 est plus faible que MWD-T2 (par exemple, pour (Ca2) à t0+1, MWD-T1 vaut 0,9 mm et est inférieur à MWD-T2 s'élevant 1,5 mm (tableaux 4.5 et 4.6)). Ces résultats indiquent que les pluies intenses et isolées en période sèche provoquent plus aisément l'éclatement des agrégats que les averses modérées en période humide.

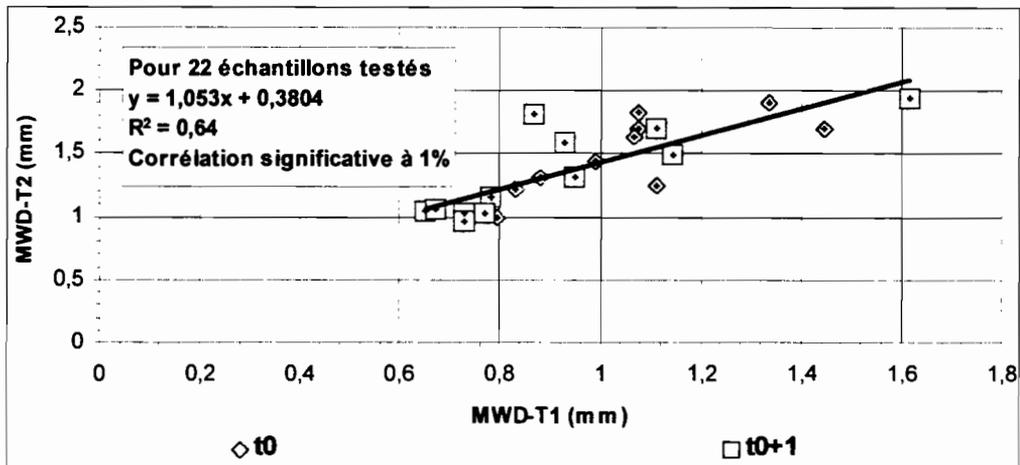


Figure 4.62 – Concordance entre les résultats des traitements T1 (humectation brutale) et T2 (ré-humectation lente) effectués sur les 22 échantillons à (t0) et à (t0+1) - sol brun rouille à halloysite.

Par ailleurs, nous avons cherché à classer ce sol brun rouille à halloysite à partir des résultats MWD des 22 échantillons à t0 et à t0+1 soumis au traitement T3 et du classement de stabilité structurale du sol établi par LE BISSONNAIS et LE SOUDER en 1995 (tableau 4.7). Avec des valeurs de MWD-T3 s'élevant de 1,6 à 2,7 mm, les échantillons résistent bien à la désagrégation mécanisée standardisée dans l'eau et montrent que ce sol brun tropical d'origine volcanique fait partie des sols à bonne, voire très bonne stabilité structurale avec un risque de battance rare. D'où l'absence d'une pellicule en surface du sol durant nos observations en parcelles d'érosion.

Sur des sols stables et très stables, ces mêmes auteurs suggèrent d'utiliser les résultats du traitement T1 (MWD-T1) plus discriminants pour faire des comparaisons entre échantillons ou pour dégager des relations ou évolution de la stabilité du sol.

Tableau 4.7 – Classement et comportement du sol (stabilité structurale, battance et érosion) en fonction de leur diamètre médian pondéral MWD après désagrégation standardisée (d'après LE BISSONNAIS et LE SOUDER, 1995).

MWD	Stabilité structurale	Battance	Ruissellement et érosion
<0,4 mm	Très instable	Systematique	Risque important et permanent en toutes conditions topographiques
0,4 – 0,8 mm	Instable	Très fréquente	Risque fréquent en toutes situations
0,8 – 1,3 mm	Moyennement stable	Fréquente	Risque variable en fonction des paramètres climatiques et topographiques
1,3 – 2 mm	Stable	Occasionnelle	Risque limité
>2 mm	Très stable	Très rare	Risque très faible

d) – Evolution de la stabilité structurale de t0 et à t0+1

L'évolution de la stabilité structurale peut se définir par la différence des (MWD-T1) entre les deux années (t0) et (t0+1) : il y a amélioration de la stabilité quand les résultats à (t0) sont significativement inférieures à ceux à (t0+1) ou dans le cas contraire, dégradation de la stabilité quand (t0) > (t0+1).

D'après les tableaux 4.5 et 4.6 et la figure 4.61a, il semble donc y avoir une dégradation de structure du sol après une année de culture (de t0 à t0+1), sauf dans les rangs des deux ananas (An5R) et (An6Bi) et dans les cannes sur fortes pentes (Ca8 et Ca10).

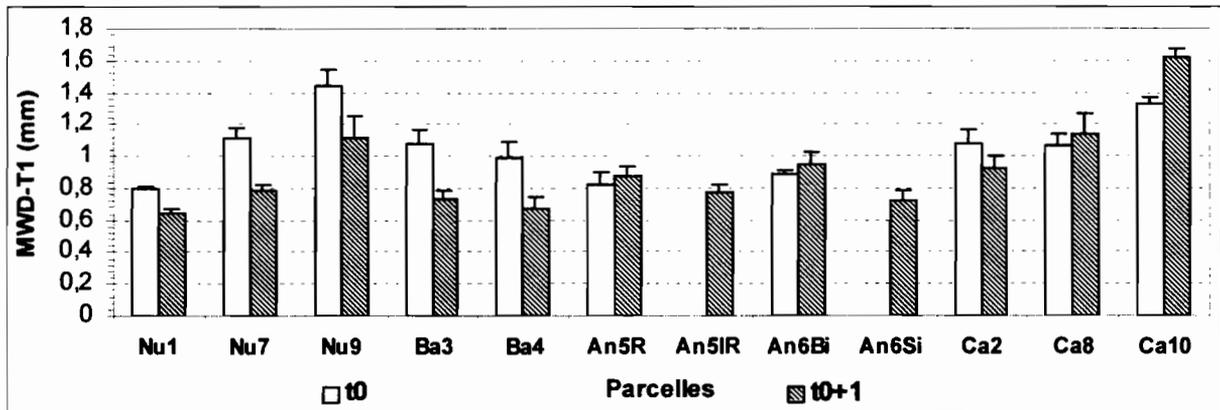


Figure 4.61a – Evolution de la stabilité structurale du sol (MWD-T1) des 10 parcelles d'érosion entre t0 et t0+1.

e) – Quelques relations remarquables de la stabilité structurale

- Stabilité structurale et pente

Il semble y avoir une relation remarquable entre la stabilité structurale et la pente : en effet, les résultats MWD-T1 des parcelles "sol nu" (Nu1, Nu7 et Nu9) et "canne" (Ca2, Ca8 et Ca10) montrent que la stabilité des agrégats à t0 et à t0+1 augmente très significativement avec la pente p suivant une régression linéaire d'équation : $MWD-T1 = 1,8x(p) + 0,64$ avec une corrélation significative à 1% ($R^2 = 0,61$) pour 12 échantillons (figure 4.63).

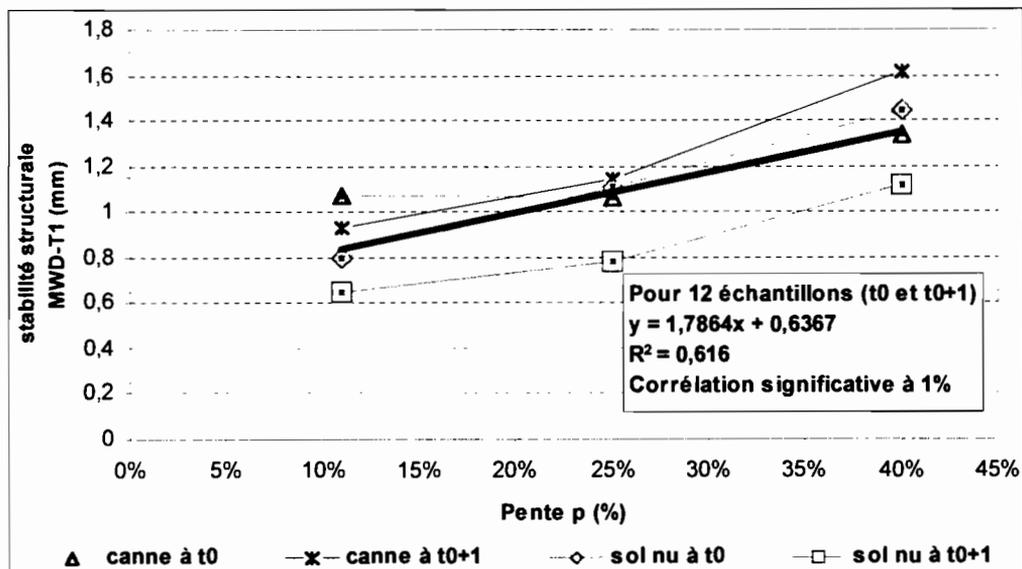


Figure 4.63 – Relation entre stabilité structurale MWD-T1 (mm) et pente p (%) sur 12 échantillons de sol prélevés à t0 et t0+1 (traitements "sol nu" (Nu1, Nu7 et Nu9) et de canne (Ca2, Ca8 et Ca10) situés sur des pentes de 11%-25% -40%.

- Stabilité structurale et ruissellement ou érosion

Par ailleurs, nous avons cherché à établir des relations entre l'évolution de la stabilité structurale entre t_0 et t_0+1 et l'érosion pendant la même période.

Aucune relation nette entre stabilité structurale et érosion n'est mise en évidence pour les parcelles cultivées. Probablement l'effet des surfaces couvertes (litière, couvert végétal, cailloux) masque l'évolution de la stabilité d'agrégats du sol.

En revanche, sur les "sols nus", il existe des relations d'une part, entre le ruissellement (LR) et la stabilité structurale (MWD-T1), d'autre part entre l'érosion (E) et la stabilité (MWD-T1), bien que nous ne puissions pas établir de régressions étroites entre ces paramètres (trop peu de points pour définir une corrélation (figures 4.64 a et b)).

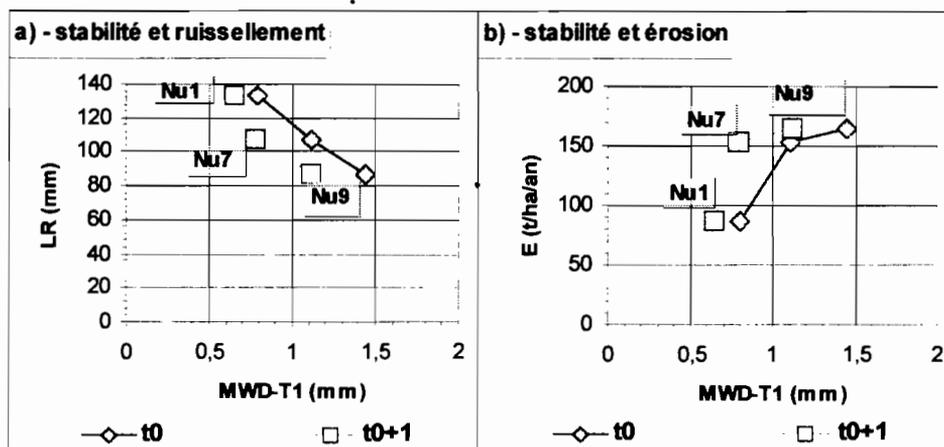


Figure 4.64 – Relations entre a) - stabilité structurale (MWD-T1) et ruissellement (LR) ; b) - stabilité structurale (MWD-T1) et érosion (E) en 1999 sur les 3 "sols nus" (Nu1, Nu7 et Nu9).

D'après la figure 4.64 a, nous constatons que plus la stabilité structurale du sol est forte, plus le ruissellement au sol diminue.

Par contre, il semble paradoxal *a priori* de voir que l'érosion augmente avec la stabilité du sol (figure 4.64b). En réalité, cette figure 4.64b met en évidence le rôle de la pente p où l'on a relevé que l'érosion ainsi que la stabilité structurale du sol devenaient plus fortes plus l'inclinaison de la pente augmentait. Nous expliquerons ultérieurement ce paradoxe.

4.7 – Simulations de pluies

a) – Conditions avant et après application de la pluie artificielle

Le tableau 4.8 récapitule les conditions avant et après l'application de la pluie artificielle (moyennes et écart – types sur 19 simulations de pluies), l'ensemble des résultats est fourni en annexe 7.

Tableau 4.8 – Conditions avant et après application des pluies artificielles sur les placettes de 1 m² : moyennes et écart - types pour 19 pluies simulées sur les traitements de "canne" (Ca2-résidus), "bananeraie établie" (Ba3-résidus et Ba3-nu), "ananas mécanisé et billonné" (An6) et "sol nu" (Nu1, Nu7 et Nu9).

Traitement	Parcelle	Paramètres du milieu sol					Etat de surface des placettes de 1 m ²				
		Pente P (%)	Hp. avant (%)	Hp. après (%)	Hp. >24h (%)	Dapp. (g/cm ³)	Rugsté.	S.O. Mottes (%)	S.C. Lit+Clx (%)	S.F. Croûte (%)	Z.tassée >2.5kg/cm ² (%)
Canne l-R paillé	Ca2-résidus	12%	19,6%	56,3%	42,9%	0,80	1,17	2,3	97,7	0,0	ND
	Ecart-type	1,1%	2,3%	8,9%	ND	ND	0,01	0,4	0,4	0	ND
Banane l-R paillé	Ba3-résidus	17%	18,9%	48,5%	45,5%	0,78	1,22	1,2	96,3	2,4	7,7
	Ecart-type	0,7%	3,0%	1,0%	1,2%	ND	0,02	0,9	2,6	3,4	3,9
Banane l-R dénudé	Ba3-nu	14%	20,7%	52,4%	43,1%	0,84	1,03	48,6	17,0	34,4	60,0
	Ecart-type	4,4%	0,0...%	1,8%	5,5%	0,1	0,02	6,9	0,3	16,9	8,8
Ananas Billonné	An6	9%	17,8-22%	56,6%	ND	0,82-0,92	1,17	4,7	82,0	13,3	19,2
	Ecart-type	1,2%	ND	2,4%	ND	0,01	ND	2,7	4,7	3,6	6,9
Sol nu	Nu1	12%	18,9%	49,2%	44,3%	0,77	1,06	98,3	1,7	0	0
	Ecart-type	0,3%	1,4%	5,6%	0,5%	0,02	0,00...	1,4	1,4	ND	ND
	Nu7	25%	18,5%	45,8%	ND	0,83	1,04	91,8	8,2	0,0	0,0
	Ecart-type	0,5%	3,2%	2,3%	ND	0,01	0,01	1,6	1,6	ND	ND
	Nu9	37%	34,6%	48,5%	ND	0,79	1,05	92,5	7,5	0	0
Ecart-type	0,6%	0,4%	0,4%	ND	0,01	0,01	2,9	2,9	ND	ND	

ND : paramètre non-déterminé

l-R : inter - rang pour (Ca2 et Ba3)

- Hpavant (%) : humidité pondérale du sol (0-10 cm) avant simulation de pluie

- Hpaprès (%) : humidité pondérale du sol (0-5 cm) après pluie simulée

- Hp>24h (%) : humidité pondérale du sol (0-10 cm) un jour après la pluie simulée (capacité au champ)

- Dapp. (g/cm³) : densité apparente du sol (0-10 cm)

- Rugsté. : rugosité du sol par la méthode de la chaînette

- S.O. (%) : surface ouverte ou mottes

- S.C. (%) : surface couverte par la litière, les cailloux et le couvert végétal

- Z.tassée (%) : zone tassée (>2,5 kg/cm² au pénétromètre)

Les placettes de 1 m² sont situées à l'intérieur des parcelles d'érosion et sur des pentes très voisines variant de 9 à 37% (tableau 4.8).

Dans l'ensemble, le sol superficiel est assez sec initialement, avec une humidité pondérale constante (Hpavant=17 à 20%, sauf pour les simulations de pluie réalisées sur la parcelle (Nu9) où il a plu la veille (Hpavant=35%)).

Généralement, la densité apparente (Dapp.) varie de 0,77 à 0,92 g/cm³ du "sol nu" (Nu1) à "l'ananas mécanisé et billonné" (An6).

L'état de surface montre qu'il y a *grosso modo*, deux cas extrêmes :

- des placettes de 1 m² où la surface du sol est dénudée et constituée essentiellement de mottes : de 92 à 98 % de surface ouverte (S.O.) en moyenne par exemple sur les "sols nus" (préparation du sol ou griffage en vue d'estimer son érodibilité) ;

- des placettes de 1 m² protégés soir par la litière (Ca2-résidu et Ba3-résidu), soit par le couvert végétal (An6) : de 82 à 98% de surface couverte (S.C.) en moyenne.

Ces deux cas distincts ont aussi des rugosités différentes : sur "sol nu", la surface est lisse et sa rugosité vaut $Rugsté=1,04-1,06$ tandis que sur placettes paillées (Ca2-résidus et Ba3-résidus) et "ananas mécanisé et billonné" (An6), elle est forte et s'élève à $Rugsté=1,17-1,22$.

En (Ba3-nu), le sol de l'inter - rang non paillé est dénudé et composé de surfaces ouvertes (48% S.O.) et de surfaces fermées (17% S.F.). Il faut noter que ces surfaces fermées sont des croûtes fines et lisses. D'après nos observations, cette croûte semble continuer et se former sous les agrégats en surface.

Après l'arrêt de la simulation de pluie, des prélèvements de sol (0-5 cm) ont été effectués afin de déterminer l'humidité du sol. Dans l'ensemble des situations, la saturation du sol n'est jamais atteinte et le sol arrosé présente une humidité pondérale variant de $H_{paprès}=46$ à 57% (tableau 4.8). Ces valeurs sont probablement dues au retard dans le prélèvement des échantillons : les macropores ont eu alors le temps de se vider (sol très perméable).

L'humidité du sol un jour après la simulation de pluie est assez comparable en générale et elle s'élève à $H_{p>24h}=43$ à 46%. Cette humidité est la capacité au champ du sol : elle représente l'eau retenue par les micropores.

b) – Paramètres hydrodynamiques

Les résultats détaillés des 19 simulations de pluies sont présentés dans l'annexe 7.

Leurs paramètres hydrodynamiques moyens et leurs écarts - types sont exprimés dans le tableau 4.9

Tableau 4.9 – Paramètres hydrodynamiques moyens et écarts -types des 19 simulations de pluies appliquées sur les 3 traitements testés.

Traitement	Parcelle	Pluie		Ruissellement				Perte en terre					
		Ip	Pi	LRc 60'	LRc 180'	Kr 60'	Kr 180'	Rx	Fn	Turbi.		PT	
		(mm/h)	(mm)	(mm)	(mm)	(%)	(%)	(mm/h)	(mm/h)	(g/l)	(g/l)	(t/ha)	(t/ha)
Canne	Ca2-résidus	100,1	100,0	3,4	8,3	3,4	2,8	0,0	100,0	0,4	0,1	0,0...	0,0...
I-R paillé	<i>Ecart-type</i>	0,09	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Banane	Ba3-résidus	101,2	100,0	1,0	4,5	1,0	1,5	0,0	100,0	0,0...	0,0...	0,0...	0,0...
I-R paillé	<i>Ecart-type</i>	1,43	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Banane	Ba3-nu	96,2	7,5	61,7	254,2	64,4	88,2	82,6	13,6	1,1	1,0	1,7	8,2
I-R dénudé	<i>Ecart-type</i>	2,7	1,1	11,9	18,9	14,1	8,6	10,1	11,5	0,9	0,7	1,9	8,2
Ananas	An6	101,1	4,2	91,8	272,3	90,8	89,7	90,8	10,3	0,2	ND	0,4	1,9
billonné	<i>Ecart-type</i>	2,5	2,3	9,1	42,3	7,4	7,6	9,4	7,6	0,1	ND	0,4	ND
	Nu1	100,2	66,7	9,7	161,1	7,8	53,7	74,3	25,7	0,2	0,5	0,0	2,7
	<i>Ecart-type</i>	0,4	16,7	8,4	42,3	8,4	14,1	9,6	9,6	0,1	0,05	0,2	2,0
Sol nu	Nu7	100,7	18,5	58,9	212,4	58,5	70,2	69,5	31,3	1,2	ND	1,5	ND
	<i>Ecart-type</i>	1,6	6,1	3,0	14,4	2,9	4,2	8,0	7,0	0,3	ND	0,3	ND
	Nu9	99,1	14,3	30,8	173,6	30,9	58,5	48,4	50,3	1,2	0,6	1,1	4,0
	<i>Ecart-type</i>	2,2	2,3	14,1	32,2	13,7	9,1	14,6	11,7	0,2	0,2	0,4	0,2

ND : paramètre non-déterminé

I-R : inter - rang pour (Ca2 et Ba3)

- Ip (mm/h) : intensité de la pluie simulée

- Pi (mm) : pluie d'imbibition

- LRc (mm) : lame ruisselée cumulée en 60' et en 180'

- Kr (%) : coefficient de ruissellement à 60' et à 180' de pluie simulée

- Rx (mm/h) : intensité du ruissellement en régime permanent

- Fn (mm/h) : infiltration constante sous ruissellement permanent

- Turbi (g/l) : turbidité à 60' et 180' de simulation de pluie

- PT (t/ha) : perte en terre après 60' et 180' de pluie simulée

Les hydrogrammes et turbidigrammes moyens des parcelles testées illustrent aussi les résultats du tableau 4.9 et ils montrent les différents comportements des traitements soumis à la simulation de pluie standardisée (figures 4.71 et 4.72 a et b).

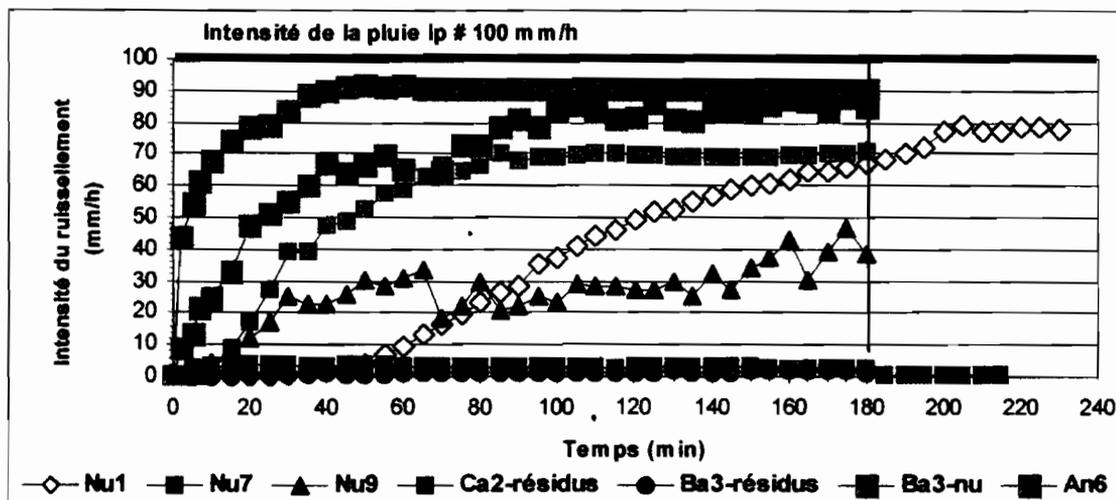


Figure 4.71 – Hydrogrammes moyens des pluies simulées sur les 3 traitements testés (sol nu, canne, bananeraie établie et ananas billonné). (pluie d'intensité $I_p=100$ mm/h et durée=180 min)

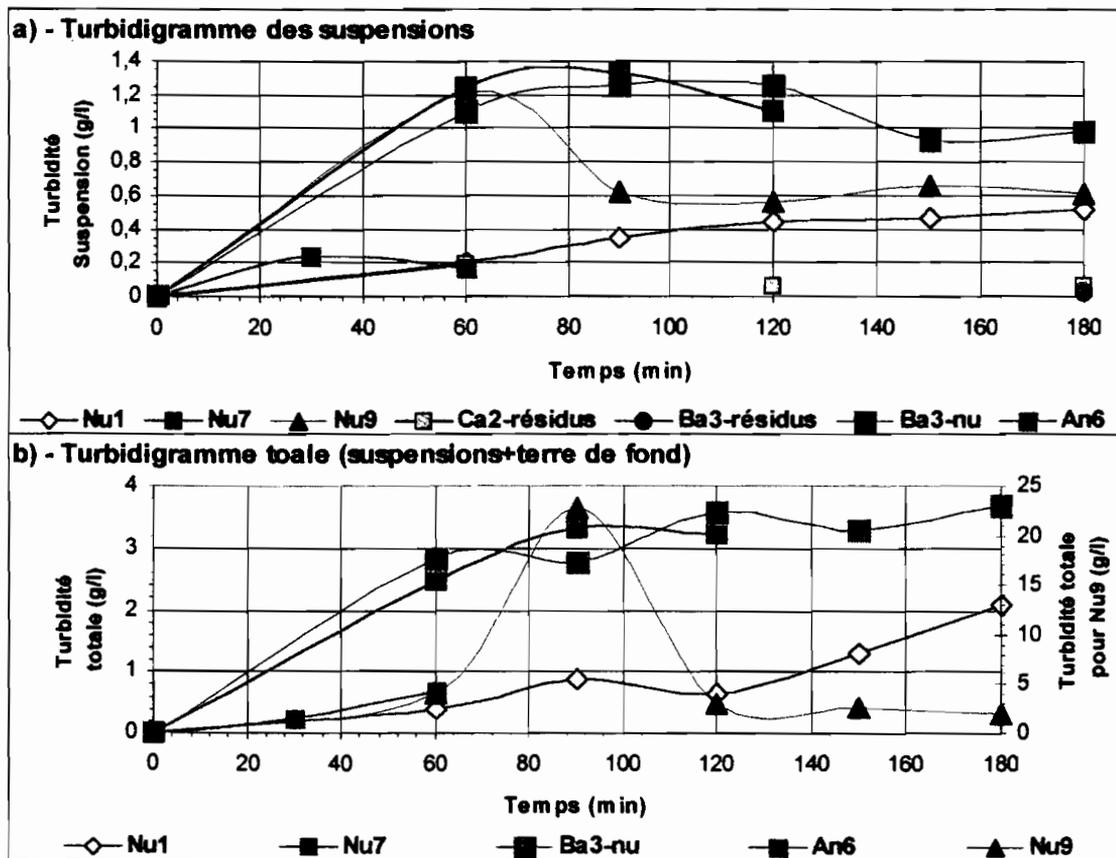


Figure 4.72 – Turbidigrammes moyens des suspensions (a) et des suspensions + terre de fond (b) des simulations de pluies appliquées sur les 3 traitements testés.

Nous allons détailler brièvement les résultats traitement par traitement.

– *Traitement de canne (Ca2-résidus)*

Les résultats de simulation de pluie dans l'inter - rang paillé de la canne (Ca2) sont succincts, mais intéressants. L'hydrogramme en (Ca2-résidus) est plat et ne représente qu'un bruit de fond du ruissellement (eau claire et intensité d'écoulement < 10 mm/h) provoqué par la forte pluie appliquée ($I_p=100$ mm/h) (figure 4.71). Il n'y a donc pas de ruissellement ni de perte en terre, même après 180 minutes de pluie simulée (tableau 4.9).

Par conséquent, la pluie d'imbibition dans cet inter - rang paillé est grande ($P_i>100$ mm) et la capacité d'infiltration est très élevée ($F_n>100$ mm/h). Il n'y a de perte en terre puisque la placette de l'inter - rang paillé ne ruisselle pas vraiment sous la simulation de pluie.

On notera que le bruit de fond peut atteindre une très faible lame ruisselée cumulée de 0,4 à 6,7 mm après 180 minutes de pluie, ce qui représente un K_r 3 % sur une pluie de 300 mm.

– *Traitement "bananeraie établie" (Ba3-résidus et Ba3-nu)*

L'inter - rang de la parcelle "bananeraie établie" (Ba3) présente deux situations opposées : l'une recouverte de résidus de bananiers (Ba3-résidus), l'autre dénudé (Ba3-nu).

- Sur l'inter - rang paillé (P3résidus), les résultats des simulations de pluies sont semblables à ceux obtenus précédemment sur la canne (Ca2-résidus) : son hydrogramme est aussi plat et il représente le bruit de fond ruisselant (eau claire et intensité d'écoulement < 4 mm/h) dû à la forte pluie simulée (figure 4.71). Aucun turbidigramme n'est observé également puisqu'il n'y a pas de perte en terre (ni suspension, ni agrégats grossiers) (figures 4.72 a et b). La pluie d'imbibition P_i sur cet inter - rang paillé est donc supérieure à 100 mm et le taux d'infiltration dépasse les 100 mm/h. Le bruit de fond est de même ordre de grandeur que celui obtenu en (Ca2-résidus), avec une lame ruisselée cumulée moyenne d'environ 5 mm après 180 minutes de pluie, soit un K_r de 1,5 % sur une pluie totale de 300 mm (tableau 4.9).

- Sur l'inter - rang dénudé (Ba3-nu), la simulation de pluie provoque du ruissellement et de la perte en sédiments.

L'hydrogramme présente un ruissellement qui démarre tôt (environ 5 à 15 minutes après application de la pluie) et qui monte rapidement pour atteindre le régime permanent au bout de 90 minutes (figure 4.71).

Le turbidigramme des suspensions a une allure comparable à celui décrit chez les autres auteurs (ROOSE et ASSELINE, 1978 ; COLLINET et VALENTIN, 1979) : c'est-à-dire qu'il y a un pic de croissance de la turbidité des suspensions pendant l'installation du ruissellement permanent, puis elle s'amortit ensuite (figure 4.72a). Par contre, la turbidité totale (suspensions + éléments grossiers) augmente et devient constante au cours du temps (figure 4.72b).

Les paramètres hydrodynamiques confirment l'allure de l'hydrogramme. En effet, la pluie d'imbibition est faible (P_i moyen=7,5 mm) et le ruissellement important (en moyenne, $L_{Rc}=62$ à 254 mm après 60 à 180 minutes de pluie). Le palier du ruissellement en régime permanent R_x est très élevé ($R_x=83$ mm/h).

La perte en terre s'élève à $PT_{60}=2$ t/ha et $PT_{180}=8$ t/ha après 60 et 180 minutes de pluie (tableau 4.9). Elle augmente d'ailleurs avec la lame ruisselée, tant pour les pertes en suspensions que pour celles en éléments grossiers (figure 4.73).

– Traitement "sol nu" (Nu1, Nu7 et Nu9)

D'après les hydrogrammes sur "sol nu", le ruissellement sur 12% de pente (Nu1) démarre tardivement (après 40 minutes de pluie) et progresse linéairement en phase transitoire pour se stabiliser après 3h30 de simulation (figure 4.81). Par contre sur les fortes pentes $p=27\%$ et $p=37\%$ (Nu7 et Nu9), le ruissellement commence plus tôt (après 20 minutes environ) et il atteint le régime permanent après 100 à 120 minutes de pluie (figures 4.71). Il faut noter que l'hydrogramme en (Nu9) est irrégulier en raison non seulement du vent (simulateur non bâché sur très forte pente) mais aussi des processus du ruissellement qui sont sans doute différents de ceux observés sur pente moyenne.

Les turbidigrammes montrent que la turbidité totale (suspensions + agrégats grossiers) est nettement plus élevée que celle des fines (suspension). La turbidité des fines semble évoluer au cours du temps suivant un turbidigramme classique (pic à la phase transitoire du ruissellement et plafonnement après), mais celle des éléments grossiers semblent varier aléatoirement, sans doute à cause du piégeage des agrégats à la sortie de la placette (bordure en aval percée de petits trous) (figures 4.72 a et b).

Les paramètres hydrodynamiques reflètent les observations dégagées auparavant.

En général, la pluie d'imbibition P_i devient plus faible et le ruissellement commence plus tôt plus la pente est forte (P_i moyen = 67 à 14 mm de la pente de 12 à 37%). Au-delà de la pente $p=25\%$, le ruissellement diminue ($LR_{c60}=59$ à 31 mm de la pente 25% à 37%).

Le palier du ruissellement en régime permanent (R_x) diminue quand la pente croît ($R_x = 73$ à 48 mm/h de la pente à $p=12\%$ à 37%) et montre que le taux d'infiltration permanent est d'autant plus fort que la pente est raide ($F_n=26$ à 50 mm/h de la pentes $p=12\%$ à 37%).

Sur ces placettes de "sols nus", la perte en terre cumulée (suspension et agrégats grossiers) augmente avec le ruissellement selon une relation linéaire d'équation : $PT=3,2x(LR)+35,5$ avec un coefficient de corrélation très significatif à 1% : $R^2=0,95$ (figure 4.73).

La perte en terre (PT) croît en outre avec la pente : $PT_{60}= 0$ à 1 t/ha et $PT_{180} = 3$ à 4 t/ha de la pente $p=12\%$ à 37%. Mais, il semble y avoir un effet de seuil de la perte en sédiment au dessus de la pente à 27%. En effet, après 120 minutes de pluie, le sol nu (Nu7) à pente $p=27\%$ perd beaucoup plus de terre que le (Nu9) à pente $p=37\%$ (cf. annexe 7).

– Traitement "ananas mécanisé et billonné"(An6)

Sur "l'ananas mécanisé et billonné" (An6), les résultats des simulations de pluie sont très distincts des précédents. En effet, le ruissellement démarre très tôt (pratiquement entre 2 à 5 minutes après application de la pluie) et devient maximal très rapidement si bien qu'il serait inutile de poursuivre la pluie simulée au-delà des 60 minutes (figure 4.71). Nous ne pouvons pas traiter de l'évolution des turbidigrammes car les prélèvements n'ont été effectués qu'à deux moments (après 30 et 60 minutes de pluie).

Les paramètres hydrodynamiques soulignent l'allure de l'hydrogramme : à savoir une pluie d'imbibition très faible ($P_i=4$ mm) et une lame ruisselée déjà élevée après 60 minutes de pluie ($LR_{c60}=92$ mm et $K_r60=91\%$). C'est d'ailleurs la seule situation qui ruisselle le plus après seulement une heure. Le palier du ruissellement en régime permanent est très élevé ($R_x=91$ mm/h) et le taux d'infiltration correspondant, très faible ($F_n=10$ mm/h). Le billonnage concentre donc le ruissellement.

La perte en terre après une heure de pluie reste inférieure à 1 t/ha ($PT_{60}=0,4$ t/ha) mais elle est plus importante que celle mesurée sur le "sol nu" (Nu1), situé sur une pente voisine ($p=12\%$) (tableau 4.9).

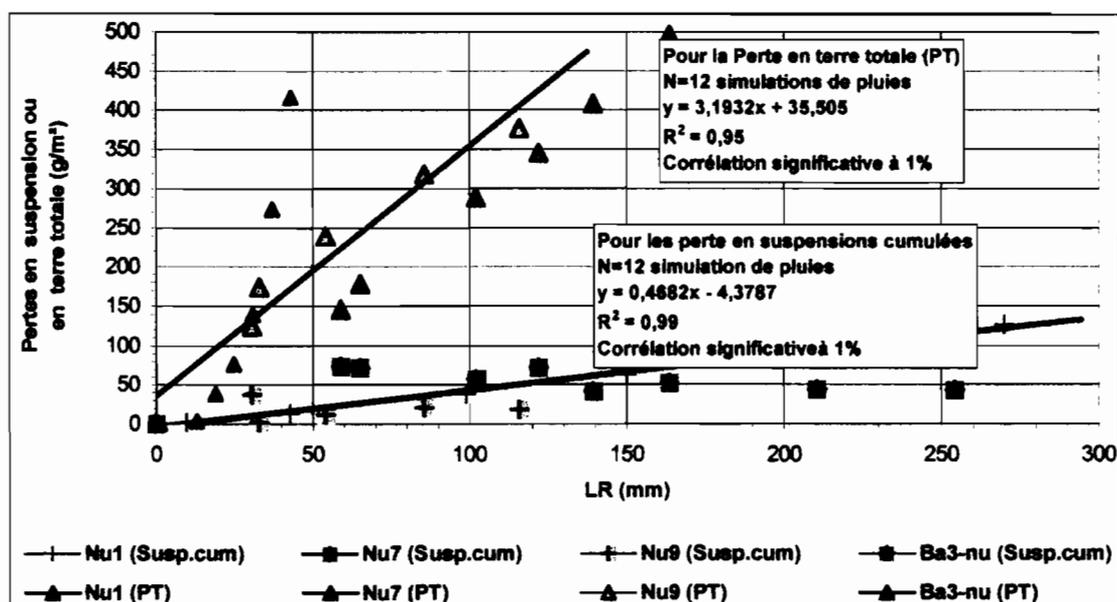


Figure 4.73 – Relations entre le ruissellement (LR) et les pertes en suspensions cumulées (Susp.cum) et en terre totale cumulée (PT) sur les traitements "sol nu" (Nu1, Nu7 et Nu9) et "bananeraie établie" (Ba3-nu) (12 pluies simulées).

4.8 – Le bilan hydrique

Le bilan hydrique a consisté à évaluer le drainage théorique du sol à partir des paramètres hydriques connus, suivant la relation :

$$Dr \text{ calc.} = P - (LR + ETP \pm \text{Var. Stock})$$

- Où
- Dr calc. : drainage théorique calculé (mm) ;
 - P : hauteur des pluies hebdomadaires (mm) ;
 - LR : lame ruisselée hebdomadaire issue de chaque parcelle d'érosion (mm) ;
 - ETP : évapotranspiration potentielle calculée à partir du rayonnement solaire (station météo) (mm) ;
 - Var. Stock : variation de stock d'eau du sol évaluée par des tensiomètres (mm).

Cette démarche découle en fait de la méthodologie établie pour suivre les lysimètres coniques sous bananier établi et pour comparer le drainage théorique calculé (Dr calc.) et le drainage observé par les lysimètres (Dr obs.). Nous avons ensuite défini le bilan hydrique sur les autres traitements, durant près de 78 semaines de juillet 1999 à décembre 2000.

Les tableaux BH01 à BH04 dressent en détail le bilan hydrique établi (drainages calculés et observés (cas de la banane)) respectivement pour les traitements de "sol nu" (Nu1, Nu7 et Nu9), de canne (Ca2, Ca8 et Ca10), de "bananeraie établie" (Ba3 et Ba4) et d'ananas (An5 et An6) (cf. annexe 8).

Nous ne donnerons ici que les bilans saisonniers, puis globaux à l'échelle de la semaine et sur chaque traitement durant les campagnes 1999 et 2000 (tableau 4.91).

a) – La pluie (P)

Les hauteurs de pluies journalières, relevées pour les parcelles d'érosion, sont totalisées sur une semaine (cf. annexe 8). Ce paramètre pluie cumulée (P) peut différer suivant les traitements car le bilan hydrique n'a pas été établi simultanément pour l'ensemble des parcelles. La pluie (P) diffère aussi suivant les saisons sèche ou humide : en effet, la pluie en saison humide est plus élevée qu'en période sèche et dépasse les 1000 mm (tableau 4.91).

b) – La lame ruisselée (LR)

Nous avons regroupé les différents épisodes de ruissellement en semaine afin d'établir la lame ruisselée cumulée (LR) hebdomadaire sur chaque parcelle.

Conformément aux résultats dégagés dans le précédent paragraphe (cf. § 4.2 – *Le ruissellement*), le ruissellement est plus abondant en saison humide, quels que soient les traitements. Par exemple, sur (An6) en 2000, la lame ruisselée (LR) est de 317 mm en saison humide contre 44 mm en période sèche (tableau 4.91).

c) – L'évapotranspiration potentielle (ETP)

L'évapotranspiration potentielle (ETP), calculée à partir du rayonnement sert à établir le bilan hydrique sur l'ensemble des parcelles d'essai. Elle varie aussi suivant les saisons : elle est plus forte pendant le carême, période sèche et atteint 785 mm, soit près de 94% de la pluviosité de la saison sèche. Par contre, en saison humide, l'ETP diminue progressivement avec le rayonnement solaire et ne représente que 45 à 55% de la pluie totale cumulée (tableau 4.91)

d) – La variation de stock d'eau du sol (Var. stock)

Pour définir la variation de stock (Var. stock), nous avons d'abord estimé l'humidité pondérale du sol au cours du temps, à partir des tensiomètres.

La figure 4.81 permet de se rendre compte de la variation d'humidité du sol au cours du temps pour l'ensemble des traitements (NB : nous n'avons pas représenté les humidités pondérales du sol des 10 parcelles afin de ne pas surcharger la figure, mais l'humidité du sol des essais à traitement analogue est comparable (cf. annexe 8).

- Sur le traitement "sol nu", l'humidité pondérale (Hp) du sol (0-30 cm) varie de 40% (saison sèche) à 65% (saison humide, après de fortes pluies), mais elle se situe généralement près de 50% (figure 4.91). Par ailleurs, il faut noter que les trois parcelles "sol nu" (Nu1, Nu7 et Nu9) présentent une même humidité pondérale sur 0-30 cm de profondeur, malgré la variation des pentes. Le sol dénudé reste donc assez humide en profondeur durant les campagnes 1999 et 2000.

Tableau 4.91 – Bilan hydrique sur les différents traitements étudiés durant les campagnes 1999 et 2000 (bilans saisonnier et global sur 1999 et 2000) – rem : comparaison du drainage calculé (Dr. calc) avec le drainage observé par lysimètre (Dr. obs.) sous "bananeraie établie".

	Traitements								
	Sol nu			Canne			Ananas		Banane
	Nu1	Nu7	Nu9	Ca2	Ca8	Ca10	An5	An6	(Ba3+Ba4)
pente p (%)	11%	25%	40%	11%	25%	40%	9%	7%	10%
Saison humide 1999									
P (mm)	1092,5			1373,7			1398,4		1398,4
ETP (mm)	608,9			737,8			771,2		771,2
LR (mm)	132,9	107,8	87,2	22,4	25,1	31,3	22,6	144,2	76,2
Var. stock (mm)	14,4	86,4	24	38,4	-62,4	-43,2	28,8	-4,8	31,2
Dr calc. (mm)	338,5	289,5	372,6	575,1	673,3	647,8	575,8	487,8	519,8
Dr obs. A+C+D+E (mm)									529,4*
Saison sèche 2000									
P (mm)	830,2			830,2			830,2		830,2
ETP (mm)	784,9			784,9			784,9		784,9
LR (mm)	7,2	3,2	7,1	0	0	0	0,1	44,5	0,7
Var. stock (mm)	-16,8	-93,6	-24	-86,4	38,4	-28,8	-57,6	-45,6	-64,8
Dr calc. (mm)	54,9	135,7	62,2	131,7	83,7	74,1	102,9	46,4	109,4
Dr obs. A+B+C+D+E (mm)									107,4
Saison humide 2000									
P (mm)	1547,7			1547,7			1547,7		1547,7
ETP (mm)	710,3			710,3			710,3		710,3
LR (mm)	175,5	122	98,6	0,1	0,2	0	2	317	37,4
Var. stock (mm)	93,6	98,4	96	91,2	33,6	28,8	76,8	110,4	110,4
Dr calc. (mm)	568,2	617	642,8	746,1	803,6	808,6	758,6	410	689,6
Dr obs. A+B+C+D+E (mm)									500,9
Totalité sur les 2 campagnes 1999 et 2000									
P (mm)	3470,4			3751,6			3776,3		3776,3
ETP (mm)	2104,1			2233			2266,4		2266,4
LR (mm)	313,4	232,9	192,7	22,5	25,3	31,3	24,6	505,7	114,4
Var. stock (mm)	91,2	91,2	96	43,2	-67,7	-43,3	48	60	76,8
Dr calc. (mm)	961,7	1042	1077	1453	1561	1530	1437	944	1319
Dr obs. A+B+C+D+E (mm)									1135,7

* le lysimètre B n'a pas été pris en compte en raison d'un mauvais fonctionnement qui n'a été réparé qu'après le mois de novembre 1999.

- Sur les parcelles de canne, l'humidité pondérale du sol (0-30 cm) varie beaucoup plus que sur les "sols nus", allant de Hp=30% à Hp=55% (figure 4.81). Notons que les deux saisons humides 1999 et 2000 ont commencé assez tardivement et ont subi de petites périodes sèches où l'humidité du sol est descendue à près de 35% à 30% (juillet 99 et juin et juillet 00). Sur les trois cannes (Ca2, Ca8 et Ca10), l'humidité pondérale du sol (Hp) semble comparable quelle que soit la variation de la pente, comme nous l'avons constaté sur les "sols nus".

- Sur le traitement "bananeraie établie", les deux parcelles (Ba3 et Ba4) ont une humidité pondérale du sol (0-30 cm) similaire allant de Hp=30% (période sèche, du 04 au 07/2000) à Hp=55% (après d'importantes pluies du 10 au 11/2000). Par ailleurs, ces parcelles présentent une même variation d'humidité du sol que celle des cannes (figure 4.81).

- Sur les traitements d'ananas (An5 et An6), le sol (0-30 cm) semble peu se dessécher et semble garder une humidité pondérale constante variant autour de Hp=50% ; après de d'importantes pluies, celle-ci peut atteindre près de 70% (figure 4.81). Les deux parcelles d'ananas (An5 et An6) réagissent donc différemment au niveau de son humidité par rapport aux autres traitements cultivés.

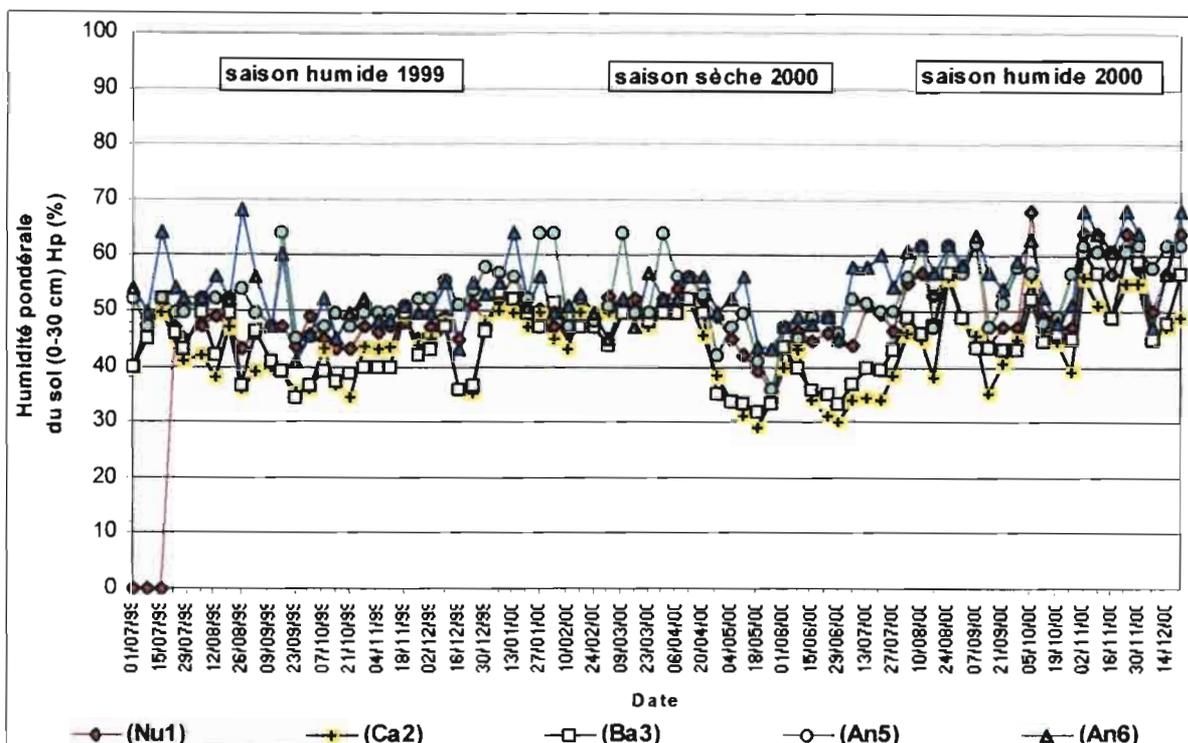


Figure 4.81 – Quelques variation de l’humidité pondérale Hp (%) du sol (0-30 cm) au cours du temps – estimation à partir des tensiomètres installés dans les parcelles (Nu1, Ca2, Ba3 An5 et An6).

Ces variations d’humidité pondérale (Hp) du sol (0-30 cm) vont donc permettre de déterminer la variation de stock d’eau du sol pour le bilan hydrique (cf. annexe 8).

D’un traitement à l’autre et suivant les saisons, la variation de stock du sol diffère : en effet, en saison sèche, la variation de stock est souvent déficitaire, sauf pour (Ca8) (Var. Stock allant de -17 à -86 mm), tandis qu’elle est plutôt positive en saison humide (Var. Stock variant de 14 à 110 mm). Mais, les parcelles sous cannes situées sur de fortes pentes (Ca8 et Ca10) ont souffert d’un déficit hydrique (Var. Stock négative).

Sur les deux campagnes 1999 et 2000, la variation de stock reste globalement positive sur l’ensemble des traitements exceptés les cannes sur fortes pentes. Elle est très élevée sur "sol nu" (91 à 96 mm) en raison peut-être de l’absence de culture (tableau 4.91).

e) – Le drainage (Dr)

Nous présenterons les résultats du drainage en deux temps en distinguant d’une part les traitements à drainage calculé ("sol nu", canne et ananas), d’autre part la "bananeraie établie" à drainages calculé et observé.

-Traitements à drainage calculé

Sur les "sols nus", les cannes et les ananas, le drainage est calculé à partir des paramètres précédemment décrits (cf. annexe 8). L’évolution du drainage de ces traitements au cours du temps est illustrée dans la figure 4.82

Les résultats montrent que le drainage fonctionne très souvent et abondamment en saison humide quel que soit le traitement (tableau 4.91).

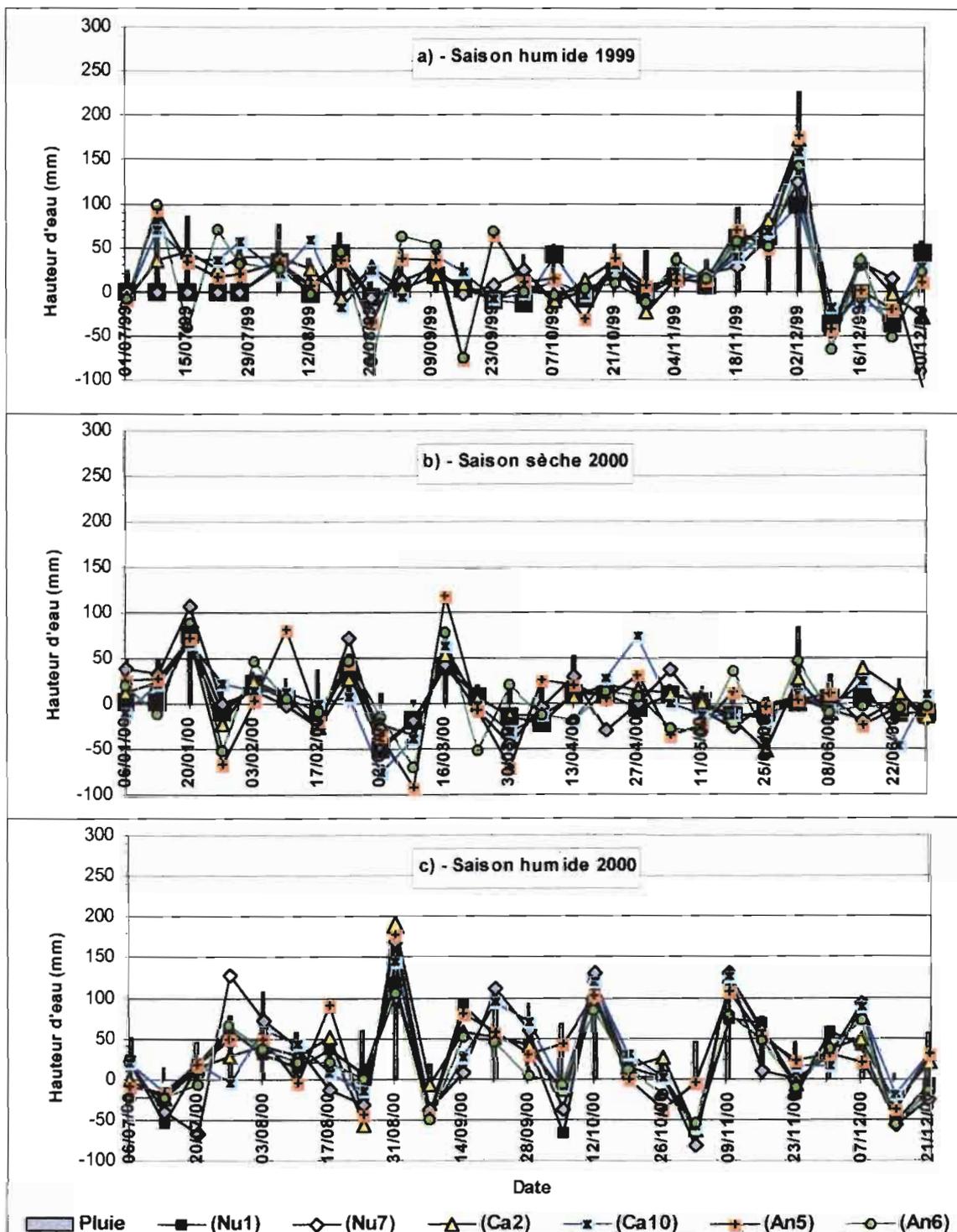


Figure 4.82 – Evolution du drainage calculé ($Dr_{calc.}$) sur les "sol nus" (Nu1 et Nu7), les cannes (Ca2 et Ca10) et les 2 ananas (An5 et An6) durant les 2 campagnes 1999 et 2000 : a) – saison humide 1999 ; b) – saison sèche 2000 ; c) – saison humide 2000.

- Sur les "sols nus" (Nu1, Nu7 et Nu9), quelle que soit la pente, le drainage calculé (Dr calc.) en saison humide est souvent supérieur à 290 mm tandis qu'en saison sèche, il reste inférieur à 150 mm (tableau 4.91).

- Sur les trois cannes (Ca2, Ca8 et Ca10), le drainage (Dr calc.), maximal en saison humide, représente près de 42 à 52% de la pluie cumulée de l'hivernage, soit 575 à 809 mm. Par contre, pendant la période sèche, il est inférieur à 20% en valeur relative et diminue d'autant plus que la pente augmente (tableau 4.91).

- Sur les deux ananas (An5 et An6), quelle que soit la saison, le drainage (Dr calc.) est bien plus fort sur la parcelle paillée (An5) que sur celle mécanisée et billonnée (An6) : il représente près de 41 à 49% de la pluie cumulée de l'hivernage en (An5) contre près de 26 à 35% en (An6) (tableau 4.92).

- "*Bananeraie établie*" à drainages calculés et observés

Seule la "bananeraie établie" a suscité l'estimation du drainage à partir des lysimètres coniques car notre étude traite de son impact sur l'environnement (pertes de nutriments par le drainage notamment).

Le drainage observé (Dr obs.) a été mesuré toutes les semaines depuis juillet 1999 jusqu'au 21 décembre 2000 (cf. annexe 8). Ce drainage (Dr obs.) représente la moyenne établie sur les cinq lysimètres (A, B, C, D et E). sauf pour la première saison humide où l'on a exclu le cône B qui recueillait mal l'eau drainée et qui n'a été réparé qu'en fin novembre 1999.

Pour vérifier la validité du drainage mesuré (Dr obs.) sous lysimètre, nous l'avons comparé au drainage théorique calculé (Dr calc.) à partir de l'équation :

$$\text{Dr calc.} = P - (\text{LR} + \text{ETP} \pm \text{Var. stock}) \quad (\text{figure 4.83}).$$

D'après la figure 4.93 et le tableau 4.21, les drainages calculé (Dr calc.) et observé (Dr obs.) varient de façon comparable d'une saison à l'autre (par exemple en saison humide 1999, Dr calc.=520 mm et Dr obs.=529 mm). Les deux campagnes d'observations se répètent bien, malgré la variation des pluies.

En saison humide, le drainage sous bananiers représente environ 32 à 44% de la pluie cumulée durant la même période (précisément 37% à 44% pour Dr calc. et 32 à 37% pour Dr obs.). En saison sèche, il est de l'ordre de 12 à 13% de la pluie cumulée du carême.

Les deux drainages semblent donc comparables et on pourra évaluer par approximation le drainage calculé par celui observé aux lysimètres : Dr obs ~ Dr calc.

Cette approximation permettra d'estimer les pertes en nutriments par les eaux de drainage.

Donc, en saison humide, le drainage est particulièrement important. C'est sous culture paillée (canne et ananas à plat) que le drainage est le plus important (Dr= 41 à 52% de la pluie cumulée en saison humide). Sous bananier établi, il représente 32 à 37% de la pluie tombée durant l'hivernage. En revanche, sous ananas mécanisé et billonné, le drainage est faible (Dr=26 à 35% de la pluie cumulée durant la même saison).

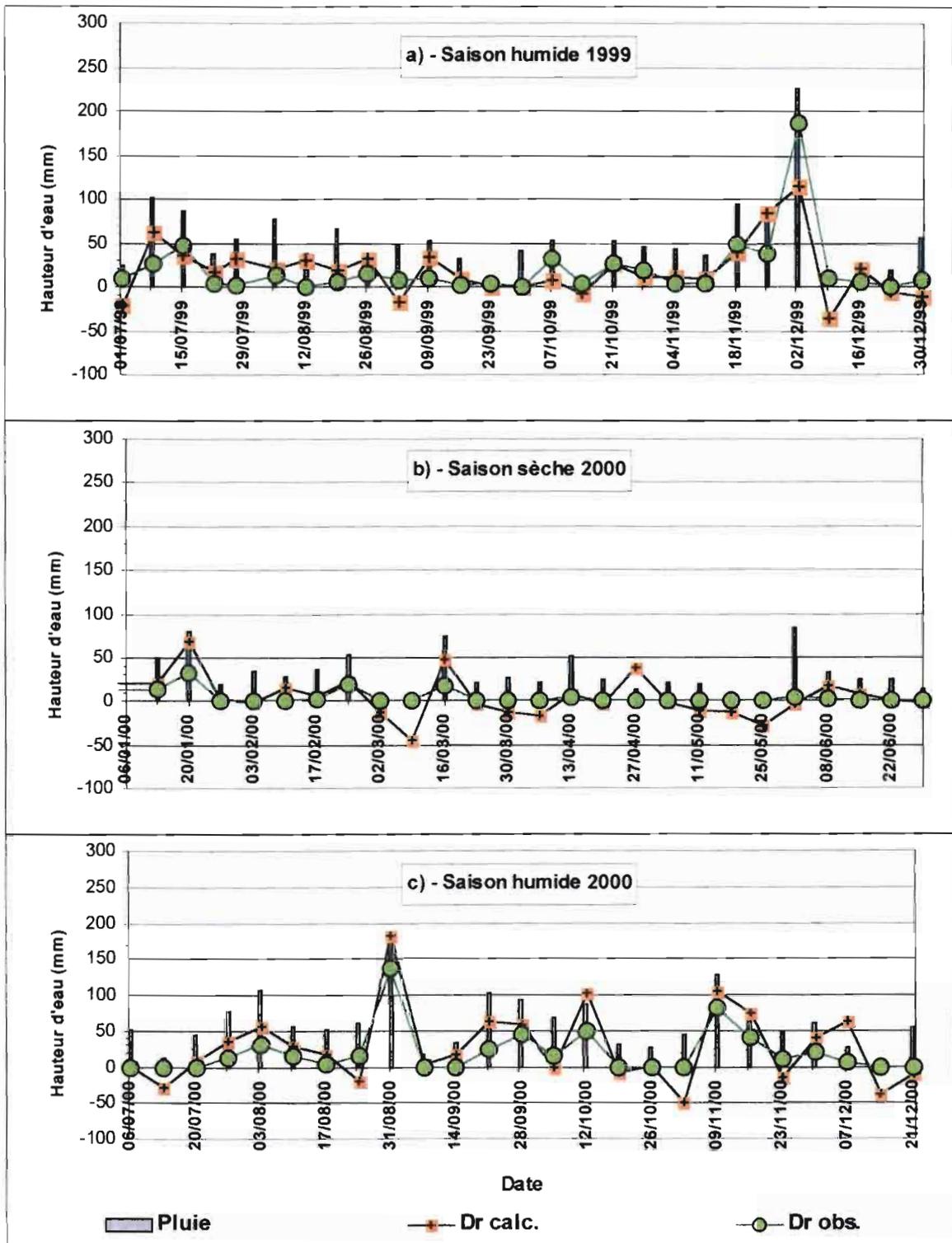


Figure 4.83 – Evolution des drainages calculé (Dr. calc) et observé (Dr obs.) sous « bananeraie établie » durant les 2 campagnes 1999 et 2000 :
a) – saison humide 1999 ; b) – saison sèche 2000 ; c) – saison cyclonique 2000.

4.9 – Les teneurs et les pertes chimiques

Parallèlement aux mesures des flux d'eau (ruissellement et drainage interne) et des pertes en sédiments, nous avons suivi aussi la qualité de l'eau et des sédiments (suspension et terre) évacués hors des parcelles afin d'estimer les pertes chimiques par érosion et drainage vers la nappe.

4.91 – Les teneurs chimiques des eaux

Les teneurs des éléments chimiques (mg/l) perdus dans les eaux de ruissellement et de drainage sont exprimés moyennes pondérées par le volume se définissant comme, la somme des produits des teneurs de chaque échantillon par son volume, divisée par le volume total des échantillons. Cette teneur moyenne pondérée par le volume est inférieure à la moyenne arithmétique des teneurs lorsque les flux hydriques diluent les éléments emportés par les eaux.

a) – Teneurs chimiques des eaux de ruissellement

Pour les "sols nus" (Nu1, Nu7 et Nu9) et les cannes (Ca2, Ca8 et Ca10), nous avons estimé la qualité des eaux ruisselées à partir d'analyses ponctuelles faites sur quelques échantillons (cf. annexe 9). La composition chimique de l'eau ruisselée sur ces traitements est donc une approximation indiquée dans le tableau 4.92.

En revanche, pour les "bananeraies établies" (Ba3 et Ba4) et les ananas (An5 et An6), nous avons analysé les échantillons d'eau pour tous les ruissellements et avons défini leur composition chimique par les teneurs moyennes pondérées (tableau 4.92). Mis à part la parcelle (An5) qui comptabilise seulement quelques épisodes de ruissellement, nous avons donc tracé sur ces traitements, une évolution des teneurs chimiques (K, Ca, Mg, P₂O₅, NH₃ et NO₃) représentée dans des graphiques tirés à partir des résultats en annexe 9 (figures 4.94 à 4.95).

Tableau 4.92 – Teneurs moyennes pondérées des éléments chimiques dans les eaux de ruissellement des 10 parcelles d'érosion en 1999 et 2000.

Traitement		Teneurs moyennes des éléments chimiques					
		K (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	P ₂ O ₅ (mg/l)	NH ₃ (mg/l)	NO ₃ (mg/l)
<i>Campagnes 1999 et 2000</i>							
Sol nu	Nu1 (p=11%)	0,73	1,09	0,03	0,18	0,67	0,05
	Nu7 (p=25%)	1,30	2,05	0,05	0,30	0,73	0,24
	Nu9 (p=40%)	0,89	1,20	0,05	0,35	0,73	0,53
Canne	Ca2 (p=11%)	24,84	12,02	3,90	0,63	0,59	14,68
	Ca8 (p=25%)	22,58	13,40	2,69	1,02	0,06	6,29
	Ca10 (p=40%)	20,54	14,63	2,46	0,64	0,00	4,13
<i>Campagne 1999</i>							
Bananeraie établie	Ba3 (p=11%)	6,66	4,36	0,49	0,76	0,19	1,08
Bananeraie établie	Ba4 (p=9%)	12,47	3,38	0,29	2,03	0,72	3,67
Ananas à plat + paillis	An5 (p=9%)	25,35	10,95	0,00...*	0,00...*	2,30	0,00...*
Ananas méca.+billonné	An6 (p=7%)	12,68	8,30	1,71	0,87	0,35	4,36
<i>Campagne 2000</i>							
Bananeraie établie	Ba3 (p=11%)	20,59	3,85	0,48	0,51	0,79	0,98
Bananeraie établie	Ba4 (p=9%)	18,25	3,07	0,43	1,62	0,66	2,93
Ananas à plat + paillis	An5 (p=9%)	41,92	12,00	1,10	2,50	0,82	1,83
Ananas méca.+billonné	An6 (p=7%)	8,57	6,50	0,67	0,29	1,06	1,55

* éléments en trace

- Sur les trois "sols nus", les teneurs chimiques dans les eaux ruisselées sont comparables. Il y a donc une bonne répétition des résultats trouvés sur le sol naturel, sans engrais. Parmi les corps chimiques analysés, le calcium (Ca) est l'élément plus abondant (Ca=1 à 2 mg/l), puis viennent dans l'ordre le potassium (K=0,7 à 1 mg/l) et l'ammoniaque (NH₃=0,7 mg/l). Les autres éléments chimiques magnésium (Mg), phosphate (P₂O₅), nitrate (NO₃) restent faibles avec des teneurs souvent inférieures à 0,5 mg/l (tableau 4.92).

- Sur les trois cannes, les teneurs des éléments chimiques des eaux ruisselées sont comparables d'une parcelle à l'autre. Il y a donc une bonne répétition de la composition chimique des eaux ruisselées sur ce traitement. Les teneurs chimiques sont nettement plus élevées que sur les "sols nus" (tableau 4.92). Mais, les volumes d'eau ruisselée sur ces parcelles sont beaucoup plus faibles. On trouve dans l'ordre d'importance, le potassium (K=20 à 24 mg/l), le calcium (Ca=12 à 15 mg/l) et le magnésium (Mg=2,5 à 4 mg/l).

- Sur les "bananeraies établies", nous constatons que les parcelles (Ba3) et (Ba4) qui constituent deux répétitions présentent une variation analogue au niveau des teneurs chimiques (figure 4.94 a et b). D'après ces figures 4.94 a et b, la teneur en potassium semble la plus élevée dans les eaux ruisselées (pic de K=120 mg/l en (Ba3) par exemple), puis suivent le calcium (pic de Ca=40 mg/l en (Ba3)). Le magnésium (Mg) et le phosphate (P₂O₅) sont généralement en faible concentration dans les eaux de ruissellement. L'azote sous forme de nitrate (NO₃) a des teneurs maximales durant la saison humide (figure 4.94 a et b).

Au niveau des teneurs moyennes pondérées, sur la campagne 1999, la parcelle (Ba3) a des taux d'éléments chimiques généralement plus faibles que sur l'autre (Ba4) sauf pour le calcium (tableau 4.92). Mais à la deuxième campagne, les deux parcelles (Ba3 et Ba4) présentent des teneurs chimiques comparables dans les eaux de ruissellement.

Par ailleurs, les teneurs moyennes pondérées permettent de confirmer l'ordre des éléments chimiques observé précédemment. En effet sur les deux parcelles (Ba3 et Ba4), le potassium est l'élément le plus abondant (K=6 à 20 mg/l), puis viennent dans l'ordre le calcium (Ca=3 à 4 mg/l) et le nitrate (NO₃=1 à 4 mg/l). Les autres éléments chimiques dans l'eau ruisselée sont assez faibles (tableau 4.94).

- Sur les deux ananas, les teneurs chimiques sur la parcelle (An5) semblent plus élevées que sur l'autre (An6). Mais cette parcelle (An5) ruisselle beaucoup moins que sa voisine (An6). D'ailleurs, cette dernière a beaucoup ruisselé et nous avons représenté la variation de la composition chimiques des eaux ruisselées (figure 4.95). La figure 4.95 indique que les éléments les plus abondants dans le ruissellement sont dans l'ordre le potassium (pic de K=140 mg/l), puis le calcium (pic Ca=4mg/l). Les autres éléments ont des teneurs faibles comme pour les eaux ruisselées des deux "bananeraies établies" (figure 4.95). D'ailleurs, les teneurs moyennes pondérées corroborent l'ordre observé auparavant (tableau 4.92).

Donc, sur les deux parcelles (An5 et An6), le potassium est l'élément le plus abondant dans les eaux ruisselées (K=8 à 42 mg/l), puis suivent dans l'ordre le calcium (Ca=6 à 12 mg/l) puis le nitrate (NO₃=1 à 4 mg/l).

Conclusion

Sur l'ensemble des traitements cultivés (canne, banane et ananas), on retiendra que les teneurs des eaux ruisselées sont assez comparables d'une année à l'autre et que la hiérarchie des teneurs chimiques dans le ruissellement est semblable d'un traitement à l'autre. En effet, en considérant que les bases échangeables, il apparaît sur ces parcelles cultivées, que le ruissellement présente des teneurs chimiques distinguant par ordre décroissant : K > Ca > Mg. Les teneurs des autres éléments chimiques sont faibles dans le ruissellement.

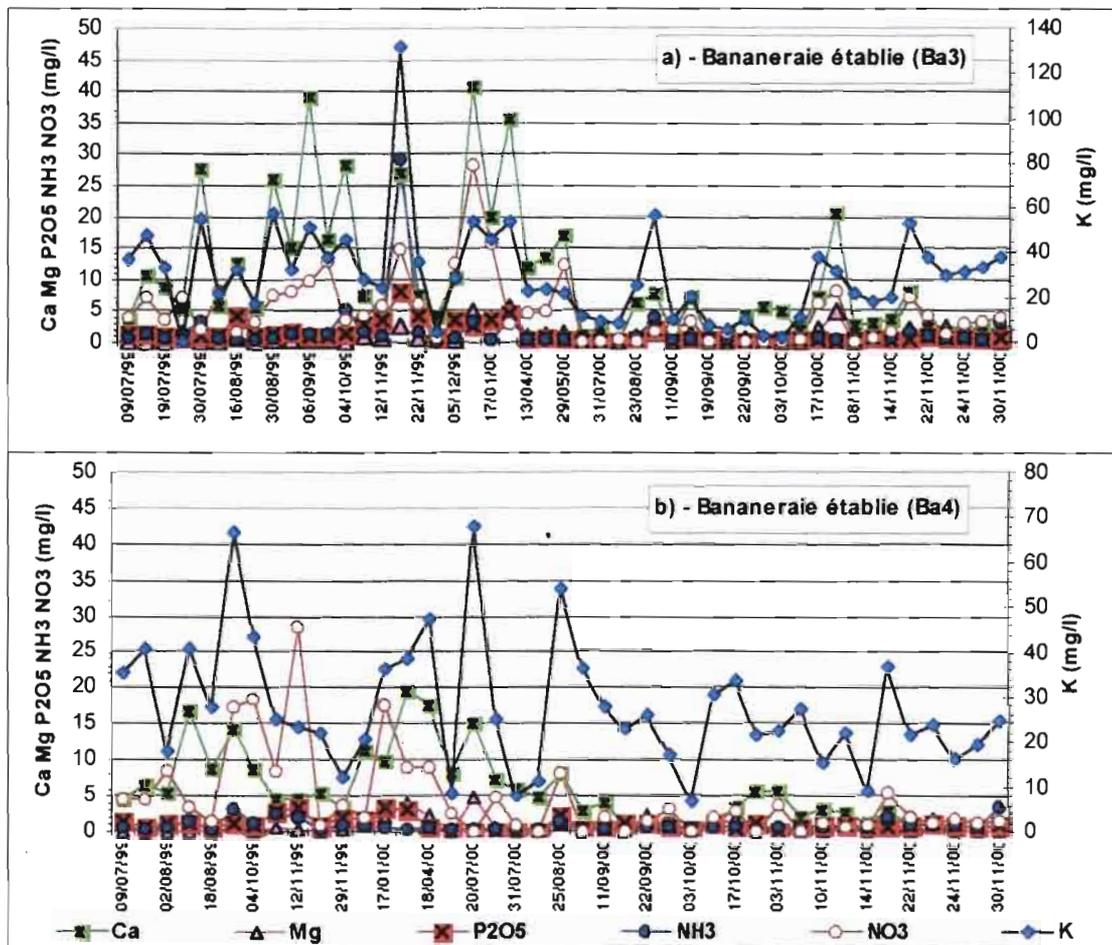


Figure 4.94 – Evolution des teneurs en éléments chimiques (K, Ca, Mg, P₂O₅, NH₃ et NO₃) dans les eaux de ruissellement des 2 "bananeraies établies" Ba3 (a) et Ba4 (b) durant les campagnes 1999 et 2000.

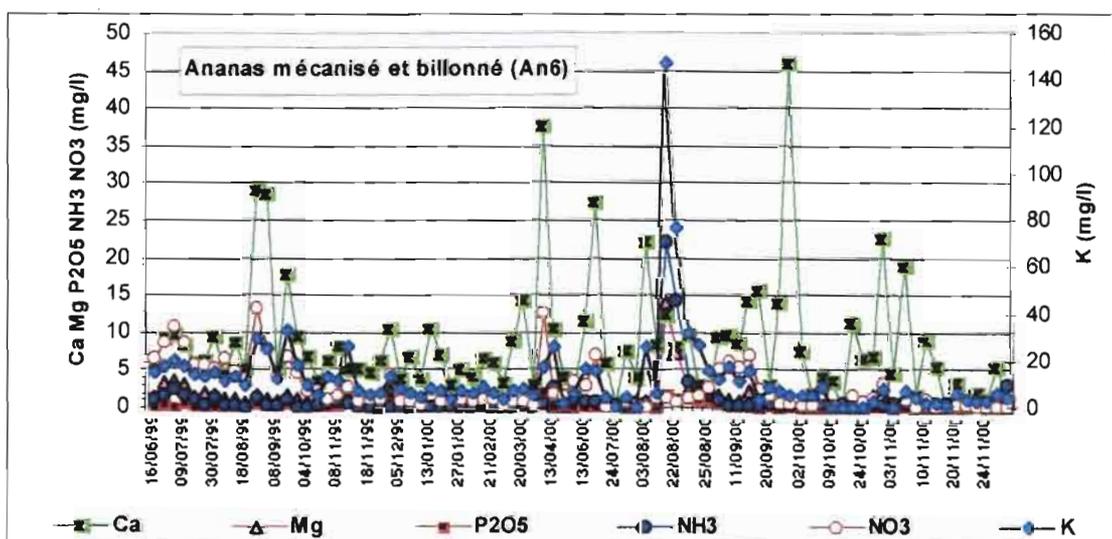


Figure 4.95 – Evolution des teneurs en nutriments (K, Ca, Mg, P₂O₅, NH₃ et NO₃) dans le ruissellement de "l'ananas mécanisé et billonné"(An6) durant les 2 campagnes 1999 et 2000

b) – Teneurs chimiques des eaux de drainage à -60 cm des bananiers

Nous avons analysé les eaux de drainage prélevées à partir des lysimètres coniques situés sous des bananiers. Ces analyses qui ne concernent donc que le traitement "bananeraie établie" vont permettre d'évaluer la composition chimique des eaux drainées et d'estimer ensuite les pertes chimiques dans le sous-sol.

Nous avons mis en place deux niveaux de lysimètres : (A+B+C) en haut de la parcelle (Ba3) et (D+E) entre les deux parcelles (Ba3 et Ba4). Nous distinguerons les pertes chimiques suivant ces deux niveaux qui constituent en réalité deux répétitions (*cf. annexe 9*).

L'évolution des teneurs chimiques des eaux drainées au cours du temps est illustrée dans les figures 4.96 pour les deux niveaux de lysimètres (A+B+C) et (D+E).

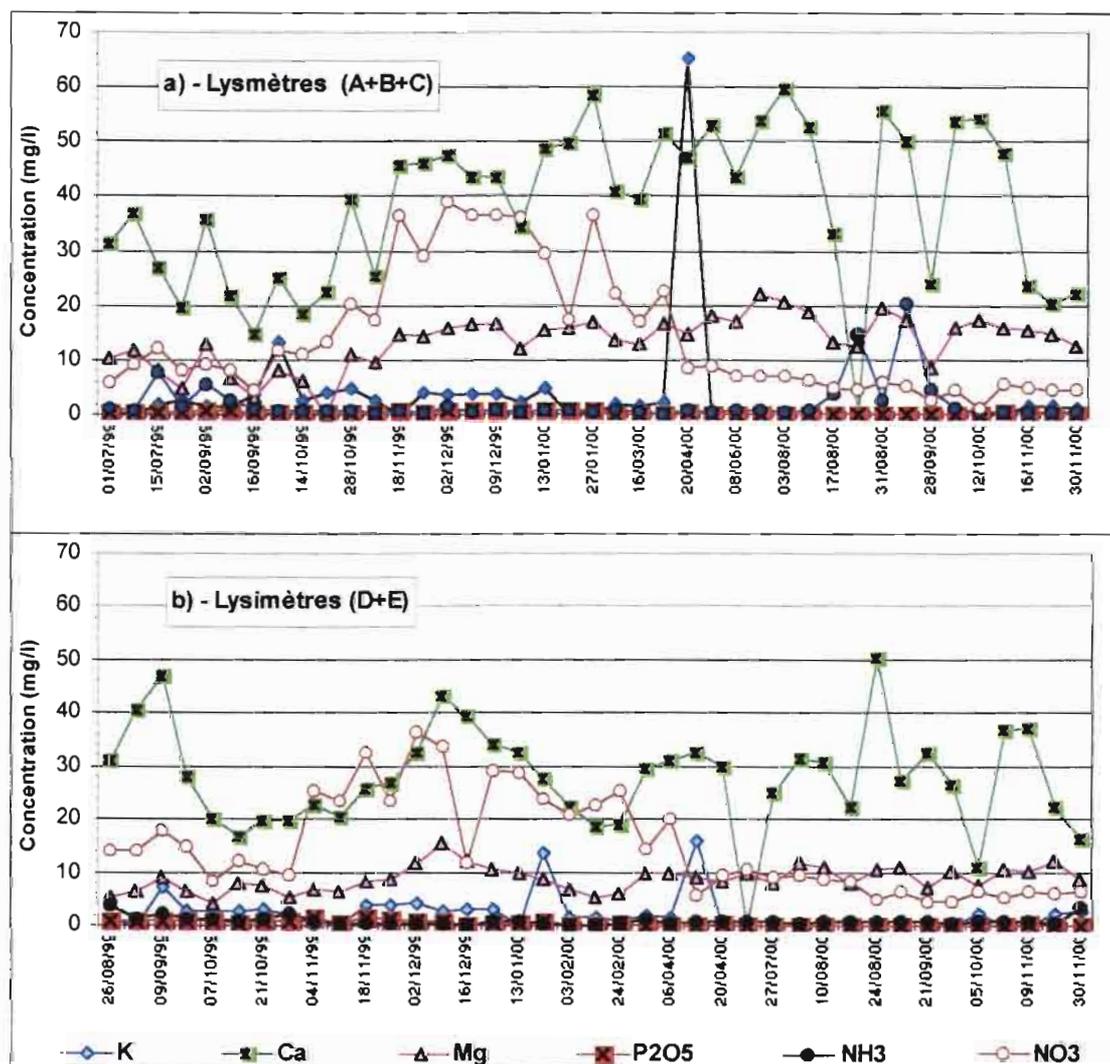


Figure 4.96 – Evolution de la composition chimique des eaux de drainage, recueillies à partir des lysimètres : a) - (A+B+C) et b) - (D+E) placés à -60 cm sous des bananiers (de juillet 1999 à décembre 2000).

D'après les figures 4.96 a et b, les deux niveaux de drainage (A+B+C) et (D+E) assez semblables, montrent que parmi les bases échangeables, la hiérarchie des teneurs chimiques s'ordonne différemment de celle observée sur le ruissellement : $Ca > Mg > K$.

Les teneurs en calcium souvent supérieures à 15 mg/l, peuvent atteindre 50 mg/l en (D+E) ou 60 mg/l en (A+B+C). La teneur en magnésium semble constante au cours du temps et elles fluctuent de 10 à 20 mg/l. Par contre, le taux de potassium apparaît ponctuellement en pics (par exemple pic de $K=60$ à 70 mg/l sur (A+B+C) le 20/04/2000). Dans le drainage, l'azote circule sous forme de nitrate (NO_3) et ses teneurs sont particulièrement élevées durant la saison humide 1999 ($NO_3=40$ mg/l). Le taux en phosphate (P_2O_5) est négligeable.

En exprimant les teneurs moyennes pondérées des différents éléments chimiques, sur les deux années 1999 et 2000, l'ordre des bases échangeables apparaît évident (tableau 4.93).

Tableau 4.93 – Drainage et teneurs moyennes pondérées des éléments chimiques dans les eaux de drainage recueillis par des lysimètres (A+B+C) et (D+E) placés sous des bananiers en place (campagnes 1999 et 2000).

	Drainage	Teneurs moyennes des éléments chimiques					
	Dr (mm)	K (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	P_2O_5 (mg/l)	NH_3 (mg/l)	NO_3 (mg/l)
<i>Campagne 1999</i>							
Lysimètres (A+B+C)	499,6	3,39	41,61	13,35	0,63	1,64	28,88
Lysimètres (D+E)	457,8	3,32	29,49	9,22	0,82	0,92	26,37
<i>Campagne 2000</i>							
Lysimètres (A+B+C)	995,46	0,51	43,67	15,92	0,10	2,68	7,08
Lysimètres (D+E)	847,8	154	29,14	10,00	0,11	0,77	10,07

D'après ce tableau 4.93, les eaux de drainages ont des teneurs chimiques très élevées, notamment en Ca et NO_3 . L'ordre des bases échangeables observé précédemment à travers les figures 4.96 a et b est encore plus évident et il s'écrit : $Ca > Mg > K$ (tableau 4.93).

Ce tableau 4.93 permet par ailleurs de constater que les deux années de mesures 1999 et 2000 sont comparables malgré une diminution importante du taux de nitrate.

Conclusion

Les eaux de drainages relevés aux deux niveaux de lysimètres ont des compositions chimiques similaires et elles sont plus concentrées que les eaux de ruissellement. En considérant que les bases échangeables, celles-ci s'ordonnent différemment des eaux de ruissellement et nous distinguons : $Ca > Mg > K$.

4.92 – Les teneurs chimiques dans les sédiments érodés

Des analyses chimiques ont été réalisées sur les sédiments érodés issus des traitements "sol nu" et des cultures en banane et en ananas durant 1999 et 2000. Ces analyses ont été faites ponctuellement sur les échantillons prélevés tout au long des deux années.

Nous avons donc une estimation des teneurs chimiques des sédiments (suspension et terre de fond) et nous ne distinguerons pas séparément les deux campagnes de mesures 1999 et 2000. Les sédiments érodés sont constitués des particules en suspension et de la terre de fond ou agrégats de sol (dans le fond du piège à sédiments).

a) – Les teneurs chimiques dans les suspensions

Pour chaque parcelle, les échantillons en suspension durant les deux années 1999 et 2000 ont été cumulées en un échantillon composite pour les analyses chimiques. Les deux cannes (Ca8 et Ca10) ayant peu ruisselé, nous avons été obligés de cumuler les suspensions de ces deux parcelles. Les résultats sont présentés dans le tableau 4.94.

Tableau 4.94 – Teneurs chimiques moyennes dans les suspensions cumulées et issues des 10 parcelles durant les campagnes de mesures 1999 et 2000.

Traitement		Teneurs des éléments chimiques				
		K (mé/100g)	Ca (mé/100g)	Mg (mé/100g)	P assimbl (ppm)	N total* (%)
<i>Campagnes 1999+2000</i>						
Sol nu	Nu1	0,93	1,35	0,36	40,30	0,08
	Nu7	1,02	2,11	0,31	33,29	0,08
	Nu9	0,82	0,71	0,26	36,79	0,12
Canne	Ca2	8,30	11,61**	2,49	33,29	0,16
	Ca8+Ca10	2,11	18,34**	0,78	18,40	0,13
Bananeraie établie	Ban3	3,39	2,92	1,05	50,81	0,14
	Ban4	3,84	9,47	1,24	42,05	0,16
Ananas à plat + paillis	An5	1,91	3,32	1,12	47,30	0,14
Ananas méca. + billonné	An6	17,03***	6,58	2,80	ND	0,10

* taux d'azote total estimé à partir des analyses du sol superficiel en 03/1999

**échantillon de suspension en faible quantité et contaminé par grattage du piège à sédiments, lors des prélèvements d'eau

***An6 : contamination en K lors des analyses ?

ND : non déterminée

Les teneurs chimiques des suspensions varient fort d'un traitement à l'autre.

- Sur les "sols nus" (Nu1, Nu7 et Nu9), les teneurs en éléments chimiques sont généralement plus faibles que sur les traitements cultivés. Parmi les bases échangeables, le calcium est l'élément dominant : Ca=0,7 à 2 mé/100 g sol (tableau 4.94).

- Sur les trois cannes (Ca2, Ca8 et Ca10), les teneurs chimiques sont généralement plus importantes sur la parcelle (Ca2) que sur les deux autres. Les taux en calcium sont délicats à considérer car lors des prélèvements du peu d'eau ruisselée, nous avons sans doute contaminé les échantillons par de fines particules de ciment en raclant le fond du piège à sédiments.

- Sur les deux "bananeraies établies" (Ba3 et Ba4), les teneurs chimiques des suspensions sont analogues sauf pour le calcium beaucoup plus élevé en (Ba4) qu'en (Ba3) :

9 mé/100 g de sol contre 3 mé/100 g (tableau 4.94). Peut-être que cette différence est due aux chaulages de dolomie épandus beaucoup plus sur la parcelle (Ba4) que sur l'autre (Ba3).

- Sur les deux ananas (An5 et An6), la parcelle mécanisée et billonnée (An6) a des teneurs chimiques dans les suspensions plus élevées que celle paillée (An5). C'est aussi cette parcelle (An6) qui a les pertes en suspension les plus importantes parmi les traitements cultivés. On notera que lors des analyses chimiques, cet échantillon a peut-être été pollué en potassium et cela expliquerait la forte teneur obtenue (K=17 mé/100 g).

b) – Les teneurs chimiques dans les terres érodées

Comme les traitements paillés (ananas à plat (An5) et cannes (Ca2, Ca8 et Ca10) n'érodaient pas de sédiments grossiers, il n'y a donc pas eu d'analyse chimique.

Par contre, sur les autres traitements, nous avons fait des analyses sur quelques échantillons de terre érodée dont nous présentons les teneurs chimiques moyennes dans le tableau 4.95 (le détail des analyses de terre érodée est joint en annexe 10).

Tableau 4.95 – Teneurs chimiques moyennes dans les terres de fond des 6 parcelles durant les 2 campagnes de mesures cumulées.

Traitement		Teneurs des éléments chimiques				
		K (mé/100g)	Ca (mé/100g)	Mg (mé/100g)	P assimil (ppm)	N total (%)
<i>Campagnes 1999+2000</i>						
Sol nu	Nu1	1,70	4,51	0,91	19,83	0,15
	Nu7	1,36	5,22	1,16	35,65	0,16
	Nu9	1,53	6,88	1,19	49,03	0,18
Baneraie établie	Ban3	4,13	24,01	4,22	26,56	0,26
	Ban4	4,35	15,19	4,29	24,31	0,21
Ananas méca. + billonné	An6	2,73	11,05	2,35	33,38	0,18

On peut noter aussi que les sédiments grossiers sont en général plus riches chimiquement que leurs suspensions respectives quels que soient les traitements érodés (tableaux 4.94 et 4.95). De plus, les sédiments en suspensions fines représentent que 1 à 20% de l'érosion totale. Dans ce cas, on pourra estimer les pertes chimiques par érosion à partir de la composition chimique des sédiments grossiers.

Les teneurs chimiques varient d'un traitement à l'autre.

- Sur les "sols nus", les teneurs chimiques sont plus faibles que sous les cultures, à l'exception du phosphore assimilable (P). Parmi les cations échangeables, le calcium est l'élément le plus important suivi du potassium : Ca=4 à 7 mé/100 g sol et K=1 à 2 mé/100 g sol (tableau 4.95)

- Sur les deux "bananeraies établies", les teneurs chimiques sont comparables sur les deux parcelles (Ba3 et Ba4). Les taux en calcium sont les plus élevés de tous les échantillons : Ca=15 à 24 mé/100 g sol. Les éléments potassium et magnésium ont des teneurs comparables : K=4 mé/100 g sol et Mg=4 mé/100 g sol (tableau 4.95).

- Sur l'"ananas mécanisé et billonné", le calcium est aussi l'élément le plus abondant dans les sédiments grossiers (Ca=11 mé/100 g sol) et les autres bases échangeables (K) et (Mg) ont des teneurs voisines (K=3 mé/100 g sol et Mg=2 mé/100 g sol).

Conclusion

D'après les analyses, les suspensions et les agrégats érodés (terre de fond) ont une composition chimique assez comparable. On pourra donc estimer les pertes chimiques à partir des résultats établis sur les teneurs des nutriments des terres de fond (rapport (Susp/E)=1 à 20%). Cette composition chimique des sédiments érodés est assez voisine des teneurs en nutriments contenus dans le sol *in situ* (*rappel : K=0,9 mé/100 g sol, Ca=4,7 mé/100 g sol, Mg=1,9 mé/100 g sol, P assimbl=4,7 ppm, N total=0,17%*).

Il semble alors qu'ici, l'érosion hydrique soit non sélective.

Globalement sur les traitements cultivés s'érodant en 1999 et 2000, on constate qu'au niveau des bases échangeables, les teneurs des éléments s'ordonnent différemment de celles du ruissellement : $Ca > Mg$ et K .

Si l'on considère la valence de ces cations échangeables, il semblerait que les cations bivalents soient plus abondants dans les sédiments érodés tandis que le cation monovalent est plus abondant dans les eaux de ruissellement.

4.93 – Les pertes chimiques

Nous présenterons les pertes chimiques en surface (ruissellement et érosion) et en profondeur (lixiviation par drainage) pour l'ensemble des deux campagnes d'observation 1999 et 2000.

a) – Pertes chimiques en surface dans le ruissellement et l'érosion

Ces pertes chimiques sous forme soluble et solide sont estimées à partir des trois tableaux 4.92, 4.93 et 4.95 pour les 10 parcelles d'érosion.

- Pertes chimiques par le ruissellement

Les pertes chimiques dans les eaux de ruissellement sont présentées dans le tableau 4.96.

Tableau 4.96 – Pertes moyennes estimées en éléments chimiques par les eaux de ruissellement issues des 10 parcelles d'érosion (1999 et 2000).

Campagnes 1999+2000	LR	K	Ca	Mg	P assimbl	NH ₃	NO ₃	
Traitements	Parcelles	(mm)	(kg/ha/an)	(kg/ha/an)	(kg/ha/an)	(kg/ha/an)	(kg/ha/an)	
Sol nu	Nu1	158,5	1,16	1,73	0,05	0,12	1,06	0,08
Sol nu	Nu7	116,5	1,51	2,39	0,06	0,15	0,85	0,28
Sol nu	Nu9	96,1	0,86	1,15	0,05	0,15	0,70	0,51
Canne	Ca2	11,2	2,79	1,37	0,44	0,03	1,65	1,65
Canne	Ca8	12,6	2,86	1,70	0,34	0,06	0,80	0,80
Canne	Ca10	15,6	3,21	2,29	0,38	0,04	0,65	0,65
Bananeraie établie	Ba3	61,6	8,39	2,53	0,30	0,17	0,30	0,63
Bananeraie établie	Ba4	52,8	8,11	1,70	0,19	0,42	0,36	1,74
Ananas à plat + litière	An5	12,3	4,14	1,41	0,07	0,08	0,19	0,11
Ananas méca. +billonné	An6	256,9	27,30	19,01	3,06	0,79	1,81	15,18

Sur l'ensemble des traitements, on constate que les pertes chimiques solubles s'échelonnent de 0,03 à 27 kg/ha/an.

- Les trois "sols nus" ont des pertes chimiques par ruissellement comparables : en général, ces pertes en éléments solubles restent faibles (pour un élément, sa perte par le ruissellement est souvent inférieure à 3 kg/ha/an sauf pour le calcium en (Nu7)). Sur ces trois parcelles, les pertes en Ca sont les plus élevées, puis suivent celles en K (tableau 4.96).

- Pour tous les traitements cultivés, les pertes chimiques sont différentes et bien plus importantes que sur les "sols nus". En effet, les pertes en potassium sont de loin, les plus élevées, puis suivent celles en calcium : par exemple, sur la parcelle d'ananas billonné (An6), K=27 kg/ha/an et Ca=19 kg/ha/an. On notera que pour ces parcelles cultivées, les pertes en azote sont majoritairement sous la forme nitrate (NO₃) sauf pour les trois cannes. Parmi les traitements cultivés, "l'ananas mécanisé et billonné" (An6) est celui qui perd le plus de nutriments, puis suivent les deux "bananeraies établies" (Ba3 et Ba4) qui ont des pertes chimiques comparables. Ces traitements perdent beaucoup d'éléments car elles ont ruisselé beaucoup plus fréquemment que les cultures paillées (les trois cannes et l'ananas à plat).

- Pertes chimiques par érosion

Ces pertes chimiques dans les sédiments érodés sont indiquées dans le tableau 4.97.

Tableau 4.97 – Estimation des pertes moyennes des nutriments dans les sédiments érodés sur les 10 parcelles (campagnes 1999 et 2000).

Campagnes 1999+2000		E	K	Ca	Mg	P	N total
		(t/ha/an)	(kg/ha/an)	(kg/ha/an)	(kg/ha/an)	(kg/ha/an)	(kg/ha/an)
Sol nu	Nu1	85,8	56,89	77,39	9,37	1,70	128,7
Sol nu	Nu7	127,5	67,60	133,06	17,74	4,54	203,9
Sol nu	Nu9	147,4	87,95	202,82	21,05	7,23	265,3
Canne	Ca2	0,1	0,37	0,26	0,03	0,004	0,18
Canne	Ca8	0,1	0,08	0,37	0,01	0,002	0,13
Canne	Ca10	0,2	0,18	0,79	0,02	0,004	0,28
Bananeraie établie	Ba3	0,4	0,64	1,92	0,20	0,01	1,04
Bananeraie établie	Ba4	0,5	0,85	1,52	0,26	0,01	1,05
Ananas à plat + litière	An5	0,1	0,06	0,05	0,01	0,004	0,12
Ananas méca. + billonné	An6	17,2	18,26	37,90	4,84	0,57	30,9

D'après le tableau 4.97, les pertes chimiques par érosion varient de 0,01 à 265 kg/ha/an pour l'ensemble des parcelles d'érosion. Les pertes en azote total (N total) sont très élevées : d'ailleurs, elles sont d'autant plus importantes que les traitements subissent une forte érosion comme par exemple, les "sols nus" et "l'ananas mécanisé et billonné".

- Sur les trois parcelles (Nu1, Nu7 et Nu9), les pertes chimiques estimées sont plus importantes que sur les traitements cultivés car elles ont connu de forte perte en terre. En considérant les bases échangeables, les pertes en calcium sont les plus élevées, devant celles du potassium et du magnésium (tableau 4.97).

- Sur les traitements cultivés, les parcelles qui s'érodent le plus sont aussi celles qui perdent le plus de nutriments (par ordre croissant des pertes en nutriments : cannes ou ananas paillés < bananeraie établie < ananas mécanisé et billonné). Par ailleurs, les deux parcelles en banane (Ba3) et (Ba4) ont des pertes en nutriments comparables (bonne répétition des pertes estimées). Parmi les bases échangeables, les pertes en calcium sont les plus importantes, puis suivent celles du potassium devant le magnésium : par exemple, sur (Ba3) : Ca=1,9 kg/ha/an, K=0,6 kg/ha/an et Mg=0,2 kg/ha/an.

b) – Pertes chimiques par drainage à -60 cm sous des bananiers

Ces pertes en nutriments solubles par les eaux drainées sont établies à partir du tableau 4.93. Elles sont indiquées dans le tableau 4.98.

Tableau 4.98 – Pertes estimées en nutriments par le drainage à -60 cm sous des bananiers en place (campagnes 1999 et 2000).

Campagnes 1999+2000		Dr (mm)	K (kg/ha/an)	Ca (kg/ha/an)	Mg (kg/ha/an)	P (kg/ha/an)	NH ₃ (kg/ha/an)	NO ₃ (kg/ha/an)
Bananeraie établie	Lysi (A+B+A)	747,5	14,58	265,75	109,40	1,20	16,30	134,41
Bananeraie établie	Lysi (D+E)	565,2	15,85	191,27	62,70	1,33	5,51	118,88

On constate que les pertes en nutriments par drainage (ou lixiviation) sont comparables entre les deux niveaux à lysimètres (A+B+C) et (D+E) (tableau 4.98). Les pertes en nutriments par lixiviation sous bananiers sont bien plus élevées que celles entraînées en surface par le ruissellement. Parmi les cations échangeables, les pertes en calcium sont les plus grandes puis suivent celles du magnésium devant celles du potassium : Ca=191 à 266 kg/ha/an ; Mg=63 à 109 kg/ha/an et K=14 à 16 kg/ha/an.

Les risques de pollution chimique semblent alors plus forts par le drainage que par le ruissellement.

5 - DISCUSSION

5.1 – Les pluies

Les années 1999 et 2000 ont été plus sèches que la pluviosité annuelle moyenne de 1978 à 1998. Il y a eu peu de perturbations cycloniques importantes et la Martinique a été plutôt épargnée par les tempêtes violentes. En dépit de cela, nous avons pu correctement mettre en évidence la pluviosité et l'agressivité des pluies de la région centrale de l'île.

Sur les deux ans, l'île a connu en fin d'hivernage 1999, trois tempêtes tropicales importantes dont les intensités (I_{pmax30}) variaient de 37 à 76 mm/h pendant 30 minutes ; elles ont principalement été à l'origine de forts ruissellement et érosion enregistrés dans les parcelles. Pour le reste, la plupart des pluies ont eu des intensités (I_{pmax30}) inférieures à 37 mm/h.

L'hivernage est par ailleurs la période où les risques d'érosion sont les plus fréquents car la saison humide subit non seulement une pluviosité accrue, mais aussi beaucoup plus de pluies agressives (figure 5.1).

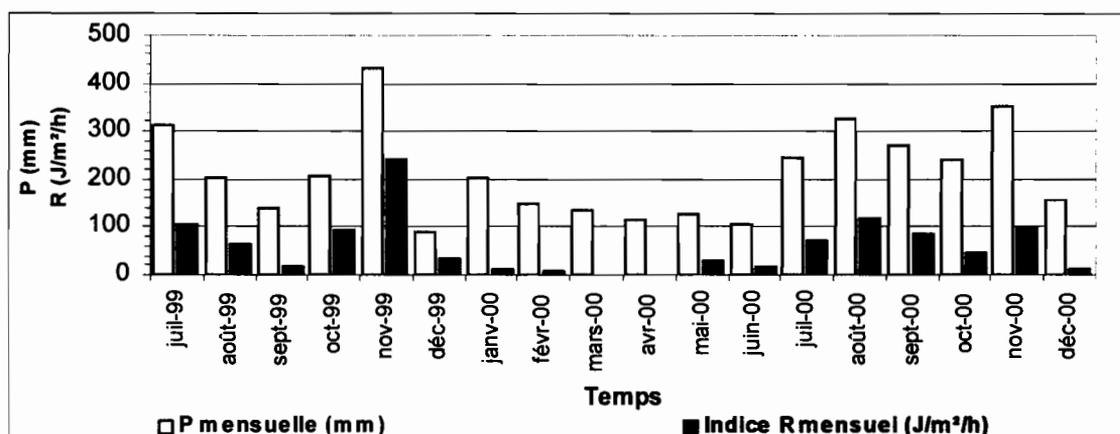


Figure 5.1 - Répartition mensuelle des cumuls de l'intensité maximale en 30 minutes (I_{pmax30}) et de l'indice d'agressivité (R) des pluies de 2000 à RLZ.

L'indice annuel R de 1999 et 2000 ainsi que celui établie sur la période de 1978 à 1998 indiquent une agressivité des pluies spécifique de la zone tropicale humide, avec un R appartenant à l'intervalle de R_{USA} allant de 500 à 1200 (NB : $R = 1,735 \times R_{USA}$).

Le rapport indice R sur la pluie annuelle P de 1999 et 2000 est bien plus faible que la moyenne établie sur 20 ans et il se situe entre 0,2 et 0,3. Or, généralement, ces valeurs sont caractéristiques des zones de montagnes tropicales selon ROOSE (1977).

L'absence relative de fortes tempêtes tropicales favoriserait donc l'expression du climat tropical de montagnes et cela coïncide bien avec le relief volcanique et accidenté, très caractéristique de l'île.

Tableau 5.1 – Rapport de l'indice d'agressivité R sur la pluie annuelle P de 1999 et 2000 et comparaison avec le rapport établi sur 20 ans.

Année	Pluie annuelle P (mm)	Indice d'agressivité R (J/m²/h)	Rapport R/P
1978-98	2419,7	915,3	0,37
1999	2110,4	569,1	0,3
2000	2333,3	523,5	0,2

La relation entre agressivité et hauteur de pluie quotidienne est très significative ($R^2=0,89$ pour $N=69$) et elle est linéaire suivant l'équation : $y = 0,9939x - 13,655$ où $y =$ indice R et $x =$ hauteur pluie (cf. figure 4.2 dans le chapitre 4). L'estimation statistique de l'agressivité des averses semble donc possible localement à partir de la hauteur d'eau tombée. Cette régression linéaire entre l'indice d'agressivité R et la hauteur de pluie journalière H rappelle celle démontrée antérieurement par d'autres auteurs en Afrique occidentale (CHARREAU, 1970 ; DELWAULLE, 1973 ; ROOSE, 1973 ; DIALLO, 2000).

5.2 – Le ruissellement

Les paramètres du ruissellement (P_i , LR, Kram et K_{rmax}) varient en fonction des traitements et des parcelles : P_i varie de 12 à 93 mm sur sol sec, LR vaut entre 0,1 et 361 mm, et K_{rmax} peut atteindre 69%.

Les 10 parcelles ruissellent d'autant plus facilement et abondamment que leurs traitements sont plus sensibles à la pluviosité, comme le montre la relation entre les pluies érosives cumulées (P_e) et les lames ruisselées (LR) (figure 5.2). En outre, les traitements ayant une grande sensibilité à ruisseler coulent aussi plus abondamment : en effet, nous avons constaté qu'il y a une relation positive entre les deux coefficients de ruissellement annuel moyen (Kram) et maximal journalier (K_{rmax}) (cf. figure 4.7 du chapitre 4).

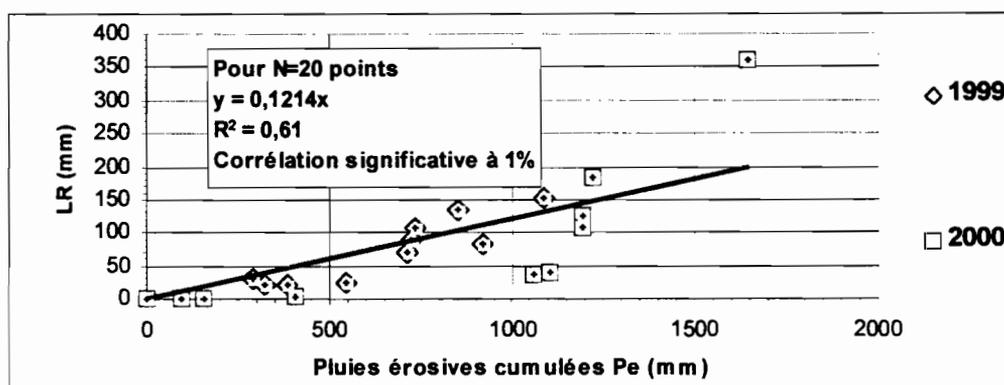


Figure 5.2 – Relation entre pluies érosives cumulées (P_e) et ruissellement (LR) sur les 10 parcelles d'érosion (campagnes 1999 et 2000).

Parmi tous les traitements, il y a trois comportements face aux pluies érosives (figure 5.3) :

- les parcelles qui ruissellent très peu (traitements paillés : An5, Ca2, Ca8 et Ca10);
- celles qui coulent modérément (les deux "bananeraies établies" : Ba3 et Ba4);
- et celles qui ont un ruissellement fréquent et important (traitements "sol nu" Nu1, Nu7 et Nu9 et "ananas mécanisé et billonné" An6).

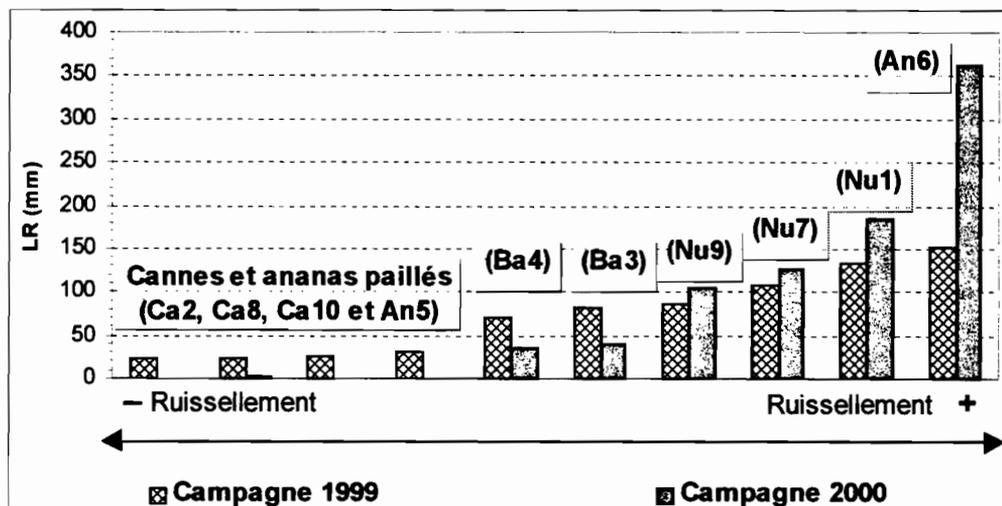


Figure 5.3 – Comportement des 10 parcelles face au ruissellement durant les deux campagnes 1999 et 2000.

Ces trois comportements se manifestent notamment à travers la hauteur de la pluie d'imbibition sur sol sec (Pi sec) qui est un bon indicateur du ruissellement d'après la corrélation très significative obtenue sur les 20 résultats des années 1999 et 2000 (figure 5.4).

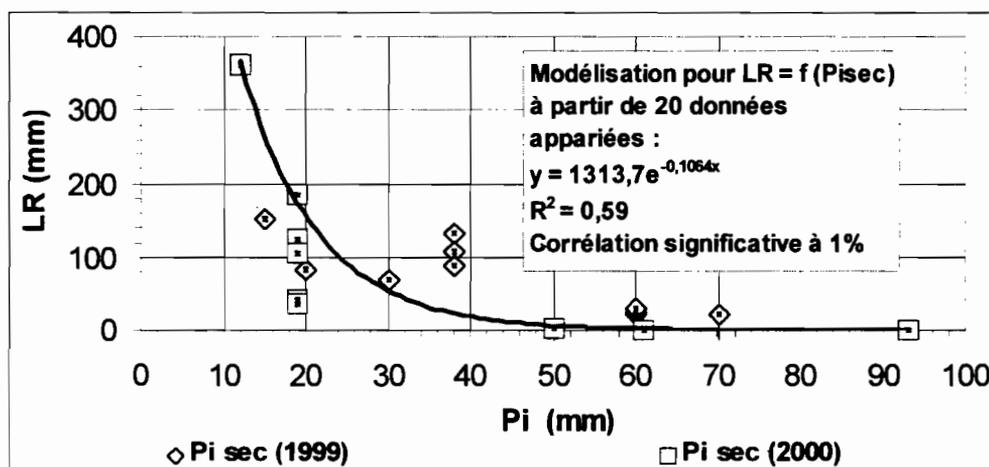


Figure 5.4 - Relation entre pluie d'imbibition sur sol sec (Pi sec) et ruissellement (LR) des 10 parcelles d'érosion (campagnes 1999 et 2000).

En effet, nous avons constaté que les traitements qui ruissellent tardivement (Pi élevée) ont une lame ruisselée (LR) faible (parcelles An5, Ca2, Ca8 et Ca10) tandis que les traitements qui coulent rapidement et fréquemment (Pi faible) présentent systématiquement une lame ruisselée (LR) élevée (parcelles An6, Nu1, Nu7 et Nu9).

Nous verrons ultérieurement que ces variations du ruissellement pourraient être liées aux surfaces couvertes (litière + adventices + couvert végétal + cailloux) (cf. § 5.6 - Recherche de facteurs explicatifs du ruissellement et de l'érosion).

Nous avons cherché parmi les études en parcelle d'essai des comparaisons du ruissellement sur des traitements analogues. Pour l'instant, il existe pas d'études similaires dans les Antilles françaises (CABIDOCHÉ, 1999) et la plupart des travaux traitant de l'érosion de cultures analogues ont été réalisés en Afrique ou en Equateur.

a) - Traitement "sol nu" (Nu1, Nu7 et Nu9)

Sur nos parcelles "sol nu" situées sur trois pentes différentes, le ruissellement (LR, Kram ou K_{rmax}) diminue quand la pente augmente, tant pour les mesures de 1999 que celles de 2000 : par exemple en 2000, Kram décroît de 8% à 4,5% depuis les pentes moyenne (p=11%) à forte (p=40%). L'effet de la pente sur le ruissellement s'observe donc bien sur le sol brun rouille à halloysite.

En Côte d'Ivoire, sur un sol ferrallitique à Adiopodoumé, ROOSE (1973) a mesuré sur des parcelles d'érosion les comportements des traitements similaires face au ruissellement. Il démontre que sur sol dénudé, le ruissellement diminue avec l'augmentation de la pente : le coefficient de ruissellement annuel moyen (Kram) baisse de 37% à 25% des pentes faible (p=5%) à forte (p=20%). De même, le coefficient de ruissellement maximal (K_{rmax}) diminue lui aussi de 71% à 65%.

D'autres auteurs avaient aussi souligné cette relation entre ruissellement et pente en Afrique occidentale (ROOSE, 1980) et en Afrique du Nord (HEUSCH, 1971 ; ROOSE et al., 1993).

HEUSCH (1971) explique d'ailleurs que plus la pente est forte, plus l'eau circule rapidement à l'intérieur du sol. Ce processus permet au sol d'absorber à nouveau de l'eau avant la saturation de la porosité : les parcelles sur forte pente et au sommet des versants ruissellent donc moins que celles situées en bas de pente (moins drainant).

Par ailleurs, les ruissellements annuels moyens (Kram) observés sur le sol brun rouille à halloysite sont bien inférieurs à ceux des sols ferrallitiques de Côte d'Ivoire. Peut-être cette différence est-elle due aux constituants minéraux du sol d'origine volcanique qui lui confèrent une plus grande résistance au ruissellement et une excellente agrégation (*cf. § 4.7 – Un test de stabilité structurale comme indicateur de l'érosion*).

b) - Traitement "bananeraie établie" (Ba3 et Ba4)

A RLZ, nous avons observé que sous "bananeraies établies" (Ba3 et Ba4), le ruissellement atteint 36 à 83 mm, soit près de 2% à 4% de la pluviosité annuelle. Sous une tempête tropicale (le 29/11/1999 : P=190 mm et I_{pmax30}=76 mm/h), le ruissellement est maximal sur ces parcelles d'érosion et il peut représenter près de 40% de la pluie tombée (K_{rmax}=36 à 40% en 1999).

En Afrique occidentale, sur des parcelles d'érosion situées sur une faible pente (p=7%) et portant des bananiers avec paillis, ROOSE (1973) a estimé les coefficients de ruissellement Kram=0,5% et K_{rmax}=4%. Sur une pente plus forte (p=14%) à la station IRFA d'Azaguié (P=1450 à 2050 mm/an), le ruissellement annuel moyen (Kram) sous bananeraie peut atteindre 5% à 12% et le ruissellement maximal (K_{rmax}) s'élève de 25% à 74% (ROOSE et GODEFROY, 1977).

Plus récemment, sur des parcelles d'essai en région Kirimiro-Burundi en Afrique orientale (P=1100 à 1300 mm/an), RISHIRUMUHIRWA (1997) note des coefficients de ruissellement (Kram) et (K_{rmax}) variant avec le mode de paillage et la densité de plantation des bananiers plantains : (Kram) varie de 0,7% à 6,2% et (K_{rmax}) de 1% à 45% respectivement sous bananeraie à paillis complet et sous bananiers plantés en 5 x 3 m (fort écartement et paillage estimée < 30% de la surface parcellaire).

Bien qu'étant sous une pluviosité annuelle plus importante (P=2000 à 2500 mm/an), les résultats obtenus sous "bananeraie établie" en Martinique sont donc comparables à ceux observés en Afrique.

c) - Traitement en canne à sucre avec paillis (Ca2, Ca8 et Ca10)

Les parcelles de cannes ont très rarement ruisselé et elles n'ont coulé que suite à de violentes tempêtes tropicales en 1999. Généralement, le ruissellement annuel moyen (K_{ram}) ne dépasse pas 2% et le ruissellement maximal (K_{rmax}) atteint près de 12 à 16%. Ces parcelles de cannes avec paillage semblent donc se comporter au niveau du ruissellement comme un traitement avec une plante de couverture en 2^{ème} année ($K_{ram}=1\%$ et $K_{rmax}=8\%$ selon ROOSE (1973)) ou des bananeraies à paillis complet observées au Burundi (RISHIRIMURIWA, 1997).

d) - Traitements "ananas à plat avec paillis" (An5) et "ananas mécanisé et billonné" (An6)

La parcelle en ananas avec paillis (An5) est comparable au traitement de canne : elle ruisselle rarement et seulement sous de très fortes pluies. Ses paramètres de ruissellement ($K_{ram}<4\%$) et ($K_{rmax}=12\%$) sont de même ordre de grandeur que ceux trouvés sous la canne à sucre paillée. C'est donc un traitement cultural peu ruisselant.

Par contre, "l'ananas mécanisé et billonné" (An6) – la parcelle qui ruisselle le plus – présente un ruissellement annuel moyen souvent 7 fois (voire 15 fois) supérieure à l'ananas planté à plat avec paillis. Ces fortes valeurs observées en (An6) ($K_{ram}=7$ à 15% et $K_{rmax}=34$ à 69% respectivement en 1999 et 2000) sont analogues aux résultats trouvés par ROOSE (1973) sur des parcelles d'ananas plantés sur une pente similaire à 7% ($K_{ram}=14\%$ et $K_{rmax}=51\%$).

5.3 – L'érosion hydrique

Pour ce qui concerne les observations de 1999 et 2000, nous avons relevé que la perte en terre annuelle variait considérablement d'un traitement à l'autre et qu'elle pouvait atteindre 0,1 à 165 t/ha/an (figure 5.5). Cette érosion pourrait être liée à l'agressivité des pluies et au ruissellement (nous verrons ultérieurement les facteurs explicatifs de l'érosion (cf. § 5.6 – Recherche de facteurs explicatifs du ruissellement et de l'érosion).

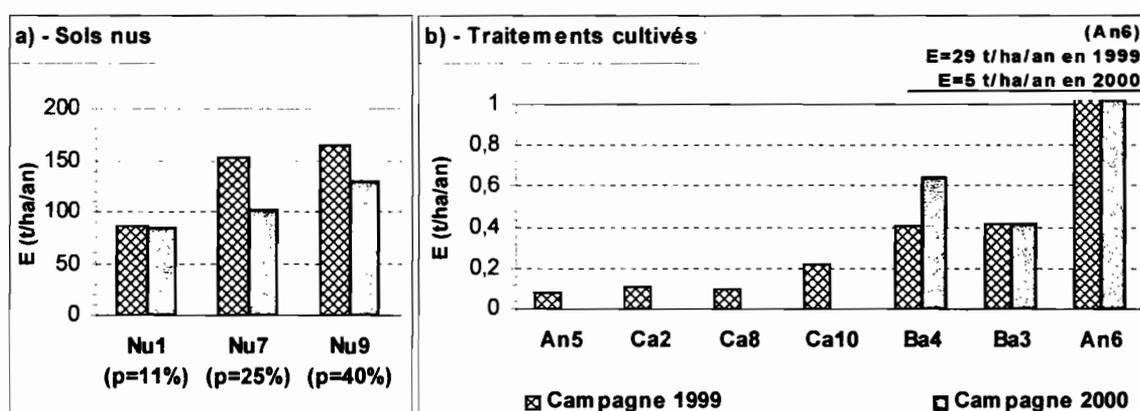


Figure 5.5 – Erosion mesurée sur les 10 parcelles expérimentales en 1999 et 2000 à RLZ : a) – sols nus et b) – traitements cultivés.

Cette perte en terre (E) est évidemment plus élevée sur sol dénudé que sous culture et nous proposons de discuter séparément le traitement "sol nu" des autres mis en culture.

a) - Traitement "sol nu" (Nu1, Nu7 et Nu9)

Ce traitement "sol nu" est une référence définie par les études sur l'érosion en nappe et en rigoles (WISCHMEIER et SMITH, 1958). Il sert à estimer l'érodibilité du sol ou son comportement face à l'agressivité des pluies et du ruissellement.

Sur sol nu situé sur une pente linéaire, les pluies érosives provoquent d'autant plus d'érosion que la parcelle ruisselle beaucoup : la perte en terre augmente donc significativement avec le ruissellement comme souligné chez ROOSE (1977). A titre d'exemple, la figure 5.6 illustre cette relation entre perte en terre et ruissellement observés sur la parcelle (Nu1) située sur une pente assez forte (p=11%). Nous n'avons pas pu dresser de relation aussi nette sur les autres parcelles en sol nu (Nu7 et Nu9) car la courbe entre érosion (E) et lame ruisselée (LR) est incomplète : la répartition du nuage de points n'est pas homogène. Ceci s'explique par les deux campagnes de mesures constituées en majorité de petites pluies (P<40 mm) et d'un événement exceptionnel (P=190 mm).

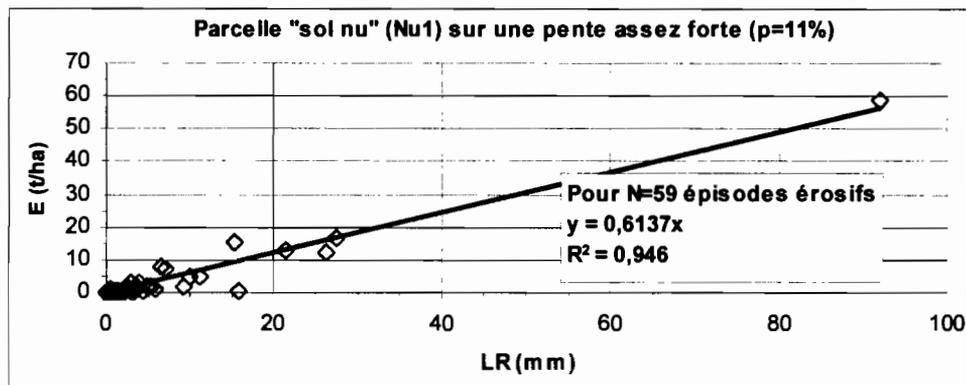


Figure 5.6 – Relation entre lame ruisselée journalière (LR) et érosion (E) observées sur le sol nu (Nu1) situé sur une pente p=11% (Campagnes de 1999 et 2000 : 59 pluies érosives).

Par ailleurs, sur les campagnes de 1999 et 2000, l'érosion (E) des sols dénudés augmente considérablement avec l'inclinaison de la pente (p). Cette relation entre érosion et pente semble plutôt linéaire, malgré que nous n'ayons pas obtenu de corrélation significative (seulement deux années de mesures et peu de situation variée) (figure 5.7).

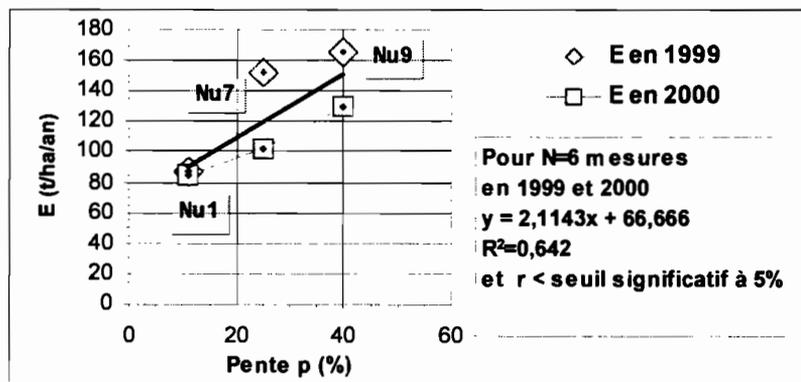


Figure 5.7 – Evolution de l'érosion (E) en fonction de la pente sur les 3 "sols nus" durant les mesures de 1999 et 2000.

De nombreux auteurs ont montré que les pertes en terre augmentent de façon exponentielle avec l'inclinaison de la pente, notamment sur les sols des Etats-Unis (ZINGG, 1940) ou en-

core sur des sols ferrallitiques en Afrique (HUDSON et JACKSON, 1956 ; ROOSE, 1973 ; LAL, 1976).

Notre relation linéaire entre perte en terre (E) et pente (p) s'expliquerait peut-être par une bonne stabilité structurale et une grande résistance du sol à l'érosion hydrique due probablement à son origine volcanique (cf. § 5.4 – *Recherche des facteurs de l'USLE* ; § 5.7 – *Stabilité structurale*).

Par ailleurs, l'influence de la pente sur l'augmentation de l'érosion et sur la baisse du ruissellement tend à montrer qu'il y a un changement de processus érosif en allant des pentes modérée à forte (p=10% à 40%). En effet, lorsque la pente croît, le transport des sédiments s'accélère car l'énergie cinétique du ruissellement augmente tandis que l'agressivité des pluies reste constante. Par conséquent, il semblerait qu'en situation de forte pente, une faible lame d'eau ruisselant permettrait d'évacuer plus de sédiments hors parcelle qu'en situation de pente modérée. Cela contribuerait également à maintenir une meilleure infiltration sur forte pente, par le décapage d'éventuels encroûtements (HEUSCH, 1971 ; ROOSE et al., 1993).

L'érosion hydrique jusqu'alors provoquée par l'agressivité de la pluie et du ruissellement sur une pente modérée (érosion en nappe et rigoles) devient donc une érosion provoquée essentiellement par le ruissellement sur une pente forte (érosion en rigoles et en reptation). L'évolution des états de surface permet d'ailleurs de se rendre compte des traces du ruissellement car en fin de saison des pluies, pratiquement 40% de la surface parcellaire des "sols nus" est marquée de rigoles (cf. figure 4.62 du chapitre 4).

Par comparaison avec d'autres travaux sur l'érosion de sols volcaniques, les pertes en terres observées sur "sol nu" à RLZ sont assez semblables (E=84 à 165 t/ha/an).

Dans les Andes équatoriales, DE NONI et al. (1984 et 1986) ont estimé en parcelle de type WISCHMEIER (50 m²), des pertes en terre de l'ordre de 314 à 204 t/ha/an sur des sols noirs limono-argileux, peu épais et formés sur une couche de cendre indurée "*Cangahua*" à 26% de pente ou encore une érosion de 71 à 58t/ha/an sur des sols sablo-limoneux formés sur des projections volcaniques à 35% de pente. Selon ces auteurs, ces pertes en terre considérables sont dues à l'irrégularité inter annuelle des manifestations érosives (DE NONI et al., 1984 et 1985). D'ailleurs, leurs études en stations expérimentales dans les hautes terres andines (vers 3000 m d'altitude) démontrent que l'érosion, variant d'une année à l'autre de près de 13 à 83 t/ha/an sur 20% de pente ou encore de 6 à 97 t/ha/an sur 40% de pente, s'expliquerait par la violence brusque des pluies (intensités maximales des pluies en 15 minutes). Il ressort qu'une seule averse à caractère exceptionnel peut provoquer plusieurs tonnes de perte en terre (DE NONI et al., 1989).

Dans notre situation (sol nu), les pluies exceptionnelles ont provoqué aussi des pertes considérables, mais celles-ci sont entretenues aussi par des averses modérées (exemple : observations en 2000, sans tempête tropicale violente).

b) - Traitements cultivés

Parmi les traitements cultivés, il y a trois comportements différents face à l'érosion hydrique :

- les parcelles en "bananeraie établie" s'érodant peu (Ba3 et Ba4),
- les parcelles portant des traitements paillés et protégés de la perte en terre (Ca2, Ca8, Ca10 et An5)
- la parcelle en "ananas mécanisé et billonné" à forte érosion (An6) (figure 5.5).

- "Bananeraie établie" (Ba3 et Ba4)

En "bananeraie établie", les deux parcelles (Ba3) et (Ba4) ont eu des pertes en terre comparables et faibles selon les observations de 1999 et 2000 ($E=0,4$ à $0,6$ t/ha/an). Les deux répétitions (Ba3) et (Ba4) se comportent donc de façon analogue face aux pluies érosives.

Cette faible érosion est due à l'organisation des résidus en bandes (ou andins) perpendiculaires à la plus grande pente comme l'a démontré RISHIRIMUHIRWA (1997) au Burundi. Selon cet auteur, l'organisation du paillage en bande a fait chuter l'érosion de 13 ou 47 t/ha/an à 1 ou 2,5 t/ha/an suivant la distance d'écartement entre bananiers. En outre, il a mesuré une perte en terre de près de 0,04 t/ha/an pour une bananeraie sous paillage complet et située sur une pente de 10% (RISHIRIMUHIRWA, 1997).

En Côte d'Ivoire, sur des parcelles d'érosion portant une bananeraie avec paillis complet située sur une pente modérée ($p=7\%$), la perte annuelle moyenne en terre est de l'ordre de 0,04 t/ha/an (ROOSE, 1977).

Cette faible érosion est donc due au mode de paillage qui s'avère très efficace pour la lutte anti-érosive (ROOSE, 1977 ; LAL, 1979 ; DUCHAUFOR et al., 1991).

Sur ce traitement cultivé situé sur une pente modérée ($p=11\%$), l'érosion bien que faible, augmente avec le ruissellement, comme le montre la régression entre lame ruisselée (LR) et perte en terre (E) mensuelles (figure 5.8). Notons que cette relation mensuelle pourrait être davantage affinée en poursuivant les observations sur une période plus longue (plus de 3 ans d'observation).

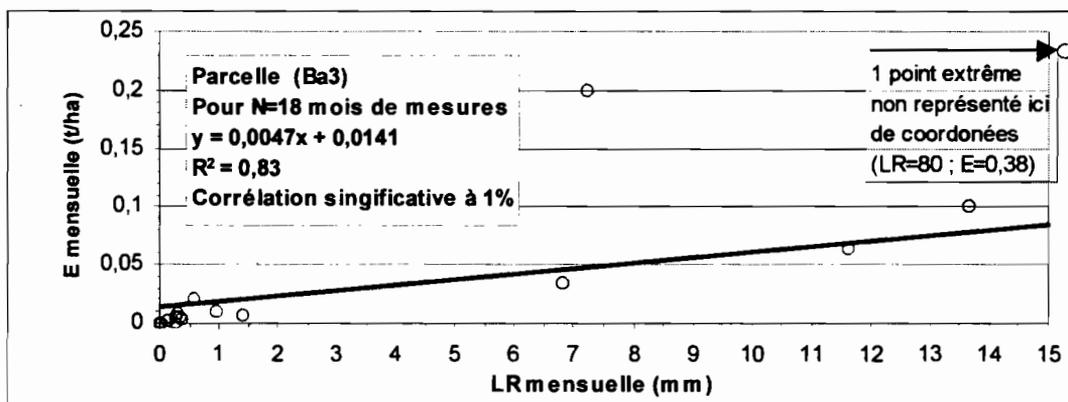


Figure 5.8 – Relation entre érosion (E) et ruissellement (LR) cumulés mensuellement sur la "bananeraie établie" (Ba3) (du 07/1999 au 12/2000).

Le rapport (Susp/E) observé sous "bananeraie établie" varie de 10% à 20%. Il est bien plus élevé que sur les "sols nus" car la faible perte en terre mesurée sur ce traitement se fait souvent sous forme de particules fines (suspensions).

C'est seulement lors d'événements exceptionnels (tempêtes tropicales) que les sédiments grossiers sont évacués par le ruissellement. L'efficacité du paillage en bandes contre l'érosion se reflète donc bien à travers ce rapport (Susp/E).

- Les traitements en canne et en ananas avec paillis (Ca2, Ca8, Ca10 et An5)

Les parcelles paillées "canne" et "ananas à plat" ne perdent pratiquement pas de terre ($E < 500$ kg/ha/an). C'est seulement lors de tempêtes tropicales qu'elles s'érodent, et ce, essentiellement sous forme de suspensions entraînées par le ruissellement. C'est pourquoi leurs rapports (Susp/E) atteignent près de 100%.

Cette très faible érosion résulte très probablement d'une bonne couverture au sol fournie par les résidus des cultures précédentes (bananiers en 1999, canne ou ananas en 2000). ROOSE (1994) souligne que l'effet de la litière sur la diminution de l'érosion est très rapide : en recouvrant une parcelle à 20% de sa surface par la litière, l'érosion est réduite de 40%.

Or ici, les résidus tantôt mis perpendiculaires à la pente (cas des parcelles de canne) tantôt parallèles à celle-ci (cas de l'ananas à plat) dans les inter - rangs recouvrent près de 60 à 90% de la surface parcellaire. L'érosion observée est évidemment très faible.

Par ailleurs, les résultats indiquent qu'*a priori* ces traitements paillés se comportent au niveau de l'érosion comme un système de culture associant des plantes de couvertures. En effet, les pertes en terre de nos parcelles paillées sont de même ordre de grandeur que celle observée par ROOSE (1977) sur des plants de couverture : $E=0,3$ t/ha/an.

- Le traitement "ananas mécanisé et billonné" (An6)

Parmi tous les systèmes de culture proposés, le traitement "travail du sol énergique suivi du billonnage" (An6) est celui qui est le plus sensible aux pluies érosives. Cette parcelle ruisselle fréquemment et perd beaucoup de terre, plus particulièrement lors de la première année de culture ($E=29$ t/ha/an). Cette grande perte en terre durant 1999 est peut-être due à la préparation mécanisée du sol (tassement et billonnage) et à une exposition de la parcelle aux pluies (les ananas développaient un couvert végétal peu efficace, ne couvrant que de 30% à 40% de la surface parcellaire en juin 1999 (figure 4.67 du chapitre 4)).

Au cours de la deuxième année d'observation, l'érosion annuelle est bien plus faible en raison d'une pluviosité moins agressive ($R=523$ J/m²/h en 2000 contre $R=569$ J/m²/h en 1999) et surtout d'un taux de couverture (S.C.) ou de la canopée des ananas bien plus importante – et par conséquent plus efficace – malgré le soin apporté pour tailler les ananas et ramener leur surface foliaire au même stade initial (S.C.=60% en août 2000 contre S.C.=40% en juin 1999).

Cette diminution de l'érosion sous culture d'ananas est décrite par ROOSE (1977) sur un sol ferrallitique en Côte d'Ivoire. Sur des ananas plantés à plat et situés sur une pente similaire ($p=7\%$), l'auteur a mesuré des taux d'érosion annuels de 8 à 20 t/ha/an la première année de culture, puis des taux de 0,1 à 0,3 t/ha/an en deuxième cycle. Par comparaison, l'érosion observée sur notre parcelle billonnée dans le sens de la pente est bien plus élevée qu'en Côte d'Ivoire. La préparation lourde et le billonnage dans le sens de la pente semblent très certainement favoriser le ruissellement et l'érosion hydrique.

Ce traitement en ananas fait partie des systèmes de culture les plus sensibles aux problèmes d'érosion (surtout à la première année après plantation) au même titre que le maïs billonné ($E=92$ t/ha/an en moyenne) et l'arachide ($E=82$ t/ha/an en moyenne) selon ROOSE (1977).

Par ailleurs, dans les îles volcaniques d'Hawaï, l'ananas fait partie des cultures les plus exposées au risque d'érosion hydrique. Des auteurs ont mesuré une perte en terre d'environ 7 t/ha/an à partir d'un dispositif en micro - bassin versant portant des sols sur cendres volcaniques cultivés en ananas (WINSCHESTER CHROMECC et *al.*, 1989).

5.4 – Caractérisation de l'érosion hydrique

Nous avons défini les caractéristiques de l'érosion hydrique sur les traitements ayant subi de forte perte en terre : "sol nu" (Nu1, Nu7 et Nu9) et "ananas mécanisé et billonné" (An6). Elles se manifestent à travers le tamisage à l'eau des sédiments érodés, l'état de surface des sols nus ou encore le rapport (Susp/E).

Le tamisage à l'eau des échantillons de terre érodée a prouvé que les sédiments étaient constitués de 74 à 84% de macroagrégats ($\varnothing > 0,2$ mm) ; la proportion d'éléments fins ($\varnothing < 0,2$ mm), quant à elle reste inférieure à 25%. Le sol brun rouille à halloysite est donc très résistant à la battance de la pluie car les sédiments érodés sont en majorité des agrégats. La composition de la terre érodée permet en outre de constater l'importance de la capacité de transport du ruissellement parcourant la surface du sol. Il ressort que l'érosion hydrique observée n'est pas sélective.

De plus, l'état de surface des "sols nus" a permis de voir que les parcelles étaient de plus en plus entaillées par les chemins d'eau durant la saison des pluies et à la fin des observations 1999 et 2000, les rigoles occupaient près de 40% de la surface parcellaire. L'érosion non sélective est alors une "érosion en nappes et en rigoles".

Par ailleurs, sur ces quatre parcelles, le très faible rapport (Susp/E) montre que la majorité des les sédiments érodés est constituée de macroagrégats (rapport (Susp/E) < 4%).

Tous ces résultats démontrent que l'érosion hydrique observée est non sélective et que le ruissellement a une grande capacité de transport provoquant ainsi la perte des macroagrégats.

Par ailleurs, nous avons vu précédemment sur les "sols nus" que le processus d'érosion change quand la pente augmente, notamment avec un ruissellement plus incisif. Il ressort que l'érosion non sélective "en nappe et rigoles" observée sur pente modérée (p=11%-25%) devient une érosion "en rigoles et en reptation" (ou "Creeping") sur forte pente (p=40%).

5.5 – Détermination des facteurs de l'équation U.S.L.E.

Notre étude repose depuis le départ sur les travaux de WISCHMEIER et SMITH (1958) qui proposent un modèle empirique de l'érosion hydrique suivant une équation multiplicative appelée U.S.L.E. (pour "universal soil loss equation") combinant plusieurs facteurs.

$$E = R * K * SL * C * P$$

où

- E = érosion annuelle (t/ha/an)
- R = indice annuel d'agressivité de la pluie (J/m²/h ou t/ha/an)
- K = indice d'érodibilité du sol
- SL = facteur topographique combinant inclinaison et longueur de la pente
- C = facteur du couvert végétal
- P = facteur de la pratique culturale employée

Par conséquent, nous nous proposons de déterminer ces différents facteurs à partir des 10 parcelles expérimentales. Nous combinerons les facteurs C et P dans notre cas, car le couvert végétal et la pratique culturale sont très liés.

a) – Détermination de l'indice d'érodibilité K à partir des "sols nus"

Généralement, cet indice K qui varie de 0,01 à 0,7 permet de définir le comportement du sol face à l'agressivité des pluies : les sols fragiles ou sensibles à l'érosion affichent un indice K proche de 0,7 tandis que les sols bien structurés et résistants à l'érosion ont un indice K près de 0,01 (BOLLINE et ROUSSEAU, 1978 ; ROOSE, 1973 et 1980 ; ROOSE et SARRAILH, 1989).

Défini au préalable à partir du nomogramme de WISCHMEIER et al. (1971), nous avons estimé l'indice d'érodibilité du sol K' des trois parcelles : K'=0,10 en (Nu1), K'=0,08 en (Nu7) et K'=0,08 (Nu9).

A partir de nos résultats en parcellé d'érosion, nous avons cherché à déterminer l'indice d'érodibilité du sol K afin de comparer au K' du nomogramme.

Sur "sol nu", l'équation U.S.L.E. se simplifie car le facteur CP est égal à 1 : $E=R*K*SL$.

Connaissant les pentes des trois parcelles d'érosion (longueur fixe L=21 m et inclinaisons 11%, 25% et 40%), nous déterminons le facteur SL d'après l'abaque de WISCHMEIER et SMITH (1978).

Les différents paramètres de l'équation sont présentés dans le tableau 5.2

Tableau 5.2 – Détermination de l'indice d'érodibilité du sol K sur les 3 sols nus (Nu1, Nu7 et Nu9) pour les deux campagnes 1999 et 2000.

Parcelles	Indice R	E	Indice SL*	Indice K
<i>Campagne 1999</i>	(t/ha/an)	(t/ha/an)		
Nu1 (p=11%)	569	86,8	1,3	0,12
Nu7 (p=25%)	569	152,8	5	0,05
Nu9 (p=40%)	569	165,1	11	0,03
<i>Campagne 2000</i>				
Nu1 (p=11%)	523	84,8	1,3	0,12
Nu7 (p=25%)	523	102,1	5	0,04
Nu9 (p=40%)	523	129,7	11	0,02

* indice SL déterminé selon l'abaque de WISCHMEIER et SMITH (1978)

D'après ce tableau 5.2, l'indice K déterminé sur parcelles d'érosion est comparable d'une année à l'autre ; cet indice K est faible : $K < 0,12$. Son estimation K' sur le nomogramme correspond donc assez à l'indice K mesuré en parcelle d'érosion. Par conséquent, le sol brun rouille à halloysite est classé parmi les sols très résistants à la battance de la pluie. Par comparaison avec les déterminations de l'érodibilité des sols africains, l'indice K de ce sol volcanique se rapproche de celui des vertisols estimés à partir de simulation de pluie ($K=0,01$ à $0,10$) (ROOSE et SARRAILH, 1989).

Cet indice K diminue de 0,12 à 0,03 quand la pente augmente. Il montre alors que le sol deviendrait plus résistant lorsque la pente croît. Cela peut paraître paradoxal car nous avons précédemment souligné que l'érosion augmentait avec la pente. Mais en considérant le changement du processus érosif provoqué par la forte pente (ruissellement plus incisif et érosion par reptation), il apparaît évident que la perte en terre est bien plus élevée.

Notons nous avons souligné également l'augmentation de la stabilité structurale de ce sol avec la pente d'après les résultats du test de LE BISSONNAIS (cf. figure 4.73 au chapitre 4).

b) – Détermination du coefficient CP sur les traitements cultivés

Nous pouvons définir le facteur CP (variant de 0 à 1 généralement) d'après l'indice K déterminée sur les "sols nus" :

$$CP = E/(R*SL*K).$$

Le tableau 5.3 présentent le facteur CP des différents traitements cultivés.

Tableau 5.3 – Estimation du coefficient CP des traitements cultivés (campagnes 1999 et 2000).

Traitements	Parcelles	E (t/ha/an)	CP
<i>Campagne 1999</i>			
Canne	Ca2 (p=11%)	0,11	0,001
Canne	Ca8 (p=25%)	0,10	0,001
Canne	Ca10 (p=40%)	0,22	0,001
Bananeraie établie	Ba3 (p=11%)	0,40	0,005
Bananeraie établie	Ba4 (p=9%)	0,40	0,006
Ananas à plat + paillis	An5 (p=9%)	0,08	0,001
Ananas méca.+ billonné	An6 (p=7%)	29	0,61
<i>Campagne 2000</i>			
Canne	Ca2 (p=11%)	0,0004	0,00...
Canne	Ca8 (p=25%)	0,0004	0,00...
Canne	Ca10 (p=40%)	0,00...	0,00...
Bananeraie établie	Ba3 (p=11%)	0,40	0,005
Bananeraie établie	Ba4 (p=9%)	0,60	0,001
Ananas à plat + paillis	An5 (p=9%)	0,001	0,00...
Ananas méca.+ billonné	An6 (p=7%)	5,3	0,12

D'après le tableau 5.3, les facteurs CP déterminés sur les traitements sont comparables d'une campagne à l'autre. A l'exception de (An6), ce facteur est très proche de 0,001 pour l'ensemble des parcelles cultivées. Ce facteur illustre bien l'efficacité du paillage contre la perte en terre.

Au niveau de l'ananas (An6), le coefficient CP diminue de 1999 à 2000 en raison du couvert végétal des plants, bien plus développés en deuxième cycle.

Dans les îles d'Hawaï, EL-SWAIFY et al. (1982) ont estimé des coefficients du couvert végétal C moyens de l'ordre de 0,11 à 0,29 pour les cultures de canne à sucre irriguées et de près de 0,17 à 0,31 pour l'ananas. Par comparaison, le coefficient CP moyen de (An6) est du même ordre que ceux des ananas plantés dans les îles d'Hawaï (CP moyen=0,36). L'effet du couvert végétal des ananas sur l'érosion semble donc similaire d'une latitude à l'autre.

En revanche, les coefficients CP déterminés sur nos parcelles de cannes sont bien plus faibles car elles combinent le couvert végétal avec la pratique du paillage.

5.6 – Recherche de facteurs explicatifs du ruissellement et de l'érosion

Sur les observations de 1999 et 2000 (18 mois), nous disposons pour les 10 parcelles expérimentales des paramètres suivants :

- la densité apparente du sol superficiel (D_{app}) (qui représente la porosité du sol)
- la pente des parcelles (p)
- la pluie (P)
- l'agressivité de la pluie (indice R)
- l'humidité pondérale du sol ($H_p\%$)
- l'évolution de la surface couverte des parcelles ($S.C.$)

Nous avons donc recherché à expliquer mensuellement le ruissellement et l'érosion à partir de l'ensemble des paramètres cités. Parmi les méthodes statistiques, nous avons choisi la « segmentation » (BASSINI, 1975) qui permet de détecter et hiérarchiser des facteurs explicatifs (ou variables X_i) pour un paramètre à expliquer (variable Y à expliquer). Elle a fait ses preuves par exemple, dans les enquêtes-diagnostic permettant de hiérarchiser des facteurs limitant la productivité des bananiers (DELVAUX et *al.*, 1990 ; DOREL et PERRIER, 1990). Dans notre cas, cette méthode est descriptive et va permettre de révéler des facteurs explicatifs.

Brève description de la « segmentation » (BASSINI, 1975)

La méthode, appelée aussi dichotomie, consiste à séparer un ensemble de données (E_0) en deux sous-ensembles (E_1) et (E_2) selon la variable (X_i) la plus explicative du paramètre à expliquer (Y), puis à subdiviser encore les sous-ensembles (E_1) et (E_2) en deux autres petits sous-ensembles selon une autre variable (X_i), puis à subdiviser encore... jusqu'à obtenir une hiérarchisation voulue des sous-ensembles suivant le paramètre à expliquer.

Pour toutes ces dichotomies, on calcule un indicateur de liaison avec (Y) et on retient la dichotomie qui possède la plus forte liaison.

Quand la variable à expliquer (Y) est quantitative – c'est notre cas – l'indicateur de liaison (ou pouvoir « explicatif » des (X_i)) utilisée est la Somme des Carrés des Ecart Inter - groupes (SCEI) ou Inertie (I) sur la variable (Y) :

$$SCEI = n_1 (y_1 - y_0)^2 + n_2 (y_2 - y_0)^2$$

Avec y_0 = la moyenne de Y sur l'ensemble (E_0)

y_1 et y_2 = les moyennes de Y sur les sous-ensembles (E_1) et (E_2)

n_1 et n_2 = les effectifs respectifs de (E_1) et (E_2)

Plus cette valeur est élevée, plus les moyennes de Y pour (E_1) et (E_2) sont différentes et donc, plus la variable X_i concernée est « explicative ».

La dichotomie des ensembles et sous-ensembles se termine quand il n'y a plus de variable à critère discriminant satisfaisant ou lorsque la population du sous-ensemble est trop faible pour être séparée.

Cette méthode présente certaines limites : elle ne permet pas de comparer les branches entre-elles et on ne sait pas si la succession des variables sélectionnées sur une branche correspond réellement au meilleur pouvoir explicatif (si les variables ne sont pas indépendantes, la sélection d'une enlève une partie du pouvoir explicatif des variables corrélées).

Malgré ses défauts, cette méthode peut-être utile : son intérêt est de travailler dans le domaine descriptif et sans contrainte de linéarité. Elle permet de détecter les variables les plus explicatives en traitant indépendamment les branches de chaque dichotomie.

- *Ruissellement*

Les résultats de la « segmentation » montre que pour le ruissellement (LR), les facteurs explicatifs sont retenus par ordre (figure 5.9) :

indice R > S.C. > Dapp > Pluie.

L'agressivité des pluies (indice R) et le taux de surface couverte (S.C.) semblent déterminants pour générer le ruissellement sur le sol brun à halloysite dans nos 10 parcelles d'érosion.

Cet algorithme permet de constater que le ruissellement naît quand l'intensité des pluies est supérieure à la capacité d'infiltration du sol si l'on en juge par la hiérarchisation de l'indice R sur la densité apparente (Dapp) du sol (HORTON, 1945 - cité par ROOSE, 1994).

Le rôle important du taux de surface couverte (S.C.) est démontré aussi à travers cet algorithme. Une conséquence pratique qui découle de cette analyse et des résultats obtenus sur les traitements paillés est que le contrôle du ruissellement en parcelle pourrait s'effectuer par la gestion des résidus organiques couvrant le sol en surface.

- *Erosion*

La « segmentation » pour l'érosion indique qu'il y a trois facteurs explicatifs qui sont par ordre (figure 6.0) :

LR > S.C. > pente p

Selon cet algorithme, il paraît évident que le ruissellement (LR) ressort comme un des facteurs dominants de l'érosion car nous sommes en domaine de l'érosion hydrique. Le taux de surface couverte (S.C.) joue aussi un rôle important comme nous l'avons déjà constaté à travers les résultats obtenus sous traitements paillés. L'agressivité des pluies (indice R) n'intervient pas directement dans l'érosion : son influence est plus dominante dans la naissance du ruissellement.

De cette analyse, il ressort que c'est l'énergie du ruissellement qui provoque l'érosion hydrique. Cela confirme notre détermination précédente d'une "érosion en nappes et rigoles" et d'une "érosion en rigoles et en reptation".

Si l'on veut ultérieurement modéliser la perte en terre suivant une équation, on pourra alors appliquer le modèle de perte en terre « *Modified Universal Soil Loss Equation* » (ou MUSLE) qui tient compte de l'énergie du ruissellement.

Notre objectif n'étant pas d'établir un modèle de l'érosion (seulement deux années d'observations), nous avons donc utilisé une méthode statistique permettant de faire ressortir les facteurs explicatifs parmi l'ensemble de paramètres mesurés mensuellement et dont nous disposons. Il serait intéressant plus tard de pouvoir proposer une régression multiple du ruissellement et de l'érosion à partir des facteurs déterminants exposés ici.

- *Conclusion sur la recherche des facteurs explicatifs*

Ces analyses descriptives nous a permis de comprendre les principaux facteurs déterminants du ruissellement et de l'érosion. C'est l'énergie du ruissellement qui provoque l'érosion et la perte en terre sur forte pente est d'autant plus grande que l'érosion est en rigoles et en reptation. Par conséquent, la gestion de la couverture organique au sol (paillage et adventices) permettrait de contrôler le ruissellement et de protéger ainsi le sol de l'érosion.

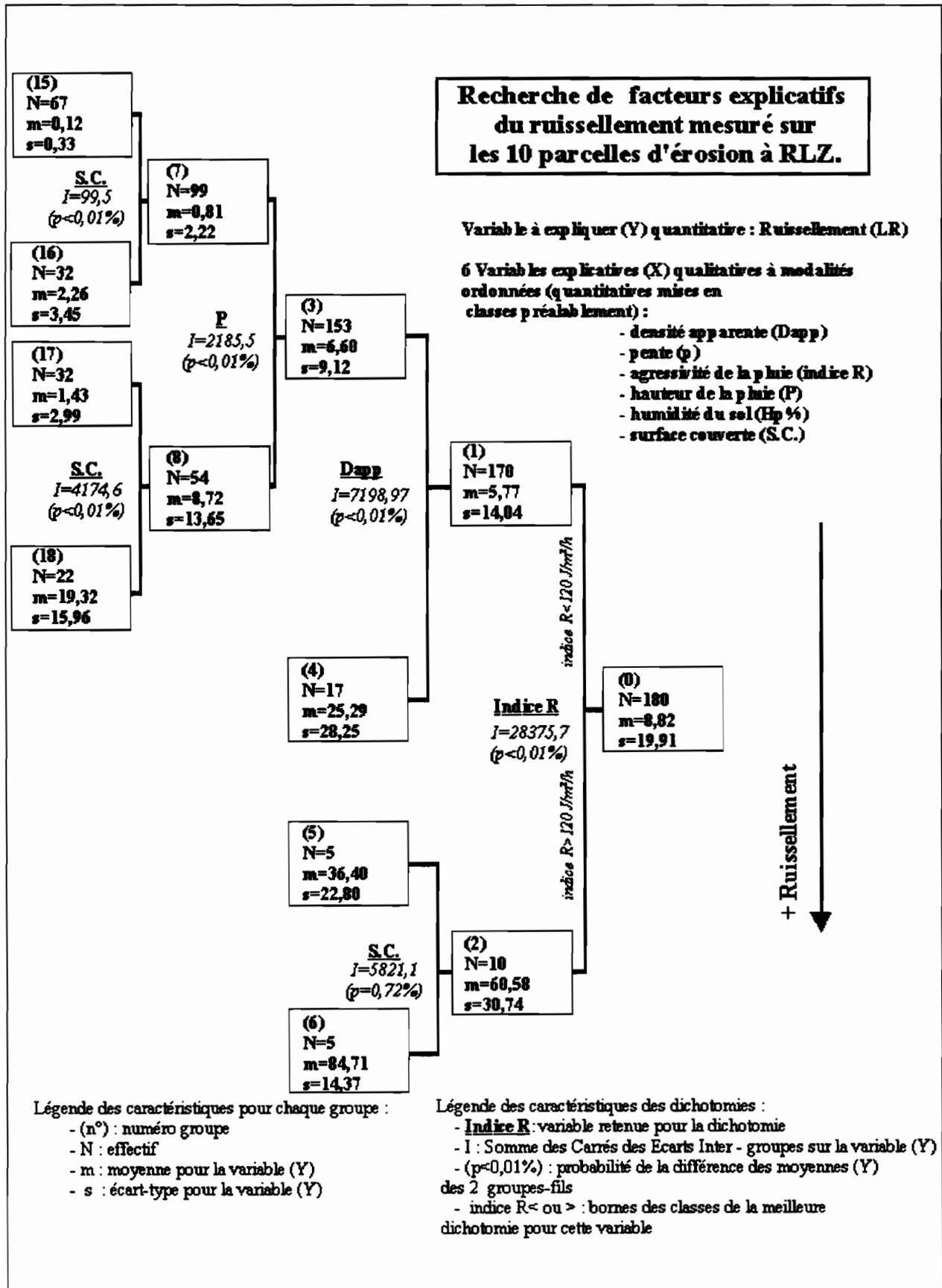


Figure 5.9 – Recherche de facteurs explicatifs du ruissellement (LR) à travers 6 variables (Xi) mesurées en parcelles d'érosion à RLZ durant les deux campagnes 1999 et 2000 (premier modèle descriptif du ruissellement).

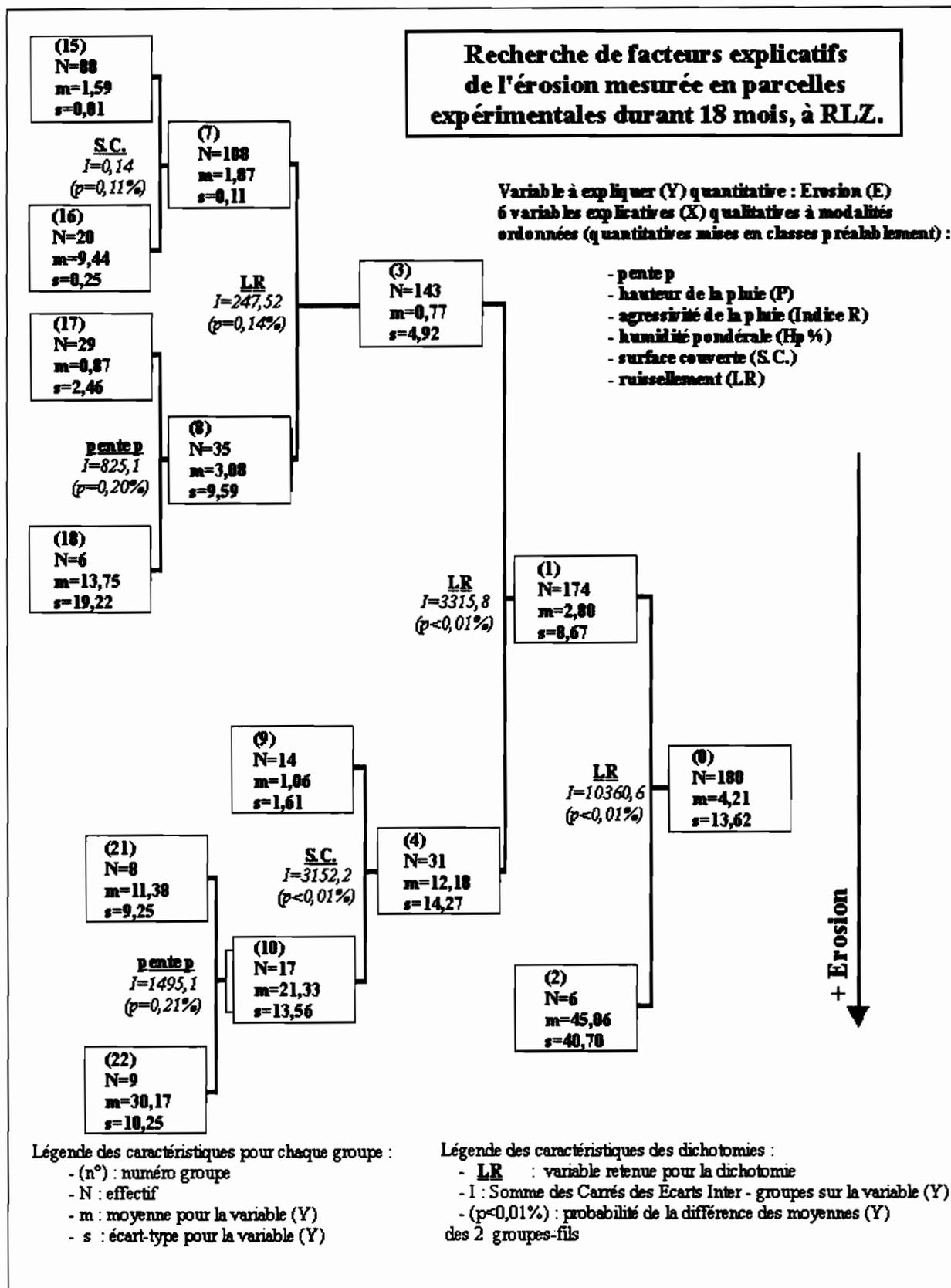


Figure 6.0 – Recherche de facteurs explicatifs de l'érosion (E) à partir de 6 variables (Xi) sur les 10 parcelles à RLZ (observations 1999 et 2000).

5.7 – La stabilité des agrégats du sol brun à halloysite

a) - Origine de la grande stabilité structurale des agrégats de ce sol brun à halloysite

Les résultats du test de stabilité structurale sur les échantillons à t0 (mars 1999) et à t0+1 (mars 2000) ont montré que le sol brun à halloysite était un sol stable où le risque de battance était rare (MWD-T3=1,6 à 2,7 mm).

Cette grande stabilité structurale des agrégats est peut-être due aux constituants minéraux de ce sol brun tropical et à sa texture argileuse.

En effet, le sol brun renferme des minéraux argileux (halloysite et kaolinite associés à des substances amorphes (reliques des allophanes) et de petites quantités de gibbsite et goéthite) selon COLMET-DAAGE et LAGACHE (1965).

Bien qu'ayant un rôle ambigu dans l'influence des processus d'érosion, la minéralogie des argiles pourrait favoriser une grande stabilité du sol, surtout quand les argiles de type kaolinite (proche de l'halloysite), associés à des oxydes et hydroxydes de fer et aluminium favorisent une grande cohésion et une grande agrégation du sol (RÖMKENS *et al.*, 1977 ; LEVY et VAN DER WATT, 1988 ; COLLINET, 1988 ; LE BISSONNAIS et SINGER, 1993 ; LE BISSONNAIS, 1996).

Par ailleurs, sa texture argileuse (62 à 74% d'argile) pourrait contribuer à la grande stabilité du sol : en effet, les particules argileuses sont connues comme agent liant et agrégeant des éléments grossiers entre eux permettant ainsi une bonne structure du sol (BEN-HUR *et al.*, 1995 ; LE BISSONNAIS, 1996).

b) – La stabilité structurale comme indicateur de l'érodibilité du sol K

Par le biais du test de stabilité structurale, nous avons cherché un indicateur du comportement du sol face à l'érosion. La comparaison entre les résultats de la stabilité des agrégats et l'indice d'érodibilité du sol K défini à partir du nomogramme va permettre d'illustrer notre démarche (figure 5.71).

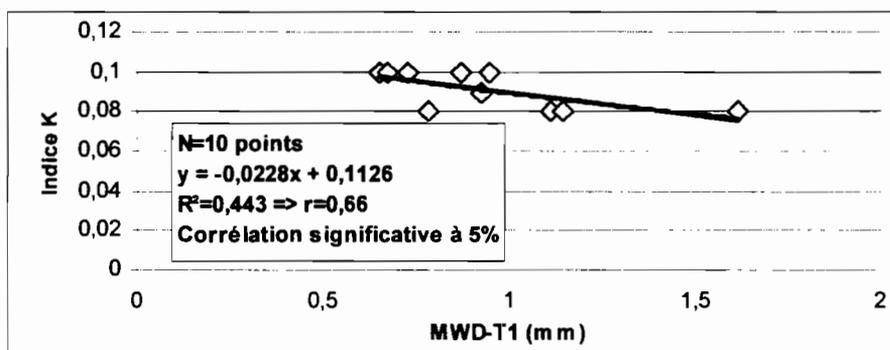


Figure 5.71 – Relation entre stabilité des agrégats à l'eau (MWD-T1) et indice d'érodibilité K déterminé à partir du nomogramme, sur le sol brun rouille à halloysite.

D'après la figure 5.71, nous pouvons admettre que la stabilité des agrégats à l'eau permet d'estimer le comportement du sol face à l'érosion, selon la régression établie entre les deux paramètres (MWD-T1) et indice (K) au seuil significatif à 5%. Ce test de stabilité structurale semble donc précis car il permet de distinguer dans la variation de l'érodibilité K dans une même famille de sol volcanique (sol brun à halloysite).

D'autres études avaient souligné le lien entre stabilité structurale et érodibilité du sol (QUANTIN et COMBEAU, 1962 ; WISCHMEIER et MANNERING, 1969) ou plus particulièrement la relation entre stabilité des agrégats à l'eau et perte en terre en parcelles d'érosion (BARTHES *et al.*, 2000) ou en placette sous pluie simulée (AMEZKETA *et al.*, 1996 ; BARTHES *et al.*, 1998).

Cependant ces relations avec la stabilité structurale ne sont pas généralisables car le comportement des sols cultivés et son érosion hydrique dépendent aussi des variations climatiques et du couvert végétal comme l'ont souligné LE BISSONNAIS et LE SOUDER (1995) et qu'on verra par la suite dans notre étude (*cf. ci dessous : § d) – Relations de la stabilité structurale avec le ruissellement ou avec l'érosion*).

c) – Evolution de la stabilité structurale du sol superficiel après un an de ruissellement et d'érosion (t0 à t0+1).

Après une année de mesures du ruissellement et d'érosion en parcelles, nous avons constaté qu'en général la stabilité structurale du sol brun à halloysite a diminué (dégradation de la stabilité) sauf dans les rangs des ananas (An5R) et (An6Bi) et dans les parcelles de cannes situées sur fortes pentes (Ca8) et (Ca10) (amélioration de la stabilité) (figure 5.72).

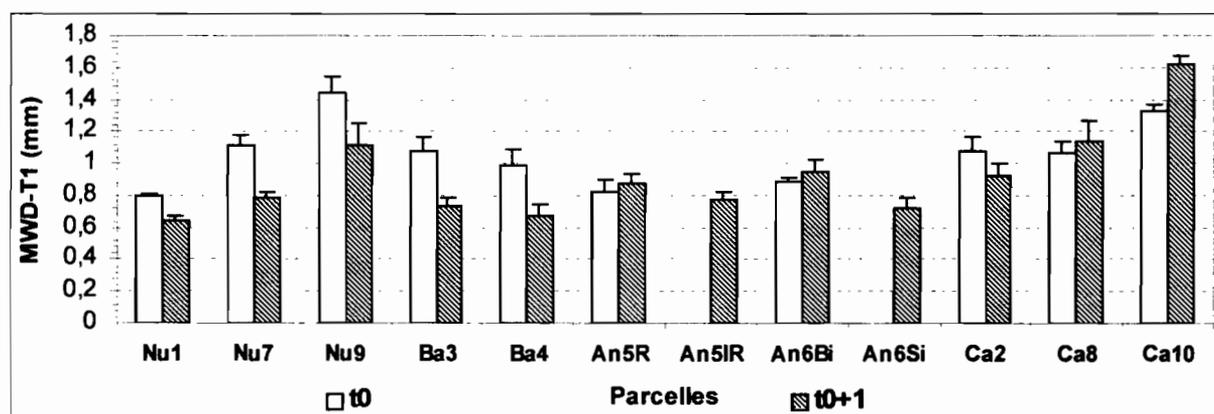


Figure 5.72 – Evolution de la stabilité des agrégats après une année de mise en place des 10 parcelles d'érosion (t0 à t0+1).

Cette variation de la stabilité de t0 à t0+1 s'expliquerait peut-être par le taux en C organique du sol superficiel : par exemple, sur (Nu1), MWD-T1 diminue de 0,8 à 0,6 mm et C organique de 1,5% à 1,3% alors que sur (Ca10), MWD-T1 augmente de 1,3 à 1,6 mm et C organique de 2% à 2,2%.

Cette relation entre stabilité des agrégats et taux de C organique est illustrée par la régression linéaire observée à t0+1 et établie entre les paramètres (MWD-T1) et (C organique) (corrélation significative au seuil de 2% (figure 5.73)).

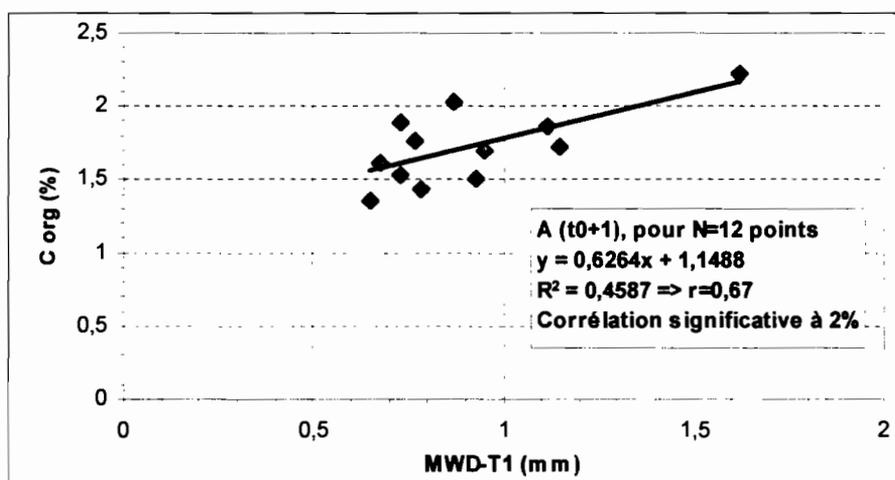


Figure 5.73 – Relation entre stabilité des agrégats et taux en C organique du sol brun à halloysite (0-10 cm) après un an de mesures d'érosion (t0+1).

Cette relation entre stabilité des agrégats et taux de matière organique ou de polysaccharide est bien connue d'après les études antérieures (WISCHMEIER et MANNERING, 1969 ; TISDALL et OADES, 1982 ; CHENU, 1989 ; LE BISSONNAIS et LE SOUDER, 1995 ; BARTHES et *al.*, 1998 ; BARTHES et *al.*, 2000).

c) – Relation entre la pente et la stabilité des agrégats

Parmi les études sur la stabilité structurale, peu d'auteurs ont rapporté une relation entre la stabilité du sol et sa topographie (inclinaison de la pente notamment). Or, d'après nos résultats établis pour les six parcelles en "sol nu" (Nu1, Nu7 et Nu9) et de canne (Ca2, Ca8 et Ca10), nous avons constaté que la stabilité des agrégats augmentait avec l'inclinaison de la pente (corrélation significative à 1% (figure 5.74)).

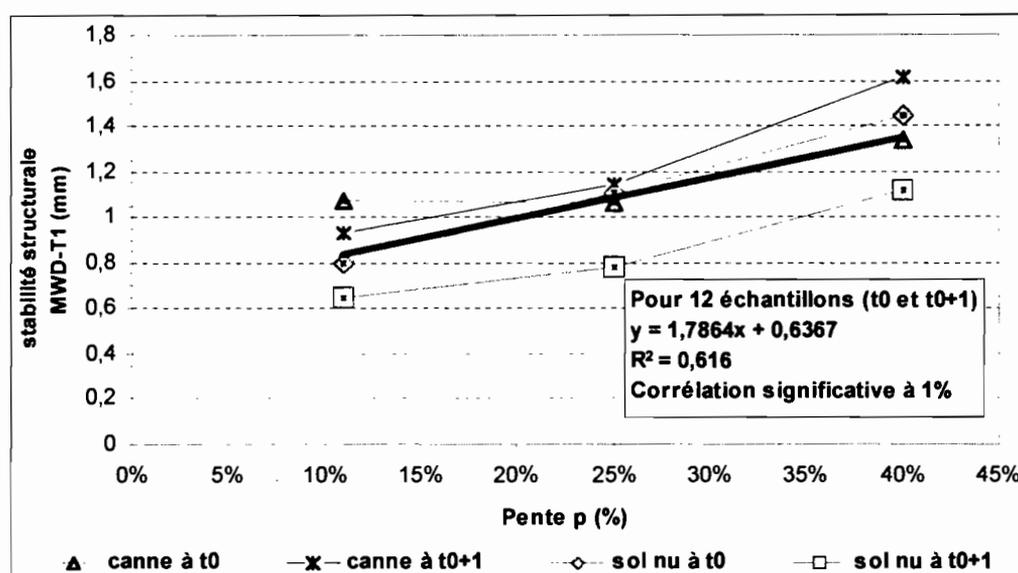


Figure 5.74 – Relation entre stabilité des agrégats (MWD-T1) et pente (p) pour les 6 parcelles (Nu1, Nu7, Nu9, Ca2, Ca8 et Ca9) à t0 et t0+1.

D'ailleurs, l'indice d'érodibilité K déterminé en parcelles d'érosion ou à partir du nomogramme indique aussi bien que sur forte pente, le sol brun à halloysite devient plus résistant (K diminue de 0,12 à 0,03 de la pente $p=11\%$ à $p=40\%$).

Ce test de stabilité structurale est donc précis et reflète bien la résistance du sol face à l'érosion hydrique.

d) – Relations de la stabilité structurale avec le ruissellement ou avec l'érosion

Nous avons cherché à établir des liens entre la stabilité structurale du sol et les paramètres de ruissellement (LR) et d'érosion (E) mesurés en parcelles après la campagne 1999. Pour l'ensemble des 10 parcelles, il n'y a pas de relation nette entre stabilité des agrégats et ruissellement ou entre stabilité et érosion. Cette absence de lien significatif s'explique par les surfaces couvertes (S.C.) relevées sur les parcelles cultivées : le paillage en bandes et la croissance des ananas assurent une protection efficace au sol cultivé contre le ruissellement et l'érosion.

Par contre, en considérant les trois "sols nus" (Nu1, Nu7 et Nu9), il existe des relations entre stabilité des agrégats (MWD-T1) et ruissellement (LR) ou entre stabilité des agrégats (MWD-T1) et érosion (E).

- Bien qu'il ne soit pas possible d'établir un lien net entre stabilité et ruissellement (seulement trois points à corrélérer), nous constatons que le ruissellement diminue à mesure que la stabilité des agrégats est forte (*cf. figure 4.74a du chapitre 4*).

Le rôle d'une forte agrégation empêchant le ruissellement en surface est bien apparent sur ce sol volcanique. Sous pluies simulées sur des sols différents, des auteurs ont aussi souligné cette influence de la stabilité des agrégats sur le ruissellement (ROTH et al., 1987 ; BARTHES et al., 1998) ou sur l'infiltration (LE BISSONNAIS et ARROUAYS, 1997).

- La stabilité des agrégats augmente avec l'érosion bien que nous n'obtenons pas de lien significatif entre les paramètres (MWD-T1) et (E) (seulement 3 points). Cela semble paradoxal car sur un sol à forte stabilité des agrégats, l'érosion est faible (*cf. figure 4.74b du chapitre 4*). En réalité, le processus érosif change quand la pente croît : malgré une diminution de la lame ruisselée et une agrégation plus résistante, la capacité de transport du ruissellement devient plus élevée en raison de la croissance de son énergie cinétique avec la pente. L'érosion hydrique qui est une "érosion en rigoles et en reptation" ("*Creeping*") entraîne la perte en agrégats malgré leur grande stabilité..

e) - Conclusion

Par conséquent, ce test de stabilité structurale – jusqu'alors effectué sur des sols sensibles à la battance – a permis d'estimer l'érodibilité K du sol brun volcanique, très argileux et très résistant. LE BISSONNAIS (1996) a souligné que ce test établi au départ estimer l'encroûtement et l'érodibilité du sol limoneux ne permettait pas de tester les variations de stabilité dans le temps pour un sol donné. Or ici, il a permis de discriminer en un an d'érosion l'évolution du sol brun à halloysite dans les parcelles expérimentales et notamment sur celles en "sol nu". Sous ce climat tropical insulaire ($P > 2000$ mm/an), la forte érosion du sol volcanique provoquée tant par les pluies agressives que par le ruissellement incisif induit-elle une évolution rapide de la stabilité des agrégats au point d'être perçu à travers ce test.

5.8 – Les simulations de pluies

Nous avons été amenés à simuler de très fortes pluies car durant les deux années d'observation, nous n'avions pas eu de pluies cycloniques. Afin de tester le comportement du sol et l'efficacité du paillage sous de forte pluie, nous avons opté pour une simulation de pluie cyclonique ($I_p=100$ mm/h).

Les simulations de pluies effectuées sur les quatre traitements ("sol nu", canne paillée, "bananeraie établie" et "ananas mécanisé et billonné") ont donné beaucoup de résultats : hydrogrammes et paramètres hydrodynamiques notamment.

5.81 – Les hydrogrammes

Les hydrogrammes ont montré que le comportement du ruissellement était différent et caractéristique d'un traitement à l'autre (cf. figure 4.81 du chapitre 4).

- Sous traitement paillé (Ca2-résidus et Ba3-résidus), il n'y a pas eu ruissellement : les hydrogrammes demeurés plats indiquaient que le sol paillé (plus de 90% de surfaces couvertes (S.C.)) infiltrait toute la pluie simulée ($I_p=100$ mm/h) et était protégé de la perte en terre. En revanche, dans l'inter - rang nu (Ba3-nu), le ruissellement devient aussi fort que sur le "sol nu" (Nu7), situé sur une forte pente ($p=25\%$) et testé sous pluies simulées.
- Sur les "sols nus" (Nu1, Nu7 et Nu9), le ruissellement devenait d'abord plus fort quand l'inclinaison de la pente allait de $p=13\%$ à $p=25\%$, puis diminuait quand la pente augmentait de $p=25\%$ à 40% . Sur forte pente, HEUSCH (1971) a observé que la circulation de l'eau à l'intérieur du sol devenait plus rapide (pente hydraulique) et, par conséquent, que l'infiltration augmentait. Sur des parcelles d'érosion en montagne méditerranéenne (Algérie), ROOSE et al. (1993) avaient aussi remarqué la diminution du ruissellement avec l'augmentation de la pente. Sous pluies simulées, quand l'inclinaison de la pente augmente, les processus de ruissellement seraient, ici, différents avec, notamment, une installation rapide de la lame ruisselée (P_i devient faible) sans toutefois apparition d'un écoulement d'eau élevé (LRC60 diminue) (figure 5.80).

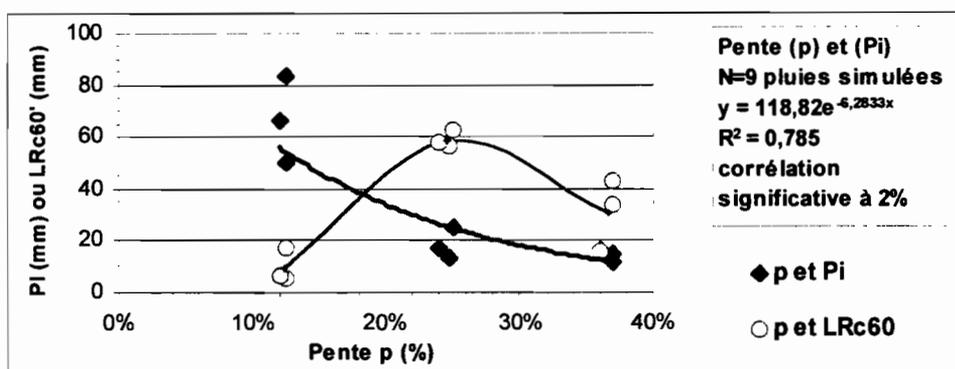


Figure 5.80 – Evolution de la pluie d'imbibition (P_i) et de la lame ruisselée (LRC60) en fonction de la pente (p) sur les parcelles "sols nus" testées sous 9 pluies simulées.

- Sur l'"ananas mécanisé et billonné" (An6), le ruissellement s'installait très vite et le régime permanent était atteint après 40 minutes de pluie. L'effet du sillon concentrant les eaux apparaît évident et il permet sans doute d'expliquer pourquoi cette parcelle d'érosion (An6) ruisselle et perd beaucoup de terre durant la première campagne de mesure 1999.

5.82 – Les paramètres hydrodynamiques

Les différents comportement des traitements soumis aux pluies simulées se reflètent aussi au niveau des paramètres hydrodynamiques.

Nous les récapitulons brièvement et ne discutons que de certains paramètres hydrodynamiques (Pi, LR, Rx, Turbi et PT), à savoir ceux qui permettent de distinguer les quatre situations entre elles et de comprendre les processus du ruissellement à l'échelle de la placette 1 m². Les paramètres variaient considérablement d'un traitement à l'autre : par exemple, après 60 minutes, la lame ruisselée (LR) allait de 1 à 92 mm (de Ca2-résidus à An6) et la perte en terre (PT) de 0 à 8 t/ha (de Ca2-résidus à Ba3-nu) (figure 5.81).

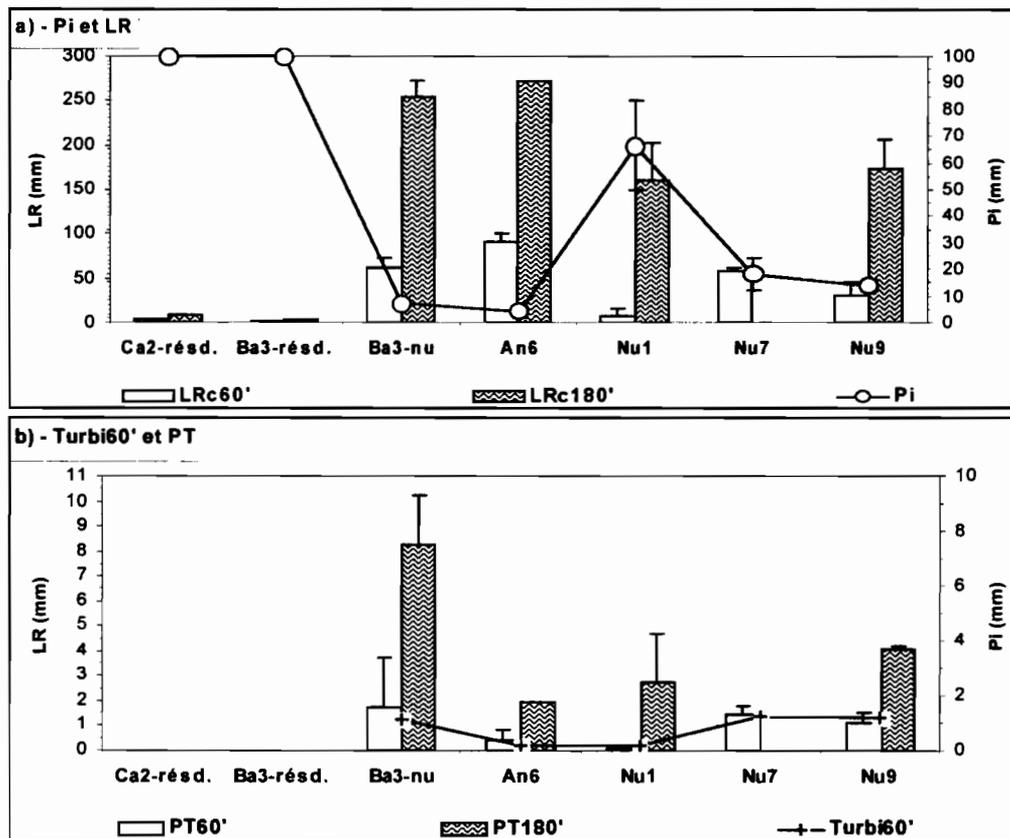


Figure 5.81 – Moyennes des paramètres hydrodynamiques (Pi et LR) et de ceux de la perte en terre (Turbi60' et PT) après 19 simulations de pluies (Ip=100 mm/h) effectuées sur 4 situations différentes. (Résd.: résidus en abrégé)

Cette variation des résultats peut s'expliquer par les conditions initiales déterminées avant chaque simulation de pluie, notamment à l'aide de corrélation (cf. ci-dessous § b).

Mais, au préalable, il est nécessaire de définir parmi les nombreux paramètres hydrodynamiques fournis par la simulation de pluie, ceux qui sont les plus représentatifs du ruis-

sellement et des pertes en terre observés. Dès lors, ces paramètres vont permettre de mieux cibler notre recherche.

a) – *Quelques relations entre les paramètres de simulations de pluies*

- *Paramètres de ruissellement*

Parmi les paramètres du ruissellement, on retiendra essentiellement la pluie d’imbibition (Pi) et la lame ruisselée (LRc). En effet, elles recourent les autres paramètres du ruissellement.

- La pluie d’imbibition (Pi) présente des liens forts avec la lame ruisselée (LRc60) (corrélation significative à 1% (figure 5.83)) et, dans une moindre mesure, avec le palier en régime permanent (Rx), bien que cette relation (Pi) et (Rx) semble moins satisfaisante que celle entre (Pi) et (LRc60).

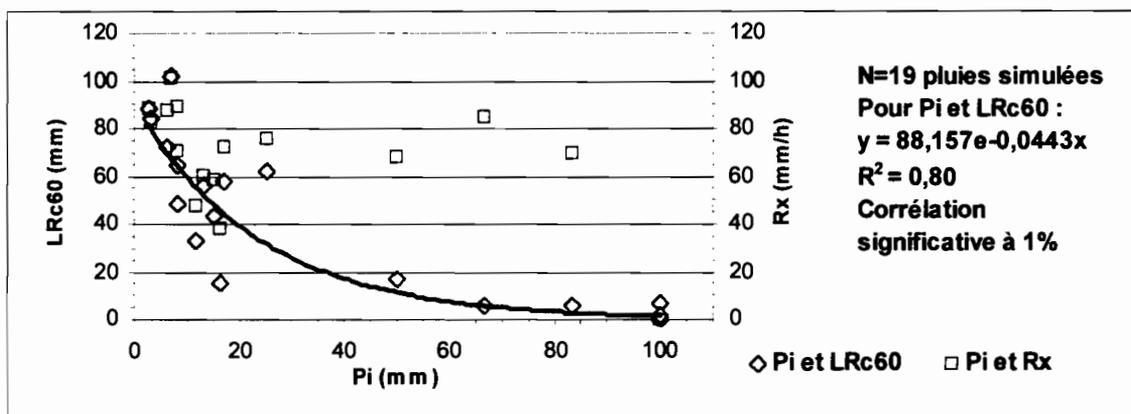


Figure 5.83 – Relations entre Pi et LRc60 et entre Pi et Rx après 19 simulations de pluies effectuées sur les parcelles d’érosion.

- La lame ruisselée (LRc180) est étroitement liée au taux d’infiltration constant du sol (Fn) et leur relation indique qu’au bout de trois heures de simulation, le sol est saturé (régime permanent) et le ruissellement devient d’autant plus fort que l’infiltration du sol est faible (corrélation (Fn) et (LRc180) significative à 1% (figure 5.82a)). Ce ruissellement, mesuré après 180 minutes de pluie, est aussi lié à celui effectué après 60 minutes, comme en témoigne la corrélation significative entre (LRc60) et (LRc180) (figure 5.82b).

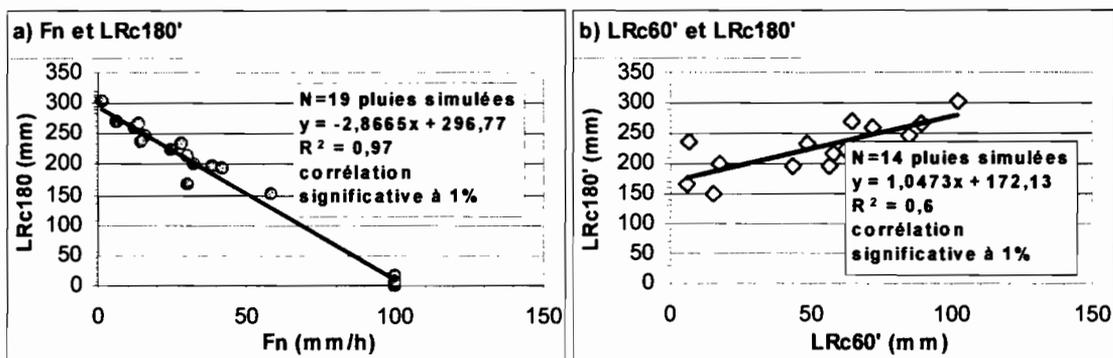


Figure 5.82 – Relations entre taux d’infiltration finale (Fn) et lame ruisselée (LRc180) (a) et entre les lames ruisselées (LRc60) et (LRc180) sous 19 simulations de pluies réalisées sur les parcelles d’érosion.

D'après ces relations, il apparaît donc qu'à partir de ces deux paramètres (Pi) et (LRc60), nous avons une bonne représentativité du comportement des traitements testés face au ruissellement provoqué par les simulations de pluies.

– *Perte en terre*

Parmi les paramètres définissant la perte en terre, on retiendra la turbidité (Turbi60) et la perte en terre (PT60) à 60 minutes de pluie. Ces paramètres sont étroitement liés entre eux, si l'on en juge par leur régression significative à 1% (figure 5.84). La proportion de sédiments évacués (suspensions et agrégats) augmente donc avec la charge solide contenue dans le ruissellement.

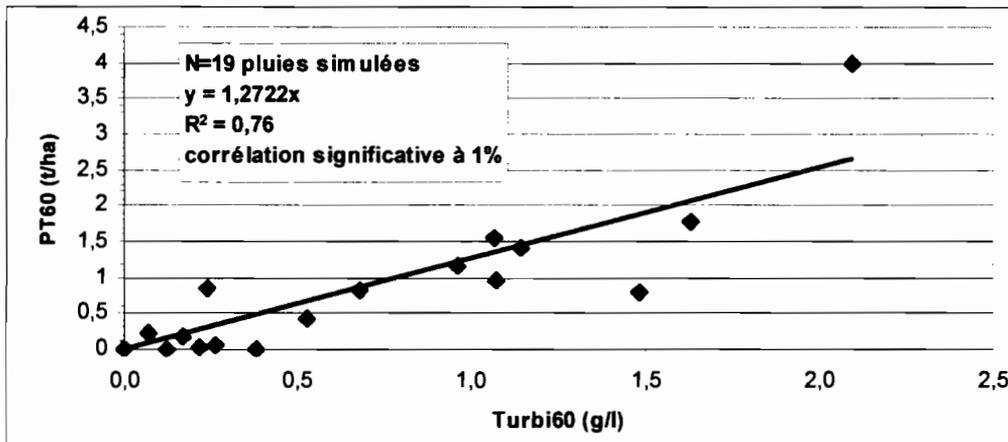


Figure 5.84 – Relation entre turbidité en suspension (turbi60) et perte en terre PT(60) après une heure de pluie simulée sur les 19 situations.

Nous avons cherché à réduire encore plus le nombre de paramètres représentatifs du comportement des traitements sous pluies simulées. Mais il n’y a pas de corrélation nette entre le ruissellement et la perte en terre. Cette absence de lien net est sans doute due à la bordure avale percée du cadre métallique qui piège les macro - agrégats durant les pluies simulées et fausse ensuite l’estimation de la perte en terre (PT).

Par conséquent, nous disposons de quatre paramètres hydrodynamiques représentatifs à partir desquels nous allons proposer d’expliquer la variation des résultats de pluies simulées obtenue sur les différents traitements : (Pi), (LRc60), Turbi60 et PT60.

b) – Recherche des facteurs explicatifs du ruissellement et de la perte en terre sous pluies simulées

Nous avons établi différentes corrélations entre les quatre paramètres hydrodynamiques et les conditions initiales définies avant chaque simulation de pluie.

Pour la majorité des relations décrites, les corrélations sont faites sur les 19 simulations de pluie. En revanche, pour les quatre relations (Pi et S.C.), (Pi et Rugsté), (LRc60 et S.C.) et (LRc60 et Rugsté), la corrélation est réalisée sur 16 pluies simulées car, sur les trois simulations en (An6), le sillon canalisait le ruissellement et faussait ainsi les effets de la surface couverte (S.C.) et de la rugosité (S.C.). Les régressions sont significatives à 5%.

- Pour le ruissellement

La figure 5.85 décrit les relations significatives entre les variables de conditions initiales et les paramètres du ruissellement.

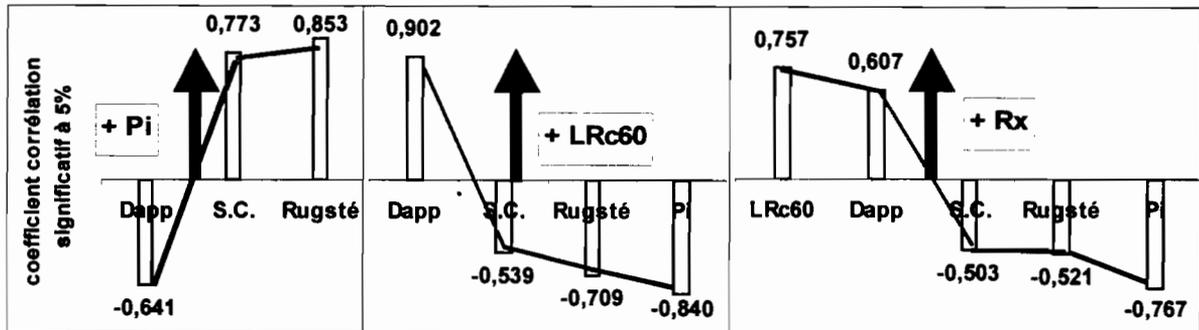


Figure 5.85 – Relations entre variables de conditions initiales et paramètres du ruissellement observées sur 16 à 19 pluies simulées sur les parcelles d'érosion de RLZ.

D'après cette figure, on constate que différentes variables conditionnent le ruissellement.

- La densité apparente du sol (Dapp) semble favoriser le ruissellement : celui-ci commence plus tôt (corrélation négative de Dapp et Pi) et sa lame d'eau, ainsi que son palier en régime permanent (Rx), semblent plus élevés sur sol dense (peu poreux). A titre d'exemple, la figure 5.86 illustre le lien entre la densité apparente et les lames ruisselées.

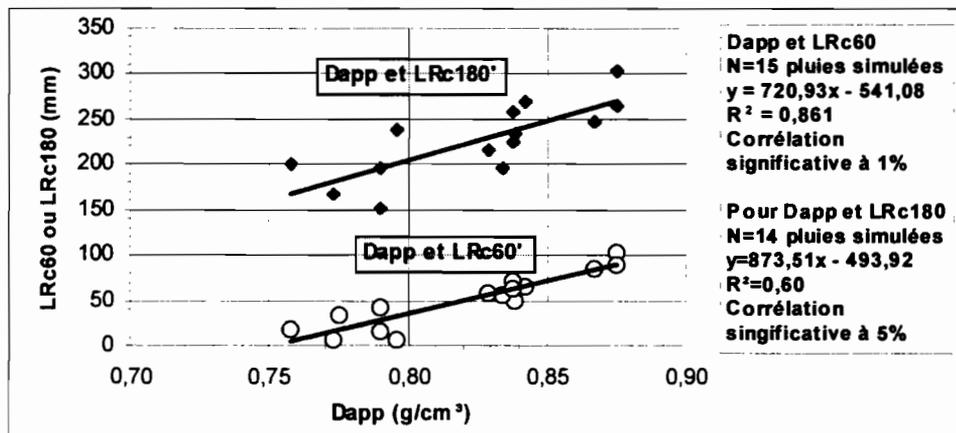


Figure 5.86 – Relation entre densité apparente du sol (Dapp) et ruissellement (LRC60 ou LRC180) observé sous 15 ou 14 simulations de pluies effectuées sur les parcelles d'érosion.

- Les surfaces couvertes (S.C.) et la rugosité (Rugsté) ont par contre un rôle inverse : elles contribuent à retarder l'installation du ruissellement (corrélation positive avec Pi) et protègent le sol du ruissellement. En région Soudano-sahélienne, COLLINET et VALENTIN (1979) avaient déjà décrit l'effet protecteur du paillage au sol ou l'efficacité d'une forte rugosité due aux éléments grossiers contre le ruissellement, à partir de pluies artificielles réalisées au simulateur de type Swanson. A Adiopodoumé en Côte d'Ivoire, ROOSE et ASSELINE (1978) ont

relevé que, sous ananas avec résidus brûlés (S.C.=70%), le ruissellement a diminué de 33% par rapport à celui observé sur sol nu pour des pluies simulées à partir du même appareil.

- Pour la turbidité et la perte en terre

La figure 5.87 représente les relations significatives entre les variables de conditions initiales et les paramètres de perte en terre (Turbi60 et PT60).

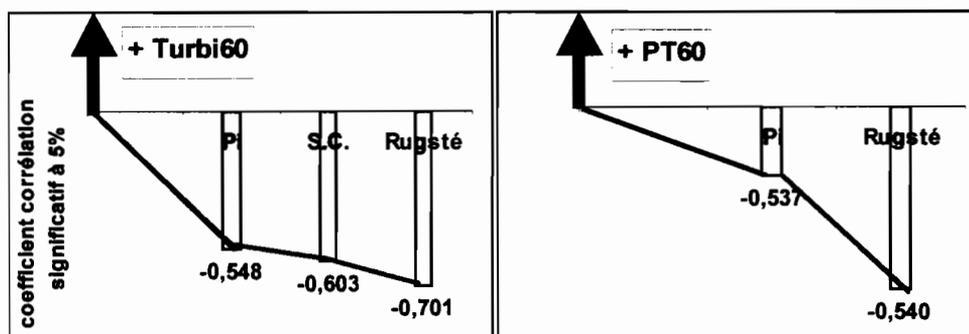


Figure 5.89 – Relations entre variables de conditions initiales et paramètres de pertes en terre observées sur 19 simulations de pluies effectuées sur des parcelles d'érosion à RLZ.

D'après la figure 5.87, deux variables de conditions initiales semblent expliquer les variations de la turbidité (Turbi60) et de la perte en terre (PT60). Le taux de surface couverte au sol (S.C.) et la rugosité (Rugsté) protègent le sol de la perte en terre (corrélations négatives avec Turbi60 et avec PT60). Sous pluies simulées avec l'appareil de type *Swanson*, ROOSE et ASSELINE (1978) ont également observé l'influence des surfaces couvertes : ils ont constaté que l'érosion restait négligeable en présence de *mulch* de résidus et ce, quelle que soit la pente.

5.83 – Conclusion

Les simulations de pluies réalisées dans les parcelles d'érosion ont permis de mieux comprendre les processus du ruissellement et de perte en terre à l'échelle de 1 m².

Les hydrogrammes étaient très caractéristiques des situations étudiées et ont montré que, sous paillage, il n'y avait pas de ruissellement (cas des inter - rangs paillés des cannes et bananes) tandis que sur la parcelle d'ananas (An6), celui-ci s'installait et atteignait son palier en régime permanent très rapidement sous l'effet des sillons (concentration des eaux). Sur les "sols nus", les processus du ruissellement changent sans doute en raison de la pente hydraulique (infiltration plus rapide sur forte pente selon HEUSCH (1971)).

Les relations entre les variables de conditions initiales et les paramètres de ruissellement et de perte en terre soulignent également l'influence positive des surfaces couvertes (résidus ou couvert végétal) et de la rugosité sur l'infiltration et la protection du sol contre les pertes en terre sous simulations de pluies, comme l'ont décrite COLLINET et VALENTIN (1979) et ROOSE et ASSELINE (1978).

5.9 – Le bilan hydrique et les pertes chimiques

5.91 – Le bilan hydrique

a) – Drainage calculé

Dans cette partie, nous choisissons de traiter le bilan hydrique à partir du drainage (Dr) qui était obtenu d'après l'équation : $Dr = P - (LR + ETP \pm Var. Stock)$.

Pour l'ensemble des traitements étudiés, le drainage estimé variait de 80 mm à 786 mm suivant les saisons. Globalement, les forts drainages sont observés en saison humide où les valeurs atteignent près de 3 à 7 fois celles de la saison sèche. (figure 5.9)

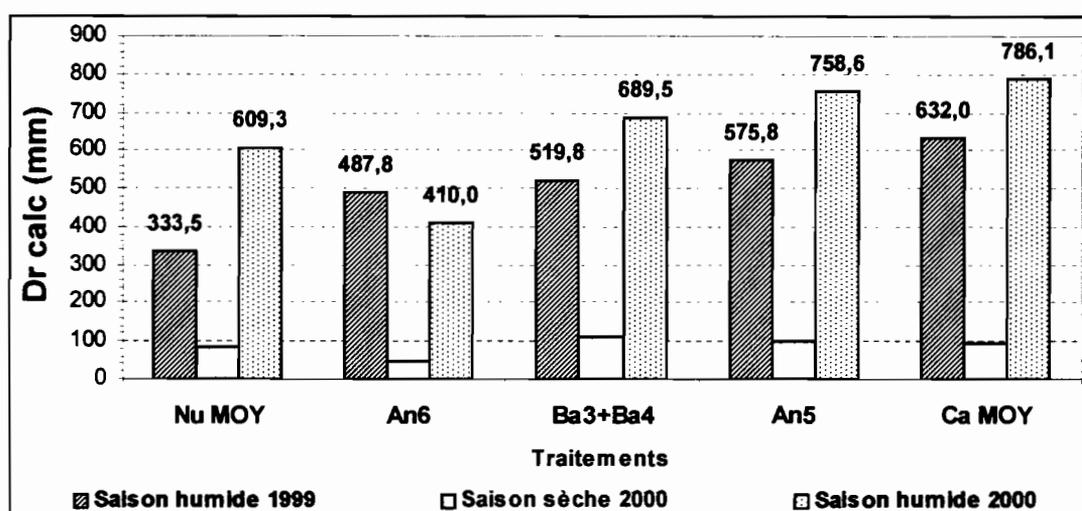


Figure 5.9 – Drainage calculé sur les différents traitements étudiés durant les campagnes 1999 et 2000.

Généralement, c'est sur les traitements paillés que le drainage est le plus élevé (cannes et ananas à plat +paillis) et c'est sur les traitements ruisselants qu'il est le plus faible ("sol nu" et ananas mécanisé et billonné) ; par exemple, sous canne, Dr est égal à 37 à 45% de la pluie cumulée en saison humide et sous ananas mécanisé et billonné (An6), Dr vaut 35% à 26% de la pluie cumulée durant la même période.

Bien que ces traitements paillés protègent le sol de l'érosion hydrique, ils ont une répercussion sur le milieu souterrain dès lors qu'ils présentent un drainage élevé et que leurs cultures nécessitent l'apport d'intrants sensibles à la solubilisation. La réduction de l'impact de ces cultures sur le milieu doit, par conséquent, dépendre des objectifs recherchés pour une conservation de la fertilité des sols et des ressources d'eau de surface ou pour une protection des ressources d'eau souterraines.

Mais avant de discuter du choix à adopter quant à la réduction de l'influence des systèmes de cultures sur l'environnement (en surface et en sous-sol), il est nécessaire d'estimer la qualité des eaux drainées avant d'évaluer ultérieurement leurs effets sur les nappes souterraines.

Nous avons fait cette démarche pour la culture bananière, notamment à l'aide des lysimètres placés sous les bananiers.

b) – Drainages calculé (*Dr calc.*) et observé (*Dr obs.*) sous "bananeraie établie"
 Le drainage observé (*Dr obs.*) est défini à partir des lysimètres placés sous les bananiers et les observations en 1999 et 2000 ont permis de voir son évolution durant les saisons cycloniques et saisons sèches (cf. figure 4.83 du chapitre 4).

La comparaison entre les deux drainages calculé (*Dr calc.*) et observé (*Dr obs.*) montre globalement une concordance entre les deux termes notamment durant la première saison humide et la saison sèche 2000. Le plus grand écart est observé en saison des pluies 2000 et il est de près de 27% entre les deux drainages (figure 5.91).

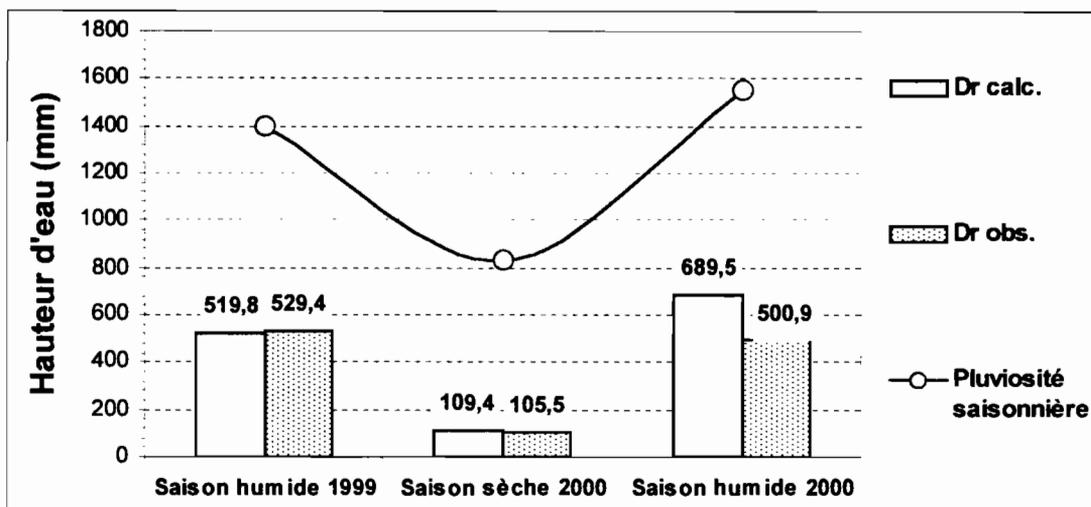


Figure 5.91 – Comparaison des deux drainage calculé (*Dr calc.*) et observé (*Dr obs.*) sous "bananeraie établie" durant les années 1999 et 2000.

Sur les deux campagnes 1999 et 2000 (18 mois), les deux drainages sous bananeraie (*Dr calc.*) et (*Dr obs.*) représentent respectivement 35% et 30% de la pluviosité annuelle. Les deux termes sont assez comparables. On pourra donc estimer approximativement le drainage sous bananeraie à partir des observations aux lysimètres : $Dr\ calc. \sim Dr\ obs.$

Parmi les études similaires portant sur le bilan hydrique sous bananiers, des auteurs ont trouvé des taux de drainage allant de 15% à 29% de la pluviosité totale sous bananeraie paillée au Burundi (RISHIRUMUHIRWA, 1997) ou encore oscillant entre 31% à 38% de la pluie annuelle sous bananeraie irriguée en Côte d'Ivoire (GODEFROY et al., 1970 ; ROOSE et GODEFROY, 1977).

Le drainage obtenu ici sous bananeraie martiniquaise est donc de même ordre de grandeur que ceux trouvés en Afrique.

5.92 – Les pertes chimiques

Nous présenterons d'abord les pertes chimiques par ruissellement et par érosion sur l'ensemble des traitements, puis nous nous intéresserons plus particulièrement aux pertes chimiques complètes (par ruissellement, érosion et drainage) pour la "bananeraie établie".

a) – Pertes chimiques totales par ruissellement et érosion

Les pertes chimiques totales de surface (ruissellement + érosion) sur les 10 parcelles sont calculées d'après les pertes par ruissellement et par érosion (cf. tableaux 4.96 et 4.97 du chapitre 4). Afin d'établir les pertes totales en azote (N total), nous avons estimé par approximation l'azote (N total) dans le ruissellement d'après la relation :

$$N \text{ total} = 2 \times (\text{NH}_3 + \text{NO}_3) \quad (\text{ROOSE, communication personnelle}).$$

Les pertes totales de nutriments en surface sont décrites dans le tableau 5.4.

Tableau 5.4 – Pertes totales de nutriments en surface (par ruissellement et érosion) sur les 10 parcelles d'érosion (campagnes 1999 et 2000).

Traitements	Parcelle	Pente p	K (kg/ha/an)	Ca (kg/ha/an)	Mg (kg/ha/an)	P (kg/ha/an)	N total (kg/ha/an)
Sol nu	Nu1	11%	58,04	79,12	9,42	1,83	130,98
Sol nu	Nu7	25%	69,11	135,45	17,80	4,70	206,18
Sol nu	Nu9	40%	88,81	203,98	21,10	7,37	267,74
Canne	Ca2	11%	5,96	3,01	0,91	0,07	13,39
Canne	Ca8	25%	5,80	3,76	0,69	0,11	6,50
Canne	Ca10	40%	6,61	5,37	0,79	0,09	5,45
Banane	Ba3	11%	6,58	3,71	0,41	0,13	2,37
Banane	Ba4	9%	8,96	3,22	0,45	0,43	5,26
Ananas à plat + litière	An5	9%	4,20	1,47	0,08	0,09	0,72
Ananas mécanisé + billonné	An6	7%	44,12	55,91	7,73	1,32	63,07

D'après ce tableau 5.4 et la figure 5.92, les pertes chimiques totales en surface sont d'autant plus fortes que les traitements sont sensibles à la perte en terre.

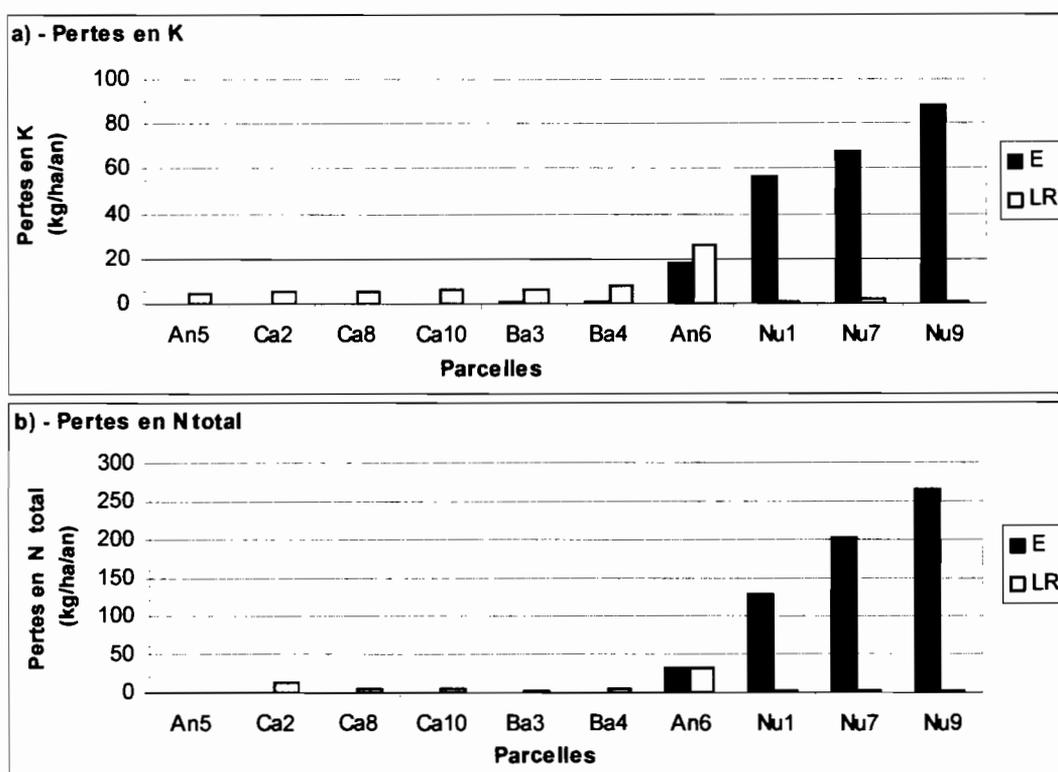


Figure 5.92 – Pertes en K (a) et en N total (b) par ruissellement (LR) et par érosion (E) sur les 10 parcelles expérimentales.

- Le traitement "ananas mécanisé et billonné" (An6) est celui qui perd le plus de nutriments parmi les cultures étudiées : pertes en K=44 kg/ha/an, Ca=56 kg/ha/an, Mg=8kg/ha/an, P=1,3 kg/ha/an et Ntotal=63 kg/ha/an.

- Les traitements paillés ont des pertes faibles qui restent généralement inférieures à 13 kg/ha/an pour un élément chimique. Sur ces traitements peu érodés, les éléments chimiques perdus proviennent essentiellement du ruissellement (85% à 99% des pertes chimiques totales).

- Les pertes en nutriments sur les deux "bananeraies établies" (Ba3 et Ba4) sont comparables d'une parcelle à l'autre et elles sont également faibles (pertes < 10 kg/ha/an pour un élément chimique). La majorité des pertes chimiques résultent du ruissellement : par exemple, le potassium contenu dans le ruissellement représente près de 90% de la perte chimique total en K (figure 5.92a).

- Les pertes chimiques sur les "sols nus" sont considérables malgré leurs faibles teneurs en nutriments (pas d'épandage d'engrais sur ce traitement durant les deux campagnes 1999 et 2000). Elles sont essentiellement dues à l'érosion : 97 à 99% des éléments perdus proviennent des sédiments érodés. En outre, elles augmentent avec la perte en terre et donc avec la pente (érosion en rigoles et par reptation).

Il ressort que l'érosion hydrique appauvrit le sol.

b) – Les pertes chimiques totales en surface et en profondeur sur la "bananeraie établie"

A partir des lysimètres placés sous les bananiers, nous avons pu évaluer la perte en nutriments par drainage (ou lixiviation des éléments chimiques).

Cela a permis de compléter l'estimation des nutriments perdus en surface (ruissellement + érosion) et en profondeur (tableau 5.5).

Tableau 5.5 – Estimation des pertes en nutriments en surface (ruissellement + érosion) et en profondeur (drainage) sous "bananeraie établie".

	Pertes en nutriments				
	K	Ca	Mg	P	N total
<i>Campagnes 1999+2000</i>	(kg/ha/an)	(kg/ha/an)	(kg/ha/an)	(kg/ha/an)	(kg/ha/an)
Pertes chimiques par E	0,75	1,72	0,23	0,01	1,05
Pertes chimiques par LR	7,03	1,75	0,20	0,27	2,77
Pertes chimiques par Dr	12,84	191,38	71,77	1,07	230,86
Total (E+LR+Dr)	20,61	194,85	72,20	1,35	234,68
Total (E+LR)	7,77	3,47	0,43	0,28	3,81
Total (LR+Dr)	19,87	193,13	71,97	1,34	233,63
Valeurs relatives / Total (E+LR+Dr)					
Pertes chimiques par E	3,6%	0,9%	0,3%	0,8%	0,4%
Pertes chimiques par LR	34,1%	0,9%	0,3%	20,1%	1,2%
Pertes chimiques par Dr	62,3%	98,2%	99,4%	79,0%	98,4%
Valeurs relatives / Total (LR+Dr)					
Pertes chimiques par LR	35,4%	0,9%	0,3%	20,3%	1,2%
Pertes chimiques par Dr	64,6%	99,1%	99,7%	79,7%	98,8%

D'après ce tableau 5.5, et en incluant le drainage, les pertes chimiques totales sont très élevées : K=21 kg/ha/an, Ca=195 kg/ha/an, Mg=72 kg/ha/an et N total=235 kg/ha/an.

La majorité des pertes en nutriments se déroule par drainage : 62% de K, 80% de P et 98% de Ca ou de N total sont entraînés par les eaux drainées.

La faible érosion observée sous "bananeraie établie" expliquerait en partie l'importance de la lixiviation sur un sol très stable et perméable.

En Côte d'Ivoire, sur un sol ferrallitique, des auteurs ont aussi relevé des pertes chimiques similaires sous des bananiers, à savoir des pertes en nutriments plus importantes par drainage (lixiviation) que par ruissellement (GODEFROY *et al.*, 1970 ; ROOSE et GODEFROY, 1977). Selon ces auteurs, par rapport aux pertes totales, le drainage entraînait près de 95-98% de Ca, de 93-96% de N total et de 70-80% de Mg.

En outre, ils ont trouvé des pertes en P relativement faibles : environ 1 à 3,5 kg/ha/an par drainage et 0,4 à 1,2 kg/ha/an par ruissellement.

On constate donc que les pertes en nutriments observées sous "bananeraies établies" martiniquaises sont de même ordre de grandeur que celles relevées en Côte d'Ivoire.

Tous les éléments nutritifs subissent une lixiviation importante. Dès lors, le drainage entraînerait un enrichissement du sous-sol important en éléments chimiques.

Face à cela, faire ruisseler la parcelle serait une solution adaptée car les eaux de ruissellement sont moins concentrées chimiquement que les eaux de drainages (par exemple : $\text{NO}_3=1$ à 4 mg/l contre 7 à 29 mg/l, Ca=3 à 7 mg/l contre 29 à 43 mg/l et Mg=0,2 à 0,5 mg/l contre 9 à 16 mg/l). Dans leur étude traitant des plans de fumure sur le sol brun à halloysite, GODEFROY et DORMOY (1989) ont même noté que le ruissellement « préserve » l'azote du lessivage. Mais nous avons vu que le ruissellement est particulièrement le facteur déterminant de la perte en terre dans le cas de l'érosion en rigoles.

La fertilisation par épandage fractionné était déjà employée dans le cas de la bananeraie établie de RLZ et elle était de 10 à 12 applications de 100 g d'engrais complet (NPK 14-4-28+5 MgO) selon le seuil critique de pluviosité (SCP) – pour une pluviosité de 2000-2500 mm : 10 à 12 applications de 100 à 120 g d'azote et autant de potassium – (GODEFROY et DORMOY, 1989). Fractionner encore plus les apports seraient une solution, mais elle nécessite encore plus de passages et requiert plus de main d'œuvre.

En contrôlant le ruissellement en surface par la gestion des résidus, il serait alors possible de réduire les pertes chimiques sans provoquer de perte en terre par érosion en rigoles.

6 – APPLICATIONS PRATIQUES

6.1 – Lutte anti-érosive (L.A.E.) par la gestion des résidus de culture

Les résultats des observations de 1999 et 2000 ont montré que, parmi les systèmes proposés, il existe globalement trois comportements des cultures face au ruissellement et à l'érosion :

- le traitement très érodé : l'"ananas mécanisé et billonné" (An6) où le travail du sol très poussé et le billonnage favorisent les écoulements d'eau et l'érosion ($E=5$ à 29 t/ha);
- le traitement peu érodé : les "bananeraies établies" (Ba3) et (Ba4) où le paillage partiel, disposé en bandes perpendiculaires à la pente, empêche une perte en terre importante sans toutefois limiter le ruissellement ($E=0,4$ à $0,6$ t/ha);
- le traitement conservant le sol de l'érosion : les cultures paillées d'ananas (An5) et de canne à sucre (Ca2, Ca8 et Ca10) où la bonne couverture du sol, assurée par les résidus disposés dans les inter - rangs protègent 80% à 98% de la surface du sol contre l'érosion hydrique ($E<0,1$ t/ha).

La couverture du sol par les résidus et leur organisation jouent un rôle important dans la lutte anti-érosive (L.A.E. en abrégé). Parmi les études sur la conservation du sol (paillage, bandes enherbées, travail minimum, haies...), la couverture du sol (par paillage ou par plants de couverture) semble être le moyen le plus aisé à mettre en place et le plus efficace car elle agit directement en surface, notamment en protégeant le sol de l'agressivité des gouttes de pluie et en favorisant une rugosité élevée, freinant ainsi le cheminement du ruissellement.

ROOSE (1994) a démontré l'efficacité d'une couverture au sol (canopée et litière) sur la conservation du sol et a souligné que plus cette couverture est basse (notamment la litière), plus l'érosion devient faible. Au Burundi, RISHIRUMUHIRWA (1997) a fait ressortir l'efficacité de l'organisation des résidus en bandes contre l'érosion.

En système d'exploitation intensive, les "bananeraies établies" (bananiers âgés de plus de deux ans) fournissent suffisamment de résidus (résidu= 6 à 11 t/ha – cf. *chapitre 2*) pour que la L.A.E. puisse s'organiser efficacement grâce à la disposition de la litière en andins perpendiculaires à la pente. L'érosion hydrique observée devient faible : la perte en terre se produit essentiellement sous forme de fines particules ou suspensions. Les sédiments grossiers (agrégats) sont piégés dans les zones creuses quand le ruissellement perd de sa capacité de transport au contact d'une rugosité élevée due au paillage. La vitesse du ruissellement diminue quand il y a des barrières de paillis et des adventices maîtrisées.

La bananeraie âgée d'au moins 2 ans s'érode donc peu et "s'auto-immunise" pratiquement contre la perte en terre grâce à la gestion de ses résidus de culture en bandes perpendiculaire à la pente.

Par conséquent, les risques d'érosion hydrique semblent limités aux événements exceptionnels (pluies cycloniques) et se produisent durant les premiers mois de plantation. En effet, durant cette période, la parcelle est souvent dénudée : le sol est exposé aux pluies en raison d'un couvert végétal encore peu étendu des jeunes pieds et surtout de l'absence de résidus de culture en surface.

Pour limiter les risques de perte en terre durant cette période critique, il suffirait de protéger le sol à partir d'une plante de couverture ou d'un paillage fourni par la culture précédente (ananas ou canne). Rappelons que, d'après nos résultats, les risques de pertes en terre sont faibles avec un taux de résidus organisés et couvrant seulement 30% de la surface parcellaire (cf. § 4.6 – *Les états de surface des parcelles d'érosion*).

Les rotations de culture (ananas et canne) semblent non seulement être un bon moyen pour assainir le sol des parasites mais aussi pour faire de la L.A.E., surtout quand leurs résidus sont maintenus à la surface du sol lors du changement de culture (ex : résidus foliaires de canne=5 à 9 t/ha – cf. chapitre 4).

Comme l'ananas, la canne à sucre laisse beaucoup de résidus après une seule année de culture (le taux de surface couverte peut atteindre 98% de la parcelle).

Lors de la replantation des jeunes bananiers (vitroplants ou rejets), la conservation à la surface du sol des résidus de culture de canne et d'ananas permettrait de protéger le sol des risques d'érosion. Après récolte et destruction des plants de canne et d'ananas, les résidus pourraient être mis en bandes dans les inter - rangs au moment où les bananiers sont plantés manuellement. La jeune bananeraie fraîchement plantée disposerait alors d'une couverture au sol contre l'érosion.

Résumé

En système d'exploitation intensive, la bananeraie établie (âgée d'au moins 2 ans) fournit suffisamment de résidus en surface pour que la L.A.E. puisse s'organiser aisément et efficacement à partir de la gestion de la litière en bandes perpendiculaires à la pente.

Pour limiter les risques de perte en terre après la plantation de jeunes bananiers – période critique où la parcelle est très bien exposée aux pluies érosives – les rotations de culture avec la canne ou l'ananas semblent être une solution adéquate non seulement pour assainir le sol des parasites et le restructurer, mais aussi pour pratiquer facilement et efficacement la L.A.E.

6.2 – Travail du sol

Bon nombre d'études décrivent l'influence positive de la réduction du travail du sol et du maintien d'une litière en surface sur la conservation des terres contre l'érosion (LAL, 1973a et 1973b ; ALBRECHT et al., 1992 ; HARTMANN et al., 1998 ; DERPSCH, 1999).

Pratiqué dans l'antiquité par les Egyptiens et les Incas puis oublié après en raison de la mécanisation des cultures, le travail minimum du sol est devenu de plus en plus une initiative adaptée et recommandée face aux problèmes de dégradation du sol et de pollution agricole. En effet, depuis les années 1940, la réduction du travail minimum du sol a été remarquablement testée comme une bonne technique agricole et son succès est particulièrement dû au contrôle des adventices par la mise au point d'herbicides de plus en plus performants (PHILLIPS et PHILLIPS, 1984 ; DERPSCH, 1999).

Dans notre étude, l'effet du travail minimum n'est pas distinct car les traitements de culture proposés ici ne permettent pas de comparer directement les modes de préparation du sol. La pratique culturale (notamment le paillage) a été bien plus mise en évidence que le travail du sol à travers les rotations de culture avec la canne ou l'ananas à plat.

Seule la parcelle (An6) montre que la préparation du sol par une mécanisation lourde (enfouissement des résidus frais et billonnage) présente des effets néfastes contre la conservation du sol et la réduction des pertes en éléments nutritifs. Le profil cultural de cette parcelle a révélé,

à -40 cm de profondeur, l'existence d'une limite compacte et continue ou semelle de labour (cohésion au pénétromètre : 4 à 5 kg/cm²) limitant sans doute l'infiltration (cf. § 4.0 – *Quelques résultats agronomiques*). En outre, le billonnage dans le sens de la pente favorise la concentration des eaux de ruissellement qui entraîne aisément la terre érodée.

A travers cet exemple, il semble que la mécanisation lourde du sol soit donc à proscrire au profit d'un travail minimum permettant de préparer la terre (ameublissement et agrégation de mottes) sur la ligne de plantation sans provoquer de tassement du sol. A notre connaissance, la rotobêche, tirée par un tracteur, permet de mécaniser le travail superficiel du sol et cette pratique a été conseillée et testée sur des vertisols au sud de l'île (ALBRECHT et al., 1992 ; HARTMANN et al., 1998).

Résumé

Lors de la plantation des cultures, la préparation du sol par un travail minimum ou superficiel est plus adaptée pour conserver le sol de l'érosion et limiter les pertes en nutriments par le ruissellement.

6.3 – La gestion du ruissellement/drainage

6.31 – Au niveau de la parcelle

Le sol brun rouille à halloysite est un sol perméable, très stable et très résistant à l'érosion hydrique (indice d'érodibilité $K=0,08$ à $0,1$ et stabilité structurale $MWD=1,6$ à $2,4$ mm). Durant la saison cyclonique, la pluviosité est largement excédentaire ($P=1400$ à 1550 mm de juillet à décembre) et, sur ce sol brun tropical cultivé, l'évacuation du surplus d'eau s'effectue généralement par le drainage (Dr varie de 500 à 1320 mm en saison humide) et peut provoquer une hydromorphie temporaire du sol. Or, les bananiers supportent mal le stress hydrique, tant lorsqu'il s'agit d'un déficit en eau que dans le cas d'une saturation (asphyxie racinaire). En outre, nous avons vu que les eaux drainées sont bien plus riches en éléments nutritifs que les eaux ruisselées de surface (notamment dans l'ordre : $Ca > Mg > K$) : l'évacuation des excès d'eau par drainage deviendrait une source de pollution des eaux souterraines.

A priori, évacuer l'excédent d'eau en surface par le ruissellement serait une bonne solution si l'on désire, dans l'immédiat, réduire la perte en éléments nutritifs et leur contamination dans l'environnement mais, à long terme, elle provoquerait une érosion hydrique plus nuisible à la fertilité du sol (les pertes chimiques augmentent avec la perte en terre).

L'idéal serait d'évacuer lentement le ruissellement (eau moins riche en nutriments) tout en préservant le sol de l'érosion hydrique.

Or, l'évacuation d'eau par ruissellement est délicate à gérer sur les fortes pentes (risques de ravinement) mais elle reste possible si les résidus de culture sont suffisamment abondants pour permettre leur organisation en bandes, de façon à protéger partiellement le sol de l'agressivité des gouttes de pluie et surtout à dissiper la capacité de transport du ruissellement. L'énergie de transport du ruissellement diminuant, l'érosion serait plus faible – les gros agrégats érodés sont piégés par la rugosité due au paillage – sans pour autant limiter le cheminement du ruissellement.

Dès lors, la solution pour évacuer le surplus d'eau en saison humide consisterait à gérer, au niveau de la parcelle, un ruissellement ralenti préservant ainsi le sol de l'érosion hydrique. La gestion des résidus de culture ou paillis à la surface du sol s'avère justement être un bon moyen pour contrôler le ruissellement.

6.32 – Au niveau du versant

Actuellement, la gestion du surplus d'eau (asphyxie des bananiers) et la technique de L.A.E. préconisées font passer des fossés de drainage ou d'évacuation de près de 1 m de profondeur dans les bananeraies, même sur les fortes pentes ($p=10$ à 40%). Bien que les fossés de L.A.E. soient distincts de ceux du drainage (NAYRAL et RENEL, 1998), ces drains se confondent souvent dans les bananeraies et leur tracé n'est pas toujours justifié.

Traversant les parcelles situées sur un versant raide, ces fossés créent le long de leur tracé, des pentes latérales encore plus fortes ($p=40$ à 70%) (PHOTO 2). En saison cyclonique, les risques de décrochage et les mouvements de masse le long des flancs abrupts des fossés sont un danger potentiel pour l'érosion en masse et en ravin qui, bien que ponctuel et exceptionnel, est tout autant nuisible à la conservation du sol et à la protection des aménagements à l'aval. Ces fossés profonds sont donc sujet à une perte massive de terre lors des pluies cycloniques et pourraient jouer le rôle inverse de L.A.E. qui leur était attribué.

Notons que s'il existe des drains atteints d'un ravinement ou des ravins naturels dans les parcelles, voire sur le versant, ils devraient être corrigés par un enherbement contrôlé, sans nécessairement procéder à un aménagement lourd.

Les parcelles bananières sont souvent entrecoupées de pistes empierrées pour permettre la récolte des fruits. L'utilisation de ces chemins (empierrés) pour évacuer le surplus d'eau serait d'autant plus envisageable qu'ils ceinturent les parcelles et présentent des aptitudes à écouler l'eau de surface (chemin légèrement incliné à contre pente de l'inclinaison générale du versant, résistance au ruissellement grâce aux cailloux imbriqués et cimentés par les adventices, rugosité due aux pierres et mauvaises herbes...)

Conclusion

Les plantations bananières seraient à remodeler, depuis la parcelle – avec une organisation du paillage dans la L.A.E. – jusqu'à son versant où les ravins déjà en place seraient laissés pour évacuer l'eau et seraient contrôlés par un enherbement tandis que les chemins empierrés devraient être aménagés pour recevoir et écouler calmement le ruissellement (schéma 6.1). Les haies d'érythrines font office de brise-vent, et leur disposition dans le paysage bananier pourrait aussi servir à la L.A.E. et à la gestion de l'eau, notamment avec l'organisation préférentielle en amont d'une circulation d'eau et la production de litière à partir de feuilles.

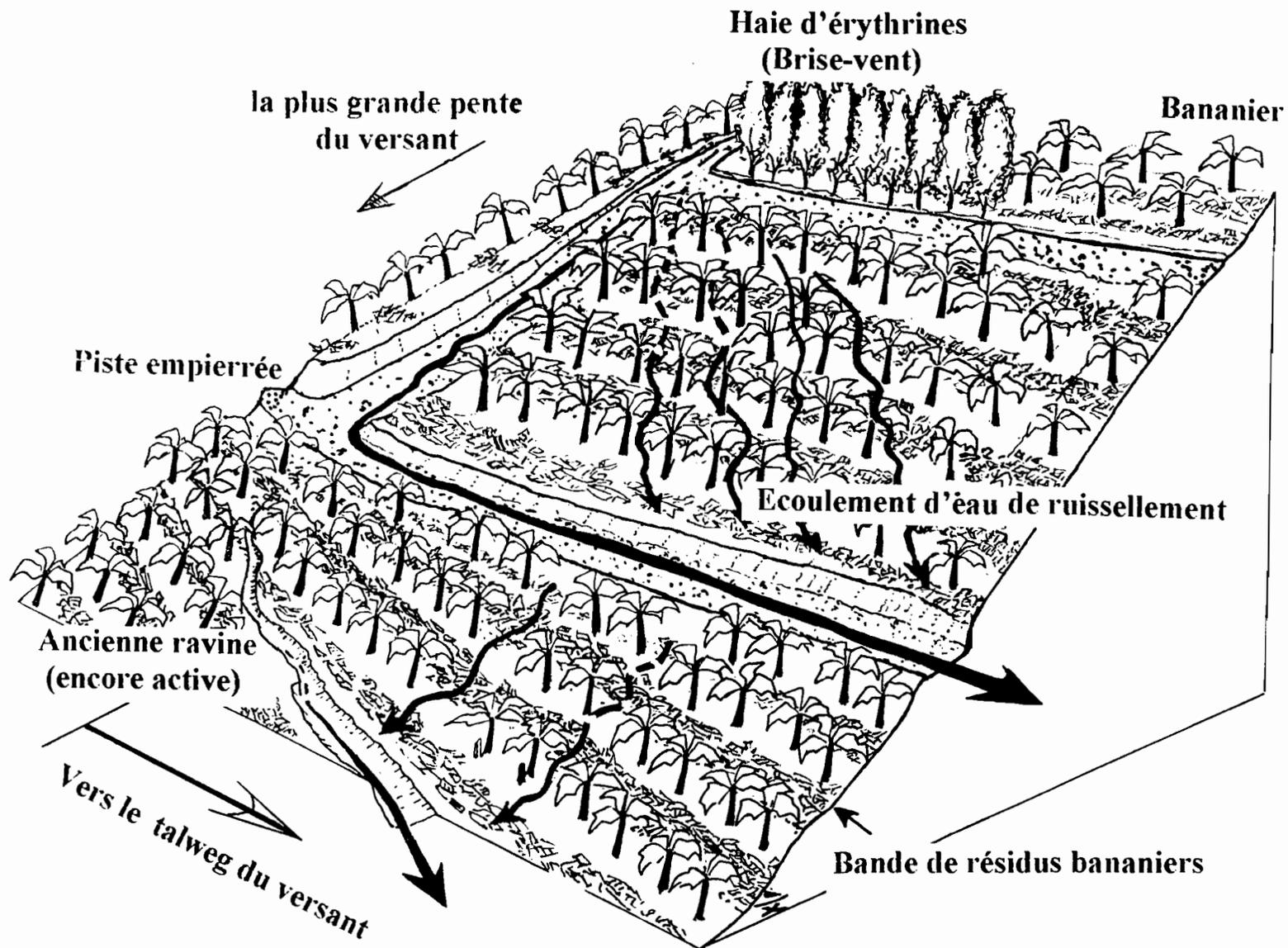


Schéma 6.1 – Vue schématique du paillage des résidus mis en bandes perpendiculaires à la plus grande pente, dans une "bananeraie établie" (âge de plus de 2 ans) en Martinique.

7 – CONCLUSION

7.1 – Rappel de la problématique

La monoculture bananière pratiquée aux Antilles françaises nécessite beaucoup d'engrais et de pesticides. En climat tropical insulaire, où la pluviosité est agressive et élevée et où le ruissellement et le drainage en sous-sol sont des vecteurs de transferts solides/solubles, ses répercussions éventuelles sur l'environnement seraient d'autant plus grandes que les bananeraies sont situées près des sources d'eau et des zones d'habitations. Mais, jusqu'à présent, peu d'études ont permis d'estimer l'importance de l'érosion et des pertes en nutriments en parcelles cultivées.

Devant la demande de mesures agri-environnementales en faveur d'une conservation des ressources en sol et de la réduction de la pollution de l'environnement, nous avons donc mis en place 10 parcelles d'érosion et cinq lysimètres pour étudier le comportement des systèmes de cultures bananières sur différentes pentes (11%-25%-40%) soumis au ruissellement et à l'érosion. Ce dispositif permet d'estimer le bilan hydrique et les pertes en nutriments.

7.2 – Rappel des résultats

a) – Ruissellement et érosion

Les résultats observés sur la majorité des parcelles en 1999 et 2000 sont comparables, malgré la variation de la pluviosité. Globalement, on peut observer différents groupes de comportements. Par ailleurs, les études complémentaires (tests de stabilité des agrégats et simulations de pluies) ont apporté des éléments complémentaires de réponse quant à la connaissance des processus de ruissellement et d'érosion.

- Sur "sol nu" (Nu1, Nu7 et Nu9), l'érosion augmente avec la pente tandis que le ruissellement diminue (de la pente $p=11\%$ à 40% , $E=85$ à 165 t/ha/an et $LR=184$ à 87 mm). Les phénomènes d'érosion passent de l'érosion "en nappe et rigoles" à celle "en rigoles", puis à celle "en rigoles et par reptation". Les simulations de pluies indiquent aussi que le ruissellement diminue de la pente $p=25\%$ à 40% ($LR_{c60}=59$ à 31 mm). Par ailleurs, ces résultats montrent que le processus d'érosion est non sélective et change avec la pente : le ruissellement devient plus incisif malgré une diminution de sa lame d'eau, une meilleure infiltration (pente hydraulique), un sol plus résistant (indice d'érodibilité $K=0,12$ à $0,02$) et une forte stabilité des agrégats à l'eau ($MWD=1,6$ à $2,7$ mm) liée à la texture argileuse du sol volcanique (60 à 70% d'argile) et à la constitution minéralogique des argiles (halloysite - substances amorphes - oxydes et hydroxydes de fer et d'aluminium).

- Sur les traitements paillés de canne (Ca2, Ca8 et Ca10) et d'ananas à plat (An5), le ruissellement et la perte en terre ont été négligeables, même en situation de forte pente ($LR<31$ mm et $E<0,2$ t/ha/an). Le taux de couverture de la parcelle (S.C.) – composé des résidus, du couvert végétal, des adventices et des cailloux – est très élevé sur ces traitements toute l'année (Surface couverte S.C.=80 à 100%). La couverture du sol s'avère donc très efficace pour l'infiltration et la protection du sol. D'ailleurs, les simulations de pluies cycloniques n'ont pas provoqué de ruissellement même après trois heures d'arrosage (300 mm) à très forte

intensité ($I_p=100$ mm/h). Sur ces parcelles, la stabilité des agrégats dans les cannes et dans les rangs des ananas a augmenté d'une année à l'autre en liaison avec le taux en C organique dans le sol.

- Sur la parcelle d'"ananas mécanisé et billonné" (An6), le ruissellement est fréquent et important (LR=152 à 361 mm), mais l'érosion varie d'une année à l'autre ($E=29$ à 5 t/ha/an) en raison du taux de couverture bien plus élevé (S.C.=30% contre 80% de juin 1999 à juin 2000). L'effet du sillon qui concentre les eaux expliquerait la sensibilité de cette parcelle au ruissellement et à l'érosion ; sous simulations de pluies, le ruissellement commence très tôt, atteint très rapidement le régime permanent ($R_x=91$ mm/h en moins de 40 minutes) et, au bout d'une heure, 91% de la pluie artificielle ruisselle.

- En "bananeraie établie" (Ba3 et Ba4), les résultats sur les deux parcelles d'érosion sont similaires (LR=70 à 83 mm en 1999, LR=36 à 40 mm en 2000 et $E=0,4$ à 0,6 t/ha/an) : le milieu expérimental est donc homogène. La faible perte en terre observée s'expliquerait par le paillage des résidus de culture mis en bandes : en effet, le taux de couverture de la parcelle varie mensuellement de 40% à 80% et cette gestion du paillis est un moyen de lutte anti-érosive qui a fait ses preuves en Afrique. En effet, ces résidus de culture font obstacles au cheminement du ruissellement et piègent les sédiments. Les résultats de pluies simulées confirment l'importance du taux de couverture et de la rugosité sur l'infiltration et la protection du sol.

b) – Bilan hydrique et pertes en nutriments en bananeraie

Ce dispositif nous a permis d'estimer expérimentalement tous les paramètres du bilan hydrique qui est exprimé par le drainage : $Dr = P - (LR + ETP +/- Var. Stock)$.

Celui-ci est particulièrement actif pour la "bananeraie établie" (près de 32% à 37% de la pluviosité cumulée durant la saison humide). L'approximation des drainages calculé et observé aux lysimètres semble assez satisfaisante (maximum d'écart = 27%).

A partir du drainage observé sur cinq lysimètres, nous avons évalué les pertes en nutriments sous bananiers, puis nous les avons comparées aux pertes chimiques estimées par ruissellement et érosion.

En "bananeraie établie", les teneurs chimiques moyennes en N-P-K sont de l'ordre de :

- pour le ruissellement : $NO_3=1$ à 4 mg/l avec des pics à 30 mg/l ; $K=7$ à 20 mg/l avec des pics à 60 à 120 mg/l ; $P_2O_5=0,5$ à 2 mg/l.
- pour le drainage : $NO_3=7$ à 29 mg/l avec des pics à 40 mg/l ; $K=0,5$ à 3 mg/l avec des pics à 20 mg/l ; $P_2O_5=0,1$ à 0,8 mg/l.

Les eaux de ruissellement sont donc moins riches chimiquement que les eaux de drainages.

L'estimation des pertes chimiques en parcelles expérimentales montre que celles-ci augmentent avec l'érosion ; à titre indicatif, la parcelle d'"ananas mécanisé et billonné" (An6) perd près de 10 fois plus de K (44 kg/ha/an contre 4) 37 fois plus de Ca (56 kg/ha/an contre 1,5) ou encore 90 fois plus de N total (63kg/ha/an contre 0,7) que celle portant des ananas plantés à plat et paillés (An5).

En "bananeraie établie", ces pertes en nutriments sont **essentiellement dues au drainage** et elles sont comparables à celles estimées dans les bananeraies en Côte d'Ivoire ; à titre indicatif, les pertes en K ($K=13 \text{ kg/ha/an}$) représentent 62% du total perdu (ruissellement + érosion + drainage), celles en P et en N total s'élèvent à 80% et à 99% ($P=1,1 \text{ kg/ha/an}$ et $N \text{ total}=231 \text{ kg/ha/an}$).

7.3 – Conclusions théoriques et pratiques

– *Les processus d'érosion*

Sous ce climat tropical insulaire, les pluies sont particulièrement agressives (indice $R=915 \text{ J/m}^2/\text{h}$) notamment lors du passage des tempêtes tropicales. Par exemple, le 27/11/99 il a plu 190 mm avec des intensités maximales en 30 minutes de 76 mm/h. Dès lors, les risques de ruissellement et d'érosion sont grands.

Sur le sol brun à halloysite de RLZ, très résistant à la battance, l'érosion augmente avec la pente tandis que le ruissellement diminue. Les processus évoluent donc d'une érosion "en nappe et rigoles" (sur 11% de pente) à une érosion "en rigoles" et même "en reptation" ("*Creeping*") lorsque la pente passe de 25 à 40%. Contrairement à l'érosion en nappe sur faible pente, l'érosion en rigole observée sur ces pentes argileuses n'est pas sélective.

L'analyse statistique par «segmentation» des facteurs explicatifs et des résultats sous pluies naturelles a fait apparaître deux groupes de déterminants.

- Pour le ruissellement : l'agressivité des pluies (indice R), la surface couverte (S.C.) et la porosité. Le ruissellement est donc de type "hortonien" (Intensité pluie > Intensité infiltration) ;

- Pour l'érosion : la lame ruisselée (LR) et la surface couverte (S.C.). Ce qui signifie que sur ces fortes pentes, l'énergie du ruissellement dépasse l'énergie de battance des pluies. On passe du modèle USLE à celui MUSLE ("*Modified USLE*"). Ce qui est logique car les pentes sont fortes.

– *La Lutte anti-érosive (LAE)*

Face à l'importance des risques d'érosion, les systèmes de culture sous paillage sont apparus comme un moyen efficace de réduire le ruissellement, l'érosion et les pertes en nutriments qui y sont attachées. Par contre, le système conventionnel actuel qui fait appel à un travail poussé des terres et des plantations sur sol nu a abouti à des pertes en eau, en terre et en nutriments élevées (par exemple $E=34 \text{ t/ha}$ en deux ans sur ananas billonné). Les cultures de canne, d'ananas et de banane en rotation fournissant beaucoup de résidus organiques paraissent donc un moyen efficace de couvrir le sol et de réduire l'érosion en temps même que d'assainir le sol des parasites dont souffre la bananeraie.

– *Les pertes chimiques*

Dans la "bananeraie établie" avec bandes de litière, les pertes chimiques en surface sont faibles sauf lorsqu'on apporte l'azote et la potasse autour du pseudo-tronc. En effet, ce dernier concentre localement les eaux de pluies. Le phosphore est peu mobile, mais on a observé dans les eaux de drainage des pics de nitrate ($\text{NO}_3=40 \text{ mg/l}$) en saison humide et donc des risques de pollution des ressources en eau potable. Pour réduire les risques de lixiviation, on peut préconiser de fractionner encore plus les doses de K et N (plus de main d'œuvre) ou de pulvériser à la surface des feuilles plutôt que d'épandre l'engrais en grain autour des souches.

préconiser de fractionner encore plus les doses de K et N (plus de main d'œuvre) ou de pulvériser à la surface des feuilles plutôt que d'épandre l'engrais en grain autour des souches.

– *Systèmes durables*

Pour faire face à la fois aux risques de pertes de nutriments, d'engorgement du sol au niveau des racines et d'érosion de surface, nous proposons de tolérer un certain ruissellement en surface, ralenti par les bandes de litière et un drainage des versants au niveau des pistes stabilisées (*cf. schéma 6.1 du chapitre 6*). Les drains actuels présentent des talus à pentes très raides qui risquent de provoquer des glissements ou des ravinements régressifs.

7.4 – Perspectives

Dans cette étude, nous avons établi les premières bases scientifiques en faveur d'un système de culture bananière respectant mieux les ressources en sol et en eau.

- Les techniques culturales où le travail est réduit au minimum et où la litière protège continuellement le sol, suppriment les risques d'érosion. Il reste à démontrer que l'on peut laisser longtemps le sol sans le travailler (malgré les nombreux passages des ouvriers) ou si l'on peut le travailler et le couvrir en gérant les adventices ou les plantes de couvertures.

- Au point de vue des nutriments, on a constaté que les pertes chimiques augmentent avec l'érosion, mais pas avec le ruissellement (eau peu chargée chimiquement). Par contre, nous avons mis en évidence les dangers de pollution lors des saisons humides où le drainage est particulièrement actif. Pour faire face aux problèmes d'érosion, d'engorgement et de drainage, il nous semble possible de développer des systèmes de cultures intensifs avec travail du sol limité et litière permanente permettant de gérer le ruissellement en surface.

- Le dispositif en parcelle nous a permis d'aborder les mécanismes. Il serait intéressant d'étudier les répercussions de l'érosion et des pertes chimiques à l'échelle du bassin versant pour confirmer les risques d'érosion et de pollution par les cultures intensives.

- PLANCHE A -



Photo 1 – Paysage d’une jeune bananeraie à "Rivière Lézarde" (09/2000).



Photo 2 – Exemple d’un fossé de drainage dans une jeune bananeraie (09/2000).

- PLANCHE B -



Photo 3 – Construction des partiteurs au sommet du piège à sédiments à l’aval d’une future parcelle d’érosion (01/1999).



Photo 4 – Exemple d’une parcelle d’érosion : le traitement "sol nu" (Nu1) (08/1999).



Photo 5 – Cas d’une forte érosion sur la parcelle ananas mécanisé et billonné (An6) après la tempête tropicale du 27/11/1999 (P=190 mm).

- PLANCHE C -



**Photo 7 – Parcelle de canne (Ca8)
(09/2000)**



**Photo 8 – Parcelle de "bananeraie éta-
blie" (Ba4) (09/2000).**



**Photo 9 – Comparaison des parcelles d'ananas à plat avec paillis (An5) et d'ananas
mécanisé et billonné (An6) en 2^{ème} cycles (09/2000).**

8 – BIBLIOGRAPHIE

- ALBERT P. et SPIESER J., (1999) – Atlas climatique. Le temps à la Martinique., Ed. Météofrance, Martinique, 101 p.
- ALBRECHT A., RANGON L., BARRET P., (1992) – Effets de la matière organique sur la stabilité structurale et la détachabilité d'un vertisol et d'un ferrisol (Martinique)., Cahiers ORSTOM, Pédologie n° 27, pp : 121- 133.
- AGRESTE DOM, (1999) – Regard sur l'agriculture dans les départements d'outre-mer., Ministère de l'agriculture et de la pêche, 55 p.
- AMEZKETA E., SINGER M.J., LE BISSONNAIS Y., (1996) – Testing a new procedure for measuring Water Stable Aggregation., Soil Sci. Soc. Am. Journal vol. 60, pp : 888-894.
- ASSELIN J., VALENTIN C., (1978) – Construction et mise au point d'un infiltromètre à aspersion., Cahiers ORSTOM Hydrologie vol.15 n°4, pp : 321-347.
- BARTHES B., (1998) – Stabilité structurale : méthode développée au Laboratoire d'étude du Comportement des Sols Cultivés (LCSC)., ORSTOM Montpellier.
- BARTHES B., ALBRECHT J., ASSELIN J., DE NONI G., ROOSE E., VIENNOT M., (1998) – Pratiques culturales et érodibilité dans les Rougiers de Camarès (Aveyron)., EGS n°5, pp : 157-177.
- BARTHES B., AZOTONDE A., BOLI B.Z., PRAT C., ROOSE E., (2000) – Field-scale runoff and erosion in relation to topsoil aggregate stability in three tropical regions (Benin, Cameroon, Mexico)., European Journal of Soil Science n°51, pp : 485-495.
- BASSINI A., (1975) – Aspect synthétique de la segmentation et traitements de variables qualitatives à modalités ordonnées., Thèse de 3^{ème} cycle, Université Paul Sabatier, Toulouse, ? p.
- BEN-HUR M.I., SHAINBERG I., BAKKER D., KEREN R., (1985) – Effect of soil texture and CaCO₃ content on water infiltration in crusted soils as related to water salinity., Irrig. Sci. n°6, pp : 181-194.
- BOIFFIN J., (1984) – La dégradation structurale des couches superficielles du sol sous l'action des pluies., Thèse sciences agronomiques INA-PG, 320 p.
- BOLL J., SELKER J.S., NIJSSEN B.M., STEENHUIS T.S., VAN WINKLE J., JOLLES E., (1992) – Water quality sampling under preferential flow conditions., in Lysimeters for evapotranspiration water quality sampling, pp : 290-298.
- BOLLINE A., ROUSSEAU P., (1978) – Erodibilité des sols de moyenne et haute Belgique. Utilisation d'une méthode de calcul du facteur K de l'équation universelle de perte en terre., Bull. Soc., Géogr. de Liège vol.14 n°4, pp : 127-140.
- BOYER J., (1982) – Les sols ferrallitiques – Facteurs de fertilité et utilisation des sols., ORSTOM, 384 p.
- BRAHY V., (1998) – Les lysimètres (avec tension) de type « mèches en fibre de verre » (Capillarity Wicks Lysimeter)., Université Catholique de Louvain, 3 p.

- CABIDOUCHE Y.M. et NEY B., (1987) – Fonctionnement hydrique de sols à argile gonflante cultivés. II – Analyse expérimentale des fonctionnements hydriques associés à deux états structuraux en vertisol irrigué., *Agronomie* vol.7 n°4, pp : 257 – 270.
- CABIDOUCHE Y.M. and VOLTZ M., (1995) – Non-uniform volume and water content changes in swelling clay soil : II – A field study on a Vertisol., *European Journal of Soil Science* n°46, pp : 345-355.
- CABIDOUCHE Y.M., (1999) – Conservation des milieux insulaires volcaniques tropicaux et bonnes pratiques agricoles : état des lieux et axes de recherche., *Cinquantenaire de l'INRA aux Antilles – Guyane, Table Ronde sur l'agriculture raisonnée*, 11 p.
- CASENAVE C., VALENTIN C., (1989) – Les états de surfaces de la zone sahéliennes. Influence sur l'infiltration., Ed. ORSTOM Paris, 229 p.
- CENTRE TECHNIQUE DE LA CANNE A SUCRE, (1997) – Dix points sur la canne, le sucre et le rhum en Martinique., document CTCS Martinique, 32 p.
- CERIGHELLI R., (1955) – Cultures tropicales. I – Plantes vivrières., *Librairie J.B. BAILLIERE & Fils*, pp : 485-489.
- CHABRIER C. et DOREL M., (1998) – Projet d'étude – « Impact des pesticides sur l'environnement : étude de la contamination des eaux de ruissellement », document CIRAD-FLHOR Martinique, 7 p.
- CHAMPION J., (1967) – Les bananiers et leur culture. Tome I. Botanique et Génétique., Ed. SETCO, 214 p.
- CHATEL B., (1991) – Les bananes., *Collection Cyclope*, 115 p.
- CHENU C., (1989) – Influence of a fungal polysaccharide, scleroglucan, on clay microstructures., *Soil Biology and Chemistry* n°21, pp : 299-305.
- CHEVERRY C., (1983) – L'extraction de la « solution du sol » par le biais de bougies poreuses : une synthèse bibliographique des problèmes méthodologiques posés par ces dispositifs., *Bulletin G.F.H.N.* n°14, pp : 47-71.
- CHEVIGNARD T., (1985) – Etude de la formation actuelle d'horizons humifères en milieu tropical. Cas des sols de culture remodelés de la Martinique., 83 p.
- COCU N., (1999) – La carte des sols de Martinique comme support pour le cadrage de sites et la gestion agronomique. Exemple dans la vallée de la Lézarde., mémoire Ingénieur, Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux, 79 p + annexes.
- COLLINET J., VALENTIN C., (1979) – Analyse des différents facteurs intervenant sur l'hydrodynamique superficielle. Nouvelles perspectives – Applications agronomiques., *Cahiers ORSTOM Pédologie* vol.17 n°4, pp : 283-328.
- COLLINET J., (1988) – Etude expérimentale de l'érosion hydrique des sols représentatifs de l'Afrique de l'ouest. *Cahiers ORSTOM Pédologie* vol. 24, pp : 235-254.
- 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* vol. 3 pp : 91-121.
- COLMET-DAAGE F., (1969) – Légende de la carte des sols., 8 p.

- COLMET-DAAGE F., (1977) – Zonage cultural des régions bananières de Guadeloupe., ORSTOM centre Antilles – bureau des sols, 12 p.
- CNRS, (1977) – Atlas des départements français d'outre-mer (DOM). 2 – La Martinique., Ed. IGN, 72 p.
- DELVAUX B., (1988) – Constituants et propriétés de surface des sols dérivés de pyroclastes basaltiques du Cameroun occidental. Approche génétique de leur fertilité. Thèse Université Catholique de Louvain, 307 p.
- DELVAUX B., GUYOT P., (1989) – Caractérisation de l'enracinement du bananier au champ. Incidences sur les relations sol-plante dans les bananeraies de la Martinique., Fruits vol.44 n°12, pp : 633-647.
- DELVAUX B., PERRIER X., GUYOT P., (1990) – Diagnostic de la fertilité de systèmes culturaux intensifs en bananeraies à la Martinique., Fruits vol. 45 n°3, pp : ?
- DE NONI G., NOUVELOT J.F., TRUJILLO G., (1984) – Erosion and conservation of volcanic ash soils in the highlands of Ecuador: a case study. Sixth international soil classification workshop., Chile and Ecuador part 1, SMSS (Washington), PUCG (Santiago de Chile), pp : 263-274.
- DE NONI G., NOUVELOT J.F., TRUJILLO G., (1986) – Estudio cuantitativo de la erosión con fines de protección de los suelos : las parcelas de Alangasi y Ilalo., CEDIG-ORSTOM documentos de investigación n°6, Quito, pp : 35-47.
- DE NONI G., VIENNOT M., TRUJILLO G., (1989) – Mesures d'érosion dans les Andes de l'Equateur., Cahiers ORSTOM Pédologie vol. 25 n°1-2, pp : 171-182.
- DERPSCH R., (1999) – Historical review of No-tillage cultivation of crops., JIRCAS Working Report n°13, pp : 1-18.
- DIALLO D., (2000) – Erosion des sols en zone soudanienne du Mali. Transfert des matériaux érodés dans le bassin versant de Djitiko (Haut Niger)., Thèse Géographie Physique U.J.F (Grenoble I), 204 p.
- DOREL M., PERRIER X., (1990) – Influence du milieu et des techniques culturales sur la productivité des bananeraies de Guadeloupe. Enquête - diagnostic., Fruits vol.45 n°3, pp : 237-244.
- DOREL M., (1991) – Problèmes de préparation des sols en bananeraie. Cas des sols à halloysite., Fruits vol.46 n°4, pp : 419-427.
- DOREL M., LAFFORGUE A., BRETAUD P., LE BRETON M., (1996) – Etude de la contamination des eaux de ruissellement par les pesticides utilisés en bananeraie., Projet CORDET 93 D A 14, rapport d'exécution CIRAD-FLHOR / ORSTOM, 28 p.
- DOREL M., OZIER-LAFONTAINE H., (1997) – Pilotage de l'irrigation des bananeraies sur sols ferrallitiques et sols vertiques en Guadeloupe : recherche d'indicateurs de l'état hydrique de la culture., Fruits vol.53 n°1, pp : 17-26.
- DOREL M., RISEDE J.M., CHILLET M., LOEILLET D., TEMPLE L., (2000) – Development of sustainable banana farming systems in ultra-peripheral European areas., projet BANEURO., document CIRAD-FLHOR., ? p.
- DUCHAUFFOUR P., (1997) – Abrégé de pédologie. Sol, végétation, environnement. 5^{ème} édition. Ed. Masson, 291 p.

- DUCHAUFOR H., BIZIMANA M., MIKOKORO C., (1991) – Rapport annuel ISABU 1989-1990, Partie érosion. Département des études du milieu et des systèmes de production. Programme argoforesterie, sylviculture et érosion, ISABU., ? 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, 173 p.
- ELUSTONDO J., ANGERS D.A., LAVERDIERE M.R., N'DAYEGAMIYE A., (1990) – Etude comparative de l'agrégation et de la matière organique associée aux fractions granulométrique de sept sols sous culture de maïs ou en prairie., Canadian Journal of Soil Science n° 70, pp : 395-42.
- GAUDIN R., MAMISOA R., ORIOL P., (1998) – Analyses tensiométriques appliquées au pilotage d'irrigation., Cahiers Agricultures vol.7, pp : 131-138.
- GODEFROY J. et DORMOY M., (1989) – Dynamique des éléments minéraux fertilisants dans le complexe «sol-bananaie-climat ». Application à la programmation de la fumure. *IV – cas des sols bruns à halloysite (fin)*., Fruits vol. 44 n°1, pp : 3-12.
- GODEFROY J., MULLER M., ROOSE E., (1970) – Estimation des pertes par lixiviation des éléments fertilisants dans un sol de bananaie de Basse Côte d'Ivoire., Fruits vol.25 n°6, pp: 403-420.
- HARTMANN C., BLANCHART E., ALBRECHT A., BONNETON A., PARFAIT F., MAHIEU M., GAULLIER C., NDANDOU J.F., (1998) – Nouvelles techniques de préparation des vertisols en culture maraîchère à la Martinique. Incidences pédologiques et agro-économiques., Agriculture et Développement n°18, pp : 81 – 89.
- HAYNES R.J., SWIFT R.S., STEPHEN R.C., (1991) – Influence of mixed cropping rotations (pasture-arable) on organic matter content, water-stable aggregation and clod porosity in a group of soils., Soil Tillage and Research n°19, pp : 77-87.
- HENIN S., MONNIER G. , COMBEAU A., (1958) – Méthode pour l'étude de la stabilité structurale des sols., Ann. Agro. Vol.9 n°1, pp : 73-92.
- HEUSCH B., (1971) – Estimation et contrôle de l'érosion hydrique., Soc. Sci. Nat. Phys., Maroc, C.R. 37, pp : 41-54.
- HUDSON N.W., (1983) – Soil Conservation., Ed. Bastford, 324 p.
- HUDSON N.W., (1996) – Mesures de terrain de l'érosion et d'écoulement des eaux de surface. Bulletin pédologique de la FAO, 153 p.
- 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., in Bulletin Réseau Erosion vol. 1 n°19, pp : 206-215.
- KEMPER W.D., KOCH E.J., (1966) – Aggregate stability of soils from the western portions of the United States and Canada., USDA-ARS Tech. Bulletin 1355, U.S. Gov. Print. Office, Washington, DC.
- KEMPER W.D., ROSENAU, (1986) – Aggregate stability and size distribution. in A. Klude (ed.) Methods of soil analysis Part 1, Ed. Agron. Monogr. 9 ASA and ASSA, Madison, pp : 425-442.

- 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, pp : 299-344.
- LAL R., (1973a) – No-tillage effects on soil conditions and maize production in western Nigeria., Plant and Soil vol.4, pp : 321-331.
- LAL R., (1973b) – Effects of seed bed preparation and time of planting of maize in western Nigeria., Excpt. Agric. n°9, pp : 304-313.
- LAL R., (1976) – Soil erosion problems on an alfisol in Western Nigeria and their control., IITA Monograph I, 208 p.
- LAL R., (1979) – Soil erosion problem on an alfisol in Western Nigeria and their control., IITA Technical Bulletin n°1, 38 p.
- LASSOUDIÈRE A., (1980) – Matière végétale élaborée par le bananier Poyo depuis la plantation jusqu'à la récolte du deuxième cycle., Fruits vol.35 n°7-8, pp : 405-446.
- 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, pp : 31-40.
- LE BISSONNAIS Y., SINGER J., (1993) – Seal formation, runoff and interrill erosion from 17 California soils., Soil Science Society of America Journal n°57, pp : 224-229.
- LE BISSONNAIS Y., LE SOUDER C., (1995) – Mesurer la stabilité des sols pour évaluer leur sensibilité à la battance et à l'érosion., Etude et Gestion des Sols vol.2 n°1, pp : 43-56.
- LE BISSONNAIS Y., (1996) – Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility : I - Theory and methodology., European Journal of Soil Science n°47, pp : 425-437.
- LE BISSONNAIS Y., (1996) – Soil characteristics and aggregate stability., in Soil erosion, conservation and rehabilitation. Ed. M. Agassi, pp : 41-60.
- LE BISSONNAIS Y., ARROUYAIS D., (1997) – Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: II. Application to humic loamy soils with various organic carbon contents., European Journal of Soil Science n°48, pp : 39-48.
- LEVY G.J., VAN DER WATT H., (1988) – Effect of clay mineralogy and soil sodicity on soil infiltration rate., S. Afric. J. Plant Soil n°5, pp : 92-96.
- MANICHON H., (1982) – Influence des systèmes de culture sur le profil cultural : élaboration d'une méthode de diagnostic basée sur l'observation morphologique., Thèse Doct. Ingénieur INA-PG, 214 p.
- MARCHAL J. et MALLESSARD R., (1979) – Comparaison des immobilisations minérales de quatre cultivars de bananiers à fruits pour cuisson et de deux 'Cavendish'., Fruits vol.34 n°6, pp : 373-392.
- MARIE P., (1996) – Référence sol/plante. Nutrition minérale et hydrique du bananier aux Antilles., CIRAD-FLHOR Base Centre Bananes Antilles, 38 p.
- MEYER J.P., SCHOCH P.G., (1976) – Besoin en eau du bananier aux Antilles. Mesure de l'évapotranspiration maximale., Fruits vol.31 n°1, pp : 3-19.

- NAYRAL P. et RENEL L., (1998) – Le manuel du planteur. Document SICABAM service agro-technique, 106 p.
- PATERSON K.G. and SCHNOOR J.L., (1992) – Fate of Alachlor and Atrazine in a riparian zone field site., *Water Environment Research* vol.64 n° 3, pp : 247-283.
- PHILLIPS E.R., PHILLIPS S.H., (1984) – No-tillage agriculture. Principles and practices., Van Nostrand Reinhold Co., New-York, 306 p.
- PINALIE P., (1998) – Le livre de la banane., Ed. F. Dommergue, Martinique, 47 p.
- POSS R., (1991) – Transferts de l'eau et des éléments minéraux dans les terres de Barres du Togo. Conséquences agronomiques., Thèse Université Paris 6, 312 p.
- QUANTIN P., COMBEAU A., (1962) – Erosion et stabilité structurale du sol., *AISH* n°59, pp : 124-130.
- RISHIRUMUHIRWA T., (1997) – Rôle du bananier dans le fonctionnement des exploitations agricoles dans les hauts plateaux de l'Afrique orientale (Application au cas de la région KIRIMIRO-BURUNDI)., thèse n° 1636, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 320 p.
- ROOSE E., (1967) – Dix années de mesure de l'érosion et du ruissellement à Séfa Sénégal., *Agronomie Tropicale* vol.22 n°2, pp : 123-152.
- ROOSE E., HENRY des TUREAUX P., (1970) – Deux méthodes de mesure du drainage vertical dans les sols en place., *Agronomie Tropicale* vol. 25 n°12, pp : 1029-1087.
- ROOSE E., (1973) – Dix-sept années de mesure de l'érosion et du ruissellement sur un sol ferrallitique sableux de Côte d'Ivoire., Thèse Doct. Ing. Fac. Sci. Abidjan n°20, ORSTOM, 125 p.
- ROOSE E., (1977) – Vingt années de mesure de l'érosion en petites parcelles. *Travaux et Doc. ORSTOM* n°78, 105 p.
- ROOSE E., GODEFROY J., (1977) – Pédogenèse actuelle d'un sol ferrallitique remanié sur schiste sous forêt et sous bananeraie fertilisée de Basse Côte d'Ivoire. Huit années d'observation sur l'érosion. le drainage et l'activité des vers de terre à la station IRFA d'Azaguié., document IRFA-ORSTOM, 116 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., *Cahiers ORSTOM série Pédologie*, vol.16 n°1, pp : 43-72.
- ROOSE E., (1980) – Dynamique actuelle des sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique occidentale., *Travaux et Documents ORSTOM* n°130, 587 p.
- ROOSE E., SARRAILH J.M., (1989) – Erodibility de quelques sols tropicaux. Vingt années de mesure en parcelles d'érosion sous pluies naturelles., *Cahiers ORSTOM Pédologie*, vol.25 n°1, pp : 7-30.
- ROOSE E., BLANCANEAUX P., FREITAS P., (1993) – Un test simple pour observer l'infiltration et la dynamique de l'eau dans les horizons du sol. *Cahiers ORSTOM Pédologie* vol.28 n°2, pp : ?

- 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 vol. 28 n°2, pp : 289-308.
- ROOSE E., (1994) – Introduction à la Gestion Conservatoire de l'Eau, de la biomasse et de la fertilité des Sols (GCES)., Bulletin Pédologique de la FAO n°70, Rome, 420 p.
- ROOSE E., (1996) – Méthodes de mesure des états de surfaces du sol, de la rugosité et des autres caractéristiques qui peuvent aider au diagnostic de terrain des risques de ruissellement et d'érosion, en particulier sur les versants cultivés des montagnes., Bulletin Réseau Erosion n°16, pp : 87-97.
- ROOSE E., (1999) – Impact de la culture bananière sur l'environnement. Influences des systèmes de cultures sur l'érosion, le bilan hydrique et les pertes en nutriments sur un sol brun de Martinique (Station de Rivière Lézarde). Compte rendu de la 2^{ème} mission ROOSE du 16-30/03/1999, 7 p.
- ROOSE E., KHAMSOUK B., LASSOUDIÈRE A., DOREL M., (1999) – Origine du ruissellement et de l'érosion sur sols bruns à halloysite de Martinique. Premières observations sous bananiers., Bulletin Réseau Erosion vol.1 n°19, pp : 139-147.
- RÖMKENS M.J.M., ROTH C.B., NELSON D.W., (1977) – Erodibility of selected clay subsoil's in relation to physical and chemical properties., Soil Science Society of America Journal n°41, pp : 954-960.
- ROSALIE E., (1999) – Initiation au technique à flux continu sur auto-analyseur., laboratoire de pédologie CIRAD-FLHOR Martinique, ? p.
- ROTH C.H., VIEIRA M.J., DERSPCH R., MEYER B., FREDE H.G., (1987) – Infiltrability of an oxisol in Parana, Brazil, as influenced by different crop rotations., J. Agron. Crops Sci. n°159, pp : 186-191.
- SDEC, (1998) – Tensimètre électronique à aiguille hypodermique SMS 2500S., notice d'utilisation SDEC, 15 p.
- SIMMONDS N.W., (1976) – Evolution of crop plants. Ed. Longman London and New-York., ?
- TARDIEU F., MANICHON H., (1986b) – Caractérisation en tant que capteur d'eau de l'enracinement du maïs en parcelle cultivée. II – Une méthode d'étude de la répartition verticale et horizontale des racines., Agronomie vol.6 n°5, pp : 415-425.
- THENG B.K.G., CHURCHMAN G.J., WHITTON J.S., CLARIDGE G.G.C., (1984) – Comparison of intercalation methods for differentiating halloysite from kaolinite., Clays and clay mineral n°32, pp: 249-258.
- TISDALL J.M., OADES J.M., (1982) – Organic matter and water-stable-aggregates in soils., Journal of Soil Science n°33, pp : 141-163.
- WESTERCAMP D. et ANDREIEFF P., (1989) – Notice explicative de la carte géologique de Martinique., BRGM Orléans, 246 p.
- WESTERCAMP D. et TAZIEFF H., (1980) – Guide géologique régionaux. Martinique – Guadeloupe – Saint Martin – La Désirade., Ed. Masson, 135 p.

- WINSCHESTER CHROME F., EL - SWAIFY S.A., LO A.K.F., (1989) – Erosion Problems and Research in Hawaii., Topic in applied resource management n°1, pp : 143-174.
- WISCHMEIER W.H., SMITH D.D., (1958) – Rainfall energy and its relationship to soil loss., Trans. Amer. Geophys. Union n°39, pp: 285-291.
- WISCHMEIER W.H., (1959) – A rainfall erosivity index for universal soil loss equation., Soil Sci. Soc. Amer. Proc. n°23, pp : 246-249.
- WISCHMEIER W.H., MANNERING L.V., (1969) – Relation soil properties to its erodibility. Soil Science Society of America Proceeding n°33, pp : 131-137.
- WISCHMEIER W.H., JOHNSON C.B., CROSS B.V., (1971) – A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites., J. Soil and Water Conservation vol.26 n°5, pp : 189-192.
- WISCHMEIER W.H. and SMITH D.D., (1978) – Predicting rainfall erosion losses – A guide to conservation planning., U. S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook n°282, 58 p.
- ZINGG A.W., (1940) – Degree and length of land slope as it affects soil loss and runoff., Agric. Eng. n°21, pp : 59-64.

- Annexe 1 -

PROTOCOLE DE LA GRANULOMETRIE AU LASER

Cette méthode est utilisée à l'I.R.D. Martinique – Caraïbes, au laboratoire « Biologie et Organisation des Sols Tropicaux ».

1 - GENERALITES

La granulométrie d'un sol ou d'un sédiment est définie par la répartition en pourcentage pondéral de ses constituants minéraux de différentes tailles.

Elle est souvent exprimée en différentes classes dimensionnelles telles que les sables grossiers (2000-500 μm), les sables fins (500-200 μm), les sables très fins (200-50 μm), les limons grossiers (50-20 μm), les limons fins (20-2 μm) et les argiles (<2 μm).

L'analyse granulométrique d'un sol (ou d'un sédiment) consiste donc à séparer ses constituants minéraux en différentes classes et à distinguer leur proportion.

Elle est effectuée avec le Granulomètre laser « Master Sizer/E », un appareil associant les mesures optiques au programme d'analyse et de présentation des résultats. Son fonctionnement consiste en l'émission d'un rayon lumineux sur la solution de suspension du sol et l'analyse du rayon et de l'angle de diffraction permet de déterminer la taille des particules ainsi que leur distribution (plus il y a de petites particules dans la solution en suspension, plus le rayon incident est diffracté).

Mais avant l'analyse au granulomètre laser, les échantillons doivent être préparés de façon à éliminer la matière organique, puis à déterminer le taux de sables grossiers et fins.

2 – PREPARATION DES ECHANTILLONS POUR L'ANALYSE

La méthode de préparation utilisée est décrite par Thiais (1969).

Environ 5 g de sol sec et tamisé à 2 mm servent à l'analyse. Pour un échantillon de sol, 3 ou 5 répétitions sont nécessaires pour évaluer la variabilité de la mesure.

Mis dans un petit bêcher recouvert, le sol est débarrassé de sa matière organique par une attaque à froid d'une solution de 25 ml peroxyde de dihydrogène (ou eau oxygénée) H_2O_2 à 30%, diluée dans 25 ml d'eau distillée. Après 24 heures passées dans l'eau oxygénée, la solution de sol est chauffée pendant 4 heures à 60 °C. Pour compléter la destruction de la matière organique, de l'eau oxygénée est ajoutée jusqu'à disparition de la mousse. Puis, la solution du sol est portée à ébullition durant 15 minutes et quelques gouttes d'ammoniaque sont mises pour éliminer l'excès d'eau oxygénée. Après refroidissement, un passage dans la cuve à ultrason durant 2 minutes permet de casser l'agrégation néoformée et de disperser les fines particules. Les fractions grossières (sables grossiers (2000-500 μm) et sables fins (500-200 μm)) sont séparées par un tamisage à l'eau, puis pesées après un séchage à l'étuve à 105 °C pendant 48 heures. Les fractions fines (<200 μm) en suspension dans l'eau sont dispersées par ajout de 2 à 4 ml de Hexamétaphosphate de sodium (150 g/l), une solution dispersante. Après une heure d'agitation mécanique, la dispersion est complétée par un passage de 2 minutes dans la cuve à ultrason.

3 – ANALYSE AU GRANULOMETRE LASER ET RESULTAT

L'échantillon est alors prêt à être analysé au granulomètre laser. Un rayon optique est émis sur la suspension et il est d'autant plus diffracté qu'il rencontre de particules de petite taille. Un récepteur mesure ensuite la diffraction : l'angle et le rayon de diffraction permettent d'évaluer la taille des particules.

La composition granulométrique est ensuite exprimée en 3 ou 5 différentes classes avec une répartition en pourcentage pondéral.

Annexe 2

Analyse du sol superficiel (0-20 cm) des 10 parcelles d'érosion de RLZ à (t0 : mars/1999)

(résultats exprimés pour 100 g sol séché à 70° C).

Traitements Parcelles	Sol nu			Canne à sucre			Bananeraie établie		Anas plat+Litière	Ana méc+billo.	Les 3 Profils culturaux de			
	Nu1	Nu7	Nu9	Ca2	Ca8	Ca10	Ba3	Ba4	An5	An6	Ponterre PT	Derrière Morne 3	Derrière Morne 2	
Pente %	11%	25%	40%	11%	25%	40%	11%	9%	9%	7,0%	9%	25%	40%	
pHeau	4,89	5,04	5,05	5,48	5,46	5,04	5,66	5,54	5,44	5,4	5,54	4,92	4,92	
Fraction Mnx	Argiles %	73,95	72,55	62,05	66,45	68,1	72,55	68,85	65,45	65,75	68,05	68,2*	64,1*	67,7*
	Limons %	12,25	6,8	17,55	13,6	12,65	6,8	14,35	14,95	13,1	11,15	16,7*	20,7*	17,4*
	Sables %	11,95	20,34	18,83	17,22	19,16	20,34	15,11	19,42	18,78	20,47	15,1*	15,2*	14,9*
Fraction Org.	Taux MO %	3,15	2,75	2,9	3,69	3,35	2,87	3,26	3,55	3,13	2,67	3,15	3,12	3,09
	C** total %	1,83	1,59	1,68	2,14	1,95	1,67	1,89	2,06	1,82	1,55	1,83	1,81	1,79
	N** total %	0,09	0,1	0,15	0,19	0,16	0,14	0,16	0,19	0,17	0,12	0,17	0,14	0,17
Bases Ech.	K+ mé/100gsol	1,86	2,04	1,75	2,55	2,85	1,62	2,31	2,63	2,38	2,54	2,2	2,13	3,12
	Ca++mé/100gsol	3,93	3,96	4,61	4,08	5,39	4,01	7,3	6,73	6,5	5,29	7,7	2,85	5,39
	Mg++mé/100gsol	0,96	1,05	1,13	1,62	1,24	1,07	1,91	1,83	1,77	1,52	2,11	1,33	1,7
	Somme des Bases S	6,75	7,05	7,49	8,25	9,48	6,7	11,52	11,19	10,64	9,35	12,01	6,3	10,21
	CECmé/100gsol	13,35	14,9	14	15,29	15,7	11,85	13,8	15,35	15,55	15,45	21	14,9	14,5
	K/Mg	1,93	1,95	1,54	1,57	2,3	1,51	1,21	1,44	1,34	1,67	1,04	1,6	1,84
	K/S %	27,48	28,96	23,32	30,9	30,09	24,16	20,08	23,5	22,33	27,18	18,34	33,74	30,59
	Ca/S %	58,26	56,2	61,58	49,48	56,82	59,86	63,35	60,16	61,07	56,55	64,08	45,17	52,78
	Mg/S %	14,26	14,83	15,1	19,62	13,08	15,98	16,57	16,34	16,61	16,27	17,58	21,09	16,62
	P assimilable. Ppm	42,21	51,17	54,9	79,51	68,88	53,92	65,33	61,62	79,36	42,28	87,76	92,86	108,67

* par granulométrie au laser (laboratoire "Biologie et Organisation des Sols Tropicaux" IRD Martinique-Caraïbes)

** par microanalyse au CNS (laboratoire "Biologie et Organisation des Sols Tropicaux" IRD Martinique-Caraïbes)

Annexe 3

Données de la pluviosité journalière à RLZ (Hauteur, Ipmx30 et indice R) (d'après METEORFRANCE, 2000)

Date JJ/MM/AA	H total (mm)	E total Etot=Eunit*H	Ipmx 30 mm/h	Rindex (Ei) métrique= 1,735 Ei USA	Date JJ/MM/AA	H total (mm)	E total Etot=Eunit*H	Ipmx 30 mm/h	Rindex (Ei) métrique= 1,735 Ei USA
24/06/1999	0,5	92	5,00	0,0	13/10/1999	5,5	1192,0	12,5	0,9
25/06/1999	5,5	1129	15,00	1,0	16/10/1999	0,5	92,0	0,5	0,0
26/06/1999	14,0	3211	32,50	6,0	17/10/1999	1,0	184,0	0,5	0,0
27/06/1999	1,0	210	10,00	0,1	18/10/1999	6,0	1302,5	17,5	1,3
27/06/1999	0,5	92	5,00	0,0	19/10/1999	10,0	2046,0	15,0	1,8
28/06/1999	3,0	678	15,00	0,6	19/10/1999	0,5	92,0	0,5	0,0
29/06/1999	1,5	339	15,00	0,3	21/10/1999	70,5	17195,5	51,0	50,5
02/07/1999	10,5	2205,5	20,00	2,5	22/10/1999	0,5	92,0	0,5	0,0
05/07/1999	7,5	1696,5	35,00	3,4	25/10/1999	0,5	92,0	5,0	0,0
06/07/1999	5,5	1101	15,00	1,0	26/10/1999	4,5	906,0	10,0	0,5
07/07/1999	3,0	578	10,00	0,3	28/10/1999	3,5	815,5	17,5	0,8
08/07/1999	55,5	13611	43,33	34,0	28/10/1999	2,0	420,0	10,0	0,2
08/07/1999	28,0	6701,5	35,00	13,5	29/10/1999	5,5	991,0	5,0	0,3
09/07/1999	2,0	395	7,50	0,2	31/10/1999	20,5	4628,5	33,3	8,9
10/07/1999	0,5	92	5,00	0,0	02/11/1999	2,5	486,0	10,0	0,3
11/07/1999	1,5	276	5,00	0,1	04/11/1999	4,0	788,0	10,0	0,5
12/07/1999	35,0	8042,5	30,00	13,9	05/11/1999	4,0	562,0	10,0	0,3
13/07/1999	4,5	873	8,33	0,4	07/11/1999	1,0	210,0	10,0	0,1
13/07/1999	0,5	92	5,00	0,0	08/11/1999	14,0	3203,0	22,0	4,1
14/07/1999	2,0	368	5,00	0,1	10/11/1999	1,5	302,0	10,0	0,2
16/07/1999	2,0	431	15,00	0,4	11/11/1999	23,5	4654,5	14,0	3,8
17/07/1999	4,5	943	15,00	0,8	11/11/1999	28,0	6483,0	36,0	13,4
17/07/1999	5,0	983	15,00	0,8	12/11/1999	3,0	578,0	6,7	0,2
18/07/1999	9,5	2363	35,00	4,8	14/11/1999	5,0	1181,0	22,5	1,5
19/07/1999	9,5	1774	15,00	1,5	15/11/1999	7,5	1595,0	15,0	1,4
20/07/1999	4,5	920,5	20,00	1,1	17/11/1999	0,5	92,0	5,0	0,0
20/07/1999	4,0	840	10,00	0,5	17/11/1999	15,0	3568,0	36,7	7,5
22/07/1999	14,5	3186	30,00	5,5	18/11/1999	0,5	92,0	5,0	0,0
22/07/1999	2,0	394	10,00	0,2	20/11/1999	39,5	8267,5	20,0	9,5
23/07/1999	2,0	431	15,00	0,4	22/11/1999	0,5	92,0	5,0	0,0
24/07/1999	14,5	3164,5	15,00	2,7	27/11/1999	177,5	45877,5	76,0	200,9
26/07/1999	2,5	460	5,00	0,1	28/11/1999	1,0	210,0	10,0	0,1
26/07/1999	5,5	1170	20,00	1,3	29/11/1999	19,0	3910,5	16,7	3,8
27/07/1999	18,0	862	15,00	0,7	29/11/1999	0,5	92,0	5,0	0,0
28/07/1999	2,0	420	10,00	0,2	01/12/1999	1,0	184,0	5,0	0,1
30/07/1999	26,0	5792,5	35,00	11,7	01/12/1999	0,5	92,0	5,0	0,0
30/07/1999	3,5	671	7,50	0,3	04/12/1999	14,0	3205,0	35,0	6,5
01/08/1999	6,5	1241	8,33	0,6	05/12/1999	0,5	92,0	5,0	0,0
02/08/1999	15,5	3594	20,00	4,1	05/12/1999	0,5	92,0	5,0	0,0
02/08/1999	3,0	678	15,00	0,6	07/12/1999	0,5	92,0	5,0	0,0
03/08/1999	8,0	1676	15,00	1,4	08/12/1999	7,5	1551,5	17,5	1,6
04/08/1999	0,5	92	5,00	0,0	21/12/1999	3,5	776,0	20,0	0,9
05/08/1999	0,5	92	5,00	0,0	22/12/1999	1,0	184,0	5,0	0,1
06/08/1999	8,5	1847	20,00	2,1	23/12/1999	2,0	431,0	15,0	0,4
07/08/1999	6,0	1157	7,50	0,5	24/12/1999	0,5	92,0	5,0	0,0
09/08/1999	1,5	276	5,00	0,1	25/12/1999	1,0	163,0	2,5	0,0
09/08/1999	6,5	1374,5	15,00	1,2	28/12/1999	41,5	9763,5	47,5	26,7
10/08/1999	2,0	394	6,67	0,2	29/12/1999	5,5	1193,0	25,0	1,7
11/08/1999	11,5	2693,5	21	3,3	31/12/1999	7,5	1621,5	15,0	1,4
11/08/1999	2,0	368	5	0,1	01/01/2000	0,5	92		
12/08/1999	6,0	1194	15	1,0	02/01/2000	19,0	4394	40	10,1
14/08/1999	4,5	906	10	0,5	03/01/2000	3,0	604	10	0,3
14/08/1999	3,0	630	10	0,4	04/01/2000	6,0	1208	10	0,7
15/08/1999	17,0	4066,5	42,5	10,0	06/01/2000	10,0	2000,5	15	1,7
16/08/1999	6,0	1259	25	1,8	06/01/2000	7,0	1486	12	1,0
17/08/1999	21,0	5402	45	14,0	07/01/2000	2,5	550	12,5	0,4
18/08/1999	12,5	3080,5	31,67	5,6	08/01/2000	8,0	1516,5	7,5	0,7
19/08/1999	1,0	184	5	0,1	09/01/2000	5,5	1102	15	1,0
19/08/1999	1,0	210	10	0,1	10/01/2000	5,5	1154	15	1,0
20/08/1999	1,0	184	5	0,1	16/01/2000	0,5	92	5	0,0
20/08/1999	0,5	92	5	0,0	17/01/2000	17,5	3634,5	13	2,7
22/09/1999	3,5	723	10	0,4	19/01/2000	2,0	347	5	0,1
23/09/1999	6,0	1278,0	11	0,8	20/01/2000	2,0	368	5	0,1
24/09/1999	5,5	1104,0	10	0,6	21/01/2000	1,5	276	5	0,1
26/09/1999	4,5	900,0	8,0	0,4	24/01/2000	3,0	615	15	0,5
27/09/1999	9,0	1507,5	5	0,4	25/01/2000	3,5	726,5	12,5	0,5
29/09/1999	9,0	1963,0	15	1,7	26/01/2000	2,0	368	5	0,1
01/10/1999	16,0	3650,0	22	4,6	27/01/2000	6,0	1184,5	15	1,0
01/10/1999	5,5	1142,0	10	0,7	27/01/2000	2,5	542,5	12,5	0,4
03/10/1999	12,0	2641,0	20	3,0	31/01/2000	0,5	92	5	0,0
04/10/1999	43,0	10236,0	35	20,6	01/02/2000	3,5	675	10	0,4
05/10/1999	0,5	92,0	5	0,0	01/02/2000	1,5	276	5	0,1
07/10/1999	2,5	460,0	5	0,1	03/02/2000	11,5	2513,5	21,67	3,1
08/10/1999	6,5	1249,0	10	0,7	04/02/2000	0,5	92	5	0,0
10/10/1999	10,0	2081,5	15,0	1,8	04/02/2000	0,5	92	5	0,0
12/10/1999	0,5	92,0	0,5	0,0	05/02/2000	2,5	550	12,5	0,4

Annexe 3

Données de la pluviosité journalière à RLZ (Hauteur, Ipmx30 et indice R) (d'après METEOFRANCE, 2000)

Date JJ/MM/AA	H total (mm)	E total Etot=Eunit*H	Ipmx 30 mm/h	Rindex (Ei) métrique= 1,735 Ei USA	Date JJ/MM/AA	H total (mm)	E total Etot=Eunit*H	Ipmx 30 mm/h	Rindex (Ei) métrique= 1,735 Ei USA
06/02/2000	0,5	92	5	0,0	17/07/2000	6,0	1176	8,33	0,6
07/02/2000	2,0	368	5	0,1	20/07/2000	16,5	4068	47,5	11,1
08/02/2000	2,0	420	10	0,2	22/07/2000	26,5	5464	15	4,7
10/02/2000	4,5	943	15	0,8	24/07/2000	1,5	302	10	0,2
11/02/2000	6,0	1086	5	0,3	25/07/2000	25,5	5706	27	8,9
13/02/2000	2,5	486	10	0,3	26/07/2000	9,0	1901	25	2,7
15/02/2000	8,5	1700,5	11,7	1,1	27/07/2000	4,0	788	10	0,5
16/02/2000	3,0	678	15	0,6	28/07/2000	49,5	11456,5	27	17,8
21/02/2000	19,5	4141	23,33	5,6	29/07/2000	2,0	368	5	0,1
22/02/2000	2,0	420	10	0,2	29/07/2000	4,5	969	15	0,8
23/02/2000	1,0	210	10	0,1	31/07/2000	10,5	2421	25	3,5
24/02/2000	0,5	92	5	0,0	01/08/2000	4,0	869	20	1,0
25/02/2000	2,0	394	10	0,2	02/08/2000	9,0	1876,5	15,0	1,6
26/02/2000	0,5	92	5	0,0	03/08/2000	8,0	1684	20,0	1,9
26/02/2000	3,0	578	10	0,3	04/08/2000	5,0	997	8,8	0,5
09/03/2000	5,0	926	7,5	0,4	05/08/2000	23,0	4910	16,0	4,5
10/03/2000	0,5	92	5	0,0	06/08/2000	7,0	1511,5	17,5	1,5
12/03/2000	31,5	6972	25	10,0	07/08/2000	0,5	92	5,0	0,0
13/03/2000	0,5	92	5	0,0	08/08/2000	6,5	1356,5	11,7	0,9
14/03/2000	0,5	92	5	0,0	10/08/2000	0,5	92	5,0	0,0
27/03/2000	20,5	4234	13	3,2	11/08/2000	0,5	92	5,0	0,0
29/04/2000	7,5	1459	10	0,8	12/08/2000	1,5	255	5,0	0,1
30/04/2000	2,5	486	6,67	0,2	13/08/2000	8,5	2005	27,5	3,2
01/05/2000	0,5	92	5	0,0	14/08/2000	7,0	1598	25,0	2,3
01/05/2000	4,0	807	10	0,5	15/08/2000	31,5	7296	32,5	13,7
02/05/2000	4,5	906	10	0,5	16/08/2000	8,0	1714,5	17,5	1,7
06/05/2000	1,0	163	2,5	0,0	16/08/2000	3,0	678	15,0	0,6
07/05/2000	11,5	2673,5	25	3,9	17/08/2000	2,5	487	7,5	0,2
08/05/2000	1,0	184	5	0,1	17/08/2000	2,0	474	20,0	0,5
09/05/2000	0,5	92	5	0,0	20/08/2000	0,5	92	5,0	0,0
09/05/2000	2,0	350	4	0,1	21/08/2000	40,5	9163	26,7	14,1
10/05/2000	1,0	184	5	0,1	22/08/2000	21,5	4675	20,0	5,4
12/05/2000	1,5	276	5	0,1	23/08/2000	0,5	92	5,0	0,0
13/05/2000	2,0	394	10	0,2	24/08/2000	11,0	2461,5	20,0	2,8
19/05/2000	0,5	92	5	0,0	26/08/2000	107,0	26392,5	55,0	83,6
23/05/2000	6,0	1284	15	1,1	27/08/2000	2,5	523	15,0	0,5
24/05/2000	1,5	339	15	0,3	28/08/2000	2,5	486	10,0	0,3
25/05/2000	5,5	1116	8,75	0,6	30/08/2000	1,0	184	5,0	0,1
26/05/2000	4,0	826	12,5	0,6	30/08/2000	0,5	92	5,0	0,0
26/05/2000	12,5	2589,5	12,5	1,9	31/08/2000	0,5	92	5,0	0,0
27/05/2000	1,5	302	10	0,2	31/08/2000	2,0	395	7,5	0,2
28/05/2000	45,5	10249,5	40	23,6	01/09/2000	14,0	2776,5	10,0	1,6
29/05/2000	4,0	753,5	6,25	0,3	02/09/2000	0,5	92	5,0	0,0
29/05/2000	0,5	92	5	0,0	05/09/2000	18,0	4427,5	31,7	8,1
01/06/2000	0,5	92	5	0,0	07/09/2000	0,5	92	5,0	0,0
03/06/2000	31,0	6558	17	6,4	09/09/2000	23,5	6029,5	77,5	26,9
06/06/2000	1,0	184	5	0,1	11/09/2000	3,0	578	10,0	0,3
07/06/2000	1,0	184	5	0,1	12/09/2000	1,5	276	5,0	0,1
07/06/2000	0,5	92	5	0,0	14/09/2000	2,5	512	10,0	0,3
08/06/2000	1,0	184	5	0,1	15/09/2000	1,0	184	5,0	0,1
11/06/2000	12,0	2793,5	30	4,8	15/09/2000	6,5	1448	15,0	1,3
11/06/2000	0,5	92	5	0,0	16/09/2000	14,0	3088,5	16,0	2,8
12/06/2000	1,5	276	5	0,1	17/09/2000	0,5	92	5,0	0,0
13/06/2000	10,0	1991	10	1,1	17/09/2000	8,0	1712,5	13,8	1,4
17/06/2000	9,5	2090	20	2,4	18/09/2000	2,0	368	5,0	0,1
19/06/2000	0,5	92	5	0,0	19/09/2000	37,0	8922	34,0	17,5
21/06/2000	11,5	2643	40	6,1	19/09/2000	11,5	2273	10,0	1,3
22/06/2000	8,5	1785	13,33	1,4	21/09/2000	6,5	1486	12,5	1,1
23/06/2000	1,0	184	5	0,1	22/09/2000	48,0	11405	31,3	20,5
25/06/2000	1,5	303	7,5	0,1	22/09/2000	8,0	1705	30,0	2,9
26/06/2000	3,5	650	7,5	0,3	23/09/2000	3,0	759	30,0	1,3
29/06/2000	1,0	210	10	0,1	24/09/2000	2,0	368	5,0	0,1
30/06/2000	3,0	630	10	0,4	24/09/2000	4,0	789	10,0	0,5
02/07/2000	31,5	7005	30	12,1	25/09/2000	4,5	1017	15,0	0,9
02/07/2000	0,5	92	5	0,0	27/09/2000	0,5	92	5,0	0,0
03/07/2000	8,5	1762	12	1,2	28/09/2000	1,0	184	5,0	0,1
07/07/2000	0,5	92	5	0,0	30/09/2000	21,0	4903,5	26,3	7,4
08/07/2000	0,5	92	5	0,0	01/10/2000	26,5	5682,5	18,3	6,0
10/07/2000	2,0	474	20	0,5	02/10/2000	15,5	3460	20,0	4,0
10/07/2000	0,5	92	5	0,0	03/10/2000	0,5	92	5,0	0,0
12/07/2000	6,5	1394	15	1,2	05/10/2000	12,5	2474	20,0	2,9
13/07/2000	36,5	8516	26	12,8	06/10/2000	3,0	597	8,3	0,3
14/07/2000	0,5	92	5	0,0	07/10/2000	35,0	7749	28,0	12,5
14/07/2000	0,5	92	5	0,0	08/10/2000	0,5	92	5,0	0,0
15/07/2000	1,5	276	5	0,1	11/10/2000	0,5	92	5,0	0,0
16/07/2000	5,0	1152	20	1,3	11/10/2000	2,0	387,5	7,5	0,2

Annexe 3

Données de la pluviosité journalière à RLZ (Hauteur, lpmx30 et indice R) (d'après METEOFRANCE, 2000)

Date JJ/MM/AA	H total (mm)	E total Etot=Eunit*H	lpmx 30 mm/h	Rindex (Ei) métrique= 1,735 Ei USA
13/10/2000	8,0	1924	40,0	4,4
14/10/2000	0,5	92	5,0	0,0
15/10/2000	1,0	210	10,0	0,1
16/10/2000	23,0	6016,5	43,0	14,9
20/10/2000	6,0	1337	30,0	2,3
21/10/2000	0,5	92	5,0	0,0
22/10/2000	11,5	2298,5	13,3	1,8
22/10/2000	5,5	1322	25,0	1,9
23/10/2000	0,5	92	5,0	0,0
24/10/2000	8,0	1787	15,0	1,5
25/10/2000	0,5	92	5,0	0,0
26/10/2000	3,5	734	15,0	0,6
27/10/2000	11,5	2689	30,0	4,6
28/10/2000	13,0	2639	12,5	1,9
29/10/2000	0,5	92	5,0	0,0
30/10/2000	1,0	184	5,0	0,1
31/10/2000	4,0	736	5,0	0,2
01/11/2000	4,0	815	10,0	0,5
03/11/2000	9,0	1617	5,0	0,5
03/11/2000	1,0	184	5,0	0,1
04/11/2000	1,0	163	3,3	0,0
04/11/2000	6,5	1364	15,0	1,2
05/11/2000	1,5	339	15,0	0,3
05/11/2000	4,5	859	10,0	0,5
06/11/2000	0,5	92	5,0	0,0
07/11/2000	3,0	707	25,0	1,0
07/11/2000	81,5	19329	47,0	52,3
08/11/2000	13,0	3328	32,5	6,2
09/11/2000	1,0	184	5,0	0,1
10/11/2000	9,5	2034	13,0	1,5
10/11/2000	29,5	6080,5	18,0	6,3
11/11/2000	0,5	92	5,0	0,0
12/11/2000	4,5	828	6,0	0,3
12/11/2000	0,5	92	5,0	0,0
13/11/2000	2,0	395	7,5	0,2
13/11/2000	0,5	92	5,0	0,0
14/11/2000	12,0	2874	45,0	7,5
14/11/2000	1,5	276	5,0	0,1
16/11/2000	3,0	615	15,0	0,5
17/11/2000	1,0	184	5,0	0,1
17/11/2000	0,5	92	5,0	0,0
17/11/2000	5,0	1155	16,7	1,1
18/11/2000	5,0	1154,5	17,5	1,2
19/11/2000	1,0	184	5,0	0,1
20/11/2000	14,5	3019	15,0	2,6
21/11/2000	0,5	92	5,0	0,0
22/11/2000	25,5	5684	26,7	8,7
24/11/2000	19,5	3938	30,0	6,8
25/11/2000	7,5	1666	16,3	1,6
26/11/2000	5,0	973	7,5	0,4
27/11/2000	2,5	487	7,5	0,2
27/11/2000	3,5	815,5	17,5	0,8
27/11/2000	0,5	92	5,0	0,0
28/11/2000	0,5	92	5,0	0,0
30/11/2000	30,0	6389,5	20,0	7,4
30/11/2000	1,5	276	5,0	0,1
01/12/2000	0,5	92	5,0	0,0
05/12/2000	0,5	92	5,0	0,0
09/12/2000	2,5	486	6,7	0,2
11/12/2000	0,5	92	5,0	0,0
12/12/2000	4,0	826	15,0	0,7
14/12/2000	1,0	210	10,0	0,1
14/12/2000	4,5	1062	30,0	1,8
15/12/2000	23,5	5189	27,5	8,2
16/12/2000	0,5	92	5,0	0,0
16/12/2000	2,5	460	5,0	0,1
17/12/2000	1,5	302	10,0	0,2
18/12/2000	11,5	2593	22,5	3,4
18/12/2000	1,0	210	10,0	0,1
19/12/2000	6,0	1391	22,5	1,8
20/12/2000	1,0	184	5,0	0,1

Annexe 4

RESULTATS DES EPISODES DE RUISSELLEMENT ET DE PERTE EN TERRE ENREGISTRES SUR LES 10 PARCELLES D'EROSION DURANT 1999 ET 2000.

PARCELLE Nu1																												
DATE	PLUIE		RUISSELLEMENT										Matière En Suspension				T.d.F=PT		Erosion totale Eto (kg)	Erosion parcelle (t/ha)	Débris Org. (g)							
	N°	jour (mm)	Cuve 1 m3			Canal Gauch		Canal Droite		Fût 1	Fût 2	Vr (m³)	LR (mm)	Kr %	Aliqo (l)	MESs (g)	MEST					Pw (kg)	Ps (kg)					
			H1	H2ouL	Hmoy	Hg	Lg	Hd	Ld	H	H						(g)	(t/ha)										
08/07/99	1	61	0,10	0,03	0,07	0	0	0	0	0	0	0,094	0,91	1,49	1	0,586	0,05	54,87	0,01	11,51	2,28	2,33	0,226	4,51				
09/07/99	2	36	0,11	0,00	0,05	0	0	0	0	0	0	0,078	0,75	2,13	1	0,145	0,01	11,24	0	x	0,73	0,74	0,072	1,10				
13/07/99	3	32	0,05	1,1	0,022	méthode triangle					0,022	0,21	0,67	1	1,235	0,03	27,16	0	x	0,06	0,09	0,008	0,00					
19/07/99	4	31	ruissellement mesuré au seuil													0,038	0,37	1,22	1	1,051	0,04	40,44	0	x	0,06	0,10	0,010	1,70
02/08/99	5	31	0,1	0	0,05	0	0	0	0	0	0	0,073	0,71	2,31	1	1,272	0,09	92,46	0,01	x	0,06	0,15	0,015	13,42				
16/08/99	6	38	0,05	0,94	0,0177	méthode triangle					0	0	0,018	0,17	0,45	1	1,701	0,03	30,06	0	x	0,0361	0,07	0,006	0			
18/08/99	7	21	0,28	0,19	0,23	0	0	0	0	0	0	0,331	3,22	15,31	1	1,334	0,44	441,69	0,04	x	0,1259	0,57	0,055	26,02				
13/09/99	8	24	0,13	0,02	0,07	0	0	0	0	0	0	0,104	1,01	4,19	2	1,101	0,06	57,47	0,01	x	0,55	0,61	0,059	0				
04/10/99	9	37	0,13	0,02	0,08	0	0	0	0	0	0	0,108	1,05	2,84	1,5	1,059	0,08	76,25	0,01	x	0,0513	0,13	0,012	10,02				
21/10/99	10	74	0,58	0,47	0,52	0	0	0	0	0,06	0	1,023	9,93	13,42	13	3,910	0,31	307,8	0,03	111,22	52,56	52,87	5,133	87,35				
01/11/99	11	27	0,1	0	0,05	0	0	0	0	0	0	0,072	0,70	2,59	2	1,100	0,04	39,60	0	14,515	7,60	7,64	0,742	0				
12/11/99	12	70	0,55	0,46	0,51	0	0	0	0	0	0	0,727	7,06	10,09	1,5	0,428	0,21	207,49	0,02	154,665	75,19	75,40	7,320	44,72				
15/11/99	13	22	0,09	0	0,04	0	0	0	0	0	0	0,061	0,59	2,70	2	0,751	0,02	22,98	0	26,53	10,99	11,02	1,070	5				
18/11/99	14	25	0,26	0,16	0,21	0	0	0	0	0	0	0,302	2,94	11,74	2	0,697	0,11	105,39	0,01	70,645	34,76	34,86	3,385	12,21				
22/11/99	15	58	0,51	0,42	0,47	0	0	0	0	0	0	0,670	6,50	11,21	2	0,482	0,16	161,37	0,02	158,165	81,09	81,25	7,888	15,04				
29/11/99	16	190	au seuil		0,05	0	0	0	0	0,75	0,05	9,479	92,03	48,44	1,5	0,349	2,21	2205,52	0,21	1088,68	603,84	606,05	58,839	0				
05/12/99	17	24	0,15	0,02	0,09	0	0	0	0	0	0	0,122	1,19	4,95	1,5	0,147	0,01	12,00	0	14,515	7,60	7,61	0,739	5				
29/12/99	18	53	0,2	0,3	0,25	0	0	0	0	0	0	0,360	3,50	6,59	1,25	0,209	0,06	60,19	0,01	27,53	12,68	12,74	1,237	4				
06/01/00	1	15	0,12	0,02	0,07	0	0	0	0	0	0	0,101	0,98	6,52	1,5	0,202	0,01	13,57	0	13,515	5,92	5,93	0,576	0				
10/01/00	2	29	0,16	0,05	0,11	0	0	0	0	0	0	0,151	1,47	5,06	1,5	0,237	0,02	23,89	0	13,615	6,09	6,11	0,593	0				
11/01/00	3	9,5	ruissellement mesuré au seuil													0,017	0,17	1,74	1,5	1,467	0,02	16,63	0	x	0,63	0,65	0,063	0
13/01/00	4	4,5	ruissellement mesuré au seuil													0,005	0,05	1,08	1,25	1,547	0,01	6,19	0	x	0,00	0,01	0,001	0
14/01/00	5	9	ruissellement mesuré au seuil													0,004	0,03	0,38	1,5	1,232	0,00	2,87	0	x	0,00	0,00	0,000	0
17/01/00	6	61	0,37	0,26	0,32	0	0	0	0	0	0	0,454	4,40	7,22	2	0,238	0,05	53,98	0,01	24,03	6,78	6,84	0,664	0				
27/01/00	7	13	ruissellement mesuré au seuil													0,007	0,07	0,54	1,5	0,627	0,00	2,93	0	x	0,00	0,00	0,000	0
29/05/00	8	67	ruissellement mesuré au seuil													0,004	0,00	0,00	1,5	1,232	0,00	2,87	0	x	0,00	0,00	0,000	0
24/07/00	9	19	0,19	0,1	0,14	0	0	0	0	0	0	0,202	1,96	10,30	1,5	0,720	0,10	97	0,01	11,05	1,77	1,86	0,181	0				
31/07/00	10	53	0,47	0,37	0,42	0	0	0	0	0	0	0,605	5,87	11,08	1,5	0,424	0,17	171	0,02	28,03	13,52	13,69	1,329	0				
01/08/00	11	15	ruissellement mesuré au seuil													0,042	0,41	2,72	1,5	0,836	0,02	23	0	x	1,5235	1,55	0,150	0
16/08/00	12	40	0,16	0,06	0,11	0	0	0	0	0	0	0,152	1,47	3,69	1,5	3,807	0,39	386	0,04	14,615	7,77	8,15	0,792	0				
21/08/00	13	30	0,11	0,01	0,06	0	0	0	0	0	0	0,083	0,80	2,68	1,5	1,119	0,06	62	0,01	13,515	5,92	5,98	0,581	0				
23/08/00	14	19	0,23	0,13	0,18	0	0	0	0	0	0	0,259	2,52	13,24	1,5	0,382	0,07	66	0,01	40,825	18,22	18,29	1,776	0				
24/08/00	15	13	ruissellement mesuré au seuil			Patrick a vidé sans mes										0,030	0,29	2,24	1,5	0,924	0,02	18	0	x	0	0,02	0,002	0
25/08/00	16	52	0,58	0,48	0,53	0,1	0,16	0,09	0,52	0,22	0	1,634	15,87	30,51	1,5	1,057	1,15	1152	0,11	11,515	2,55	3,70	0,359	0				
28/08/00	17	62	0,57	0,47	0,52	0	0	0,07	4,7	0,2	0	1,581	15,35	24,76	1,5	0,296	0,31	312	0,03	304,815	159,62	159,93	15,528	0				
05/09/00	18	18	ruissellement mesuré au seuil													0,020	0,19	1,08	1,5	1,747	0,02	23,29	0	x	0	0,02	0,002	0
11/09/00	19	33	0,33	0,23	0,28	0	0	0	0	0	0	0,403	3,91	11,86	1,5	0,228	0,06	61,29	0,01	70,075	33,80	33,86	3,287	0				
19/09/00	20	46	0,58	0,48	0,53	0	0	0	0	0,1	0	1,151	11,18	24,30	1,5	0,373	0,29	286,27	0,03	101,605	53,21	53,49	5,194	0				
20/09/00	21	11	ruissellement mesuré au seuil													0,020	0,19	1,77	1,5	1,057	0,01	14,09	0	x	0	0,01	0,001	0
22/09/00	22	64	0,57	0,47	0,52	0	0	0	0	0,37	0	2,198	21,34	33,34	1,5	0,238	0,35	348,72	0,03	261,27	136,82	137,17	13,317	0				
25/09/00	23	16	ruissellement mesuré au seuil													0,023	0,22	1,40	1,5	0,238	0,00	3,65	0	x	0	0	0	0

Annexe 4

02/10/00	24	47	0,2	0,1	0,15	0	0	0	0	0	0	0,216	2,10	4,46	1,5	0,164	0,02	23,62	0	26,5	10,99	11	1,070	0
03/10/00	25	20	0,3	0,21	0,26	0	0	0	0	0	0	0,367	3,57	17,83	1,5	0,201	0,05	49,20	0	41,0	18,59	19	1,810	0
09/10/00	26	75	0,57	0,47	0,52	0	0	0	0	0	0,5	2,703	26,25	34,99	1,5	0,324	0,58	583,92	0,06	246,8	129,22	130	12,602	0
17/10/00	27	22	0,1	0,01	0,06	0	0	0	0	0	0	0,079	0,77	3,50	2,5	0,589	0,02	18,66	0	x	0,76	1	0,076	0
03/11/00	28	35	0,11	0,01	0,0004	0	0	0	0	0	0	0,001	0,01	0,02	1	0,132	0,00	0,08	0	11,5	2,48	2	0,24	0
08/11/00	29	93	0,58	0,47	0,52	0	0	0	0	0,53	0	2,828	27,46	29,52	1,5	0,318	0,60	599,54	0,06	333,8	174,82	175	17	0
10/11/00	30	15	0,16	0,07	0,12	0	0	0	0	0	0	0,166	1,61	10,72	1,5	0,161	0,02	17,77	0	x	0	0	0	0
13/11/00	31	45	0,58	0,48	0,53	0,08	1,4	0,09	1,45	0,04	0	0,956	9,28	20,63	1,5	0,131	0,08	83,51	0,01	40,5	17,75	18	2	0
14/11/00	32	13	0,44	0,34	0,39	0	0	0	0	0	0	0,562	5,45	41,94	1,5	0,553	0,21	207,04	0,02	29,0	16,12	16	2	0
20/11/00	33	24	0,16	0,06	0,11	0	0	0	0	0	0	0,158	1,54	6,41	1,5	0,207	0,02	21,86	0	x	0,63	1	0	0
22/11/00	34	16	0,3	0,2	0,25	0	0	0	0	0	0	0,360	3,50	21,84	1,5	0,516	0,12	123,8	0,01	14,515	7,601	7,72	0,750	0
23/11/00	35	16	0,4	0,3	0,35	0	0	0	0	0	0	0,497	4,82	30,15	1,5	0,186	0,06	61,6	0,01	40,545	17,753	17,81	1,730	0
27/11/00	36	18	0,15	0,05	0,10	0	0	0	0	0	0	0,144	1,40	7,77	1,5	0,186	0,02	17,9	0	12,5	4,234	4,25	0,413	0
29/11/00	37	7	ruissellement mesuré au seuil									0,060	0,58	8,32	1,5	0,186	0,01	7,4	0	x	0	0,01	0,001	0
30/11/00	38	24	0,3	0,2	0,25	0	0	0	0	0	0	0,360	3,50	14,56	1,5	0,186	0,04	44,6	0	13,5	5,9175	5,96	0,579	0
15/12/00	39	24	0,12	0,02	0,07	0	0	0	0	0	0	0,097	0,94	3,93	1,5	0,186	0,01	12,1	0	x	0	0,01	0,001	0
18/12/00	40	21	0,21	0,12	0,16	0	0	0	0	0	0	0,234	2,27	10,82	1,5	0,186	0,03	29,02	0	14,5	7,60	8	1	0
19/12/00	41	6,5	ruissellement mesuré au seuil									0,032	0,31	4,78	1,5	0,186	0,00	3,97	0	x	0,00	0	0	0

PARCELLE (Nu7)																									
DATE	PLUIE		RUISSÈLEMENT								Matière En Suspension					T.d.F=PT		Erosion totale (kg)	Erosion parcelle (t/ha)	Débris Org. (g)					
	N°	jour (mm)	Cuve 1 m3			Canal Gauch		Canal Droite		Fût 1	Fût 2	Vr (m³)	LR (mm)	Kr %	Aliqo (l)	MESs (g)	MEST				Pw (kg)	Ps (kg)			
			H1	H2ouL	Hmoy	Hg	Lg	Hd	Ld	H	H						(kg)						(g)	(t/ha)	
09/07/99	1	61	0	0	0	0	0	0	0	0	0,008	0,08	0,13	0,60	0,496	0,01	6,61	0	x	0,00	0,01	0,001	1,18		
13/07/99	2	32	ruissellement mesuré au seuil								0,003	0,03	0,08	0,50	0,295	0,00	1,56	0	x	0,03	0,03	0,003	0,00		
02/08/99	3	24	ruissellement mesuré au seuil								0,001	0,01	0,05	1	2,092	0,003	2,72	0	x	0,08	0,09	0,008	0		
16/08/99	4	35	0,03	0,72	0,0086	méthode triangle					0,009	0,09	0,25	1	3,343	0,03	30,08	0	x	0,0955	0,13	0,012	0,5802		
18/08/99	5	21	0,24	0,18	0,209	0	0	0	0	0	0,301	2,922	13,91	1	2,001	0,60	602,37	0,06	251,77	137,69	138,29	13,426	51,43		
08/09/99	6	20	ruissellement mesuré au seuil								0,011	0,11	0,53	1	1,473	0,02	16,20	0	11,985	3,3418	3,36	0,326	0		
13/09/99	7	20	ruissellement mesuré au seuil								0,012	0,12	0,58	2	4,212	0,03	25,27	0	14,715	7,9377	7,96	0,773	10		
04/10/99	8	37	ruissellement mesuré au seuil								0,310	3,01	8,16	1,5	4,299	0,89	888,46	0,09	374,39	192,58	193,46	18,783	108,23		
21/10/99	9	74	ruissellement mesuré au seuil						0,2	0	1,151	11,18	15,10	1,5	0,991	0,76	760,549	0,07	638,66	334,44	335,20	32,544	85,23		
01/11/99	10	26	ruissellement mesuré au seuil								0,027	0,26	1,01	1,5	2,603	0,05	46,85	0	13,64	6,1279	6,17	0,599	3		
12/11/99	11	68	ruissellement mesuré au seuil						0,2	0	1,319	12,81	18,83	2	1,853	1,22	1222,2	0,12	272,156	138,31	139,53	13,547	39,66		
18/11/99	12	23	ruissellement mesuré au seuil								0,180	1,75	7,60	2	1,078	0,10	97,0	0,01	30,03	16,886	16,98	1,649	0		
22/11/99	13	52	0,42	0,38	0,40	0	0	0	0	0	0,576	5,59	10,75	2		0,00	0,0	0	120,12	67,542	67,54	6,557	2		
29/11/99	14	190	au seuil			0,1	0	0	0	0	0,75	0,05	7,180	69,71	36,7	1,5	0,296	1,42	1416,8	0,14	1114,14	663,54	664,95	64,558	0
29/12/99	15	55	ruissellement mesuré au seuil								0,015	0,14	0,26	1,25	0,426	0,00	4,9	0	x	0	0,00	0,000	0		
06/01/00	1	17	ruissellement mesuré au seuil								0,043	0,42	2,46	1,5	0,238	0,01	6,8	0	x	0	0,01	0,001	0		
10/01/00	2	23	ruissellement mesuré au seuil								0,009	0,09	0,38	1,5	1,853	0,01	11,1	0	x	0,6477	0,66	0,064	0		
11/01/00	3	12	ruissellement mesuré au seuil								0,016	0,16	1,29	1,5	0,612	0,01	6,5	0	x	0,7767	0,78	0,076	0		
17/01/00	4	68	0,2	0,14	0,17	0	0	0	0	0	0,245	2,38	3,50	1,5	0,398	0,06	65,0	0,01	30,53	17,727	17,79	1,727	0		
18/04/00	5	34	ruissellement mesuré au seuil								0,010	0,10	0,29	1,5	2,018	0,01	13,5	0	x	0,4828	0,50	0,048	0		
29/05/00	6	67	0,01	0	0,00	0	0	0	0	0	0,006	0,06	0,09	1,5	0,560	0,00	2,4	0	11,685	2,8367	2,84	0,276	0		
24/07/00	7	19	ruissellement mesuré au seuil								0,017	0,17	0,87	3		0,00	0,0	0			0,00	0,000	0		
31/07/00	8	53	0,3	0,21	0,26	0	0	0	0	0	0,367	3,57	6,73	1,5	1,083	0,27	265,1	0,03	14,515	7,601	7,87	0,764	0		

Annexe 4

16/08/00	9	40	0,26	0,18	0,22	0	0	0	0	0	0,315	3,05	7,64	1,5	0,732	0,15	153,5	0,01	44,045	23,645	23,80	2,311	0	
22/08/00	10	40	<i>ruissellement mesuré au seuil</i>																					
23/08/00	11	15	0,14	0,07	0,11	0	0	0	0	0	0,151	1,47	9,79	1,5	1,315	0,13	132,6	0,01	61,06	35,455	35,59	3,455	0	
24/08/00	12	13	<i>ruissellement mesuré au seuil</i>																					
25/08/00	13	52	Rem : mesures à inclure avec la pluie du 28/08/00 car mesures=pas pu relevées																					
28/08/00	14	114	0,54	0,47	0,50	0	0	0	0	0,22	0	1,550	15,05	13,20	1,5	0,484	0,50	500,1	0,05	537,055	281,24	281,74	27,353	0
05/09/00	15	19	<i>ruissellement mesuré au seuil</i>																					
11/09/00	16	33	0,29	0,22	0,26	0	0	0	0	0	0,367	3,57	10,80	1,5	0,689	0,17	168,7	0,02	115,12	59,125	59,29	5,757	0	
19/09/00	17	43	0,53	0,46	0,50	0	0	0	0	0	0,713	6,92	16,09	1	0,566	0,40	403,4	0,04	174,18	91,212	91,62	8,895	0	
22/09/00	18	64	0,54	0,47	0,51	0	0	0	0	0,24	0	1,629	15,81	24,71	1,5	0,398	0,43	432,1	0,04	145,15	76,01	76,44	7,422	0
02/10/00	19	46	0,22	0,15	0,19	0	0	0	0	0	0,266	2,59	5,62	1,5	0,256	0,05	45,5	0	27,03	11,835	11,88	1,153	0	
03/10/00	20	15	0,18	0,12	0,15	0	0	0	0	0	0,212	2,06	13,75	1,5	0,838	0,12	118,7	0,01	25,03	8,468	8,59	0,834	0	
09/10/00	21	75	0,54	0,47	0,51	0	0	0	0	0,32	0	1,929	18,73	24,97	1,5	0,644	0,83	828,2	0,08	290,3	152,02	152,85	14,840	0
17/10/00	22	25	0,22	0,15	0,19	0	0	0	0	0	0,266	2,59	10,35	1,5	0,449	0,08	79,7	0,01	29,03	15,202	15,28	1,484	0	
03/11/00	23	35	0,16	0,1	0,13	0	0	0	0	0	0,184	1,78	5,09	1,5	0,460	0,06	56,3	0,01	14,515	8,4464	8,50	0,826	0	
08/11/00	24	93	0,54	0,47	0,50	0	0	0	0	0,43	0	2,339	22,71	24,41	1,5	0,092	0,14	143,4	0,01	359,875	184,97	185,12	17,973	0
10/11/00	25	15	0,12	0,06	0,09	0	0	0	0	0	0,130	1,26	8,39	1,5	0,316	0,03	27,3	0	x	0	0,03	0,003	0	
14/11/00	26	58	0,54	0,47	0,51	0,04	0,52	0,08	0,97	0	0	0,741	7,19	12,40	1,5	0,355	0,18	175,3	0,02	29,03	15,202	15,38	1,493	0
20/11/00	27	24	0,2	0,13	0,16	0	0	0	0	0	0,230	2,24	9,32	1,5	0,135	0,02	20,7	0	13,515	5,9175	5,94	0,577	0	
22/11/00	28	16	0,13	0,07	0,10	0	0	0	0	0	0,144	1,40	8,74	1,5	0,224	0,02	21,5	0	x	1,141	1,16	0,113	0	
23/11/00	29	16	0,39	0,22	0,31	0	0	0	0	0	0,439	4,26	26,65	1,5	0,461	0,13	135,0	0,01	56,56	27,879	28,01	2,720	0	
27/11/00	30	18	0,22	0,16	0,19	0	0	0	0	0	0,270	2,62	14,56	1,5	0,461	0,08	83,0	0,01	14,515	7,601	7,68	0,746	0	
18/12/00	31	21	0,17	0,1	0,13	0	0	0	0	0	0,187	1,82	8,65	1,5	0,461	0,06	57,5	0,01	14,515	7,601	7,66	0,744	0	
19/12/00	32	6,5	<i>ruissellement mesuré au seuil</i>																					

PARCELLE (Nu9)																								
DATE	PLUIE		RUISELLEMENT											Matière En Suspension					T.d.F=PT		Erosion totale (kg)	Erosion parcelle (t/ha)	Débris Org. (g)	
	N°	jour (mm)	Cuve 1 m3			Canal Gauch		Canal Droite		Fût 1	Fût 2	Vr	LR	Kr	Aliqo (l)	MESs (g)	MEST			Pw (kg)				Ps (kg)
			H1	H2oul	Hmoy	Hg	Lg	Hd	Ld	H	H	(m³)	(mm)	%	(g)	(kg)	(g)	(t/ha)	(kg)	(kg)				
09/07/99	1	61	0	0	0	0	0	0	0	0	0,013	0,13	0,21	0,60	0,81	0,02	17,70	0	x	0,00	0,02	0,002	1,71	
13/07/99	2	32	<i>ruissellement mesuré au seuil</i>																					
19/07/99	3	31	<i>ruissellement mesuré au seuil</i>																					
02/08/99	4	24	<i>ruissellement mesuré au seuil</i>																					
16/08/99	5	35	0,04	1,22	0,0215	<i>méthode triangle</i>					0,021	0,21	0,60	1	4,893	0,11	105,06	0,01	42,845	21,42	21,53	2,090	0	
18/08/99	6	21	0,29	0,21	0,25	0	0	0	0	0	0,356	3,46	16,48	1	3,471	1,24	1237,21	0,12	349,76	184,78	186,02	18,060	113,59	
08/09/99	7	20	<i>ruissellement mesuré au seuil</i>																					
04/10/99	8	37	<i>ruissellement mesuré au seuil</i>																					
21/10/99	9	74	<i>ruissellement mesuré au seuil</i>																					
01/11/99	10	17	<i>ruissellement mesuré au seuil</i>																					
12/11/99	11	68	<i>ruissellement mesuré au seuil</i>																					
18/11/99	12	15	<i>ruissellement mesuré au seuil</i>																					
22/11/99	13	52	0,48	0,41	0,45	0	0	0	0	0	0,641	6,22	11,96	2	0,443	0,14	141,9	0,01	143,15	72,643	72,79	7,067	2	
29/11/99	14	190	<i>au seuil</i>																					
29/12/99	15	46	0,07	0,13	0,10	0	0	0	0	0	0,144	1,40	3,04	1,25	0,535	0,06	61,6	0,01	12,515	4,234	4,30	0,417	0	
06/01/00	1	11	0,13	0,05	0,09	0	0	0	0	0	0,130	1,26	11,04	1,5	0,156	0,01	13,5	0	13,515	5,9175	5,93	0,576	0	
10/01/00	2	23	0,13	0,05	0,09	0	0	0	0	0	0,130	1,26	5,47	1,5	0,256	0,02	22,1	0	13,515	5,9175	5,94	0,577	0	

Annexe 4

11/01/00	3	12	ruissellement mesuré au seuil										0,054	0,52	4,37	1,5	0,311	0,01	11,2	0	x	1,375	1,39	0,135	0	
14/01/00	4	10	ruissellement mesuré au seuil										0,005	0,04	0,44	1,5	1,559	0,00	4,7	0	x	0	0,00	0,000	0	
17/01/00	5	68	0,32	0,24	0,28	0	0	0	0	0	0,403	3,91	5,76	1,5	0,166	0,04	44,6	0	17,015	11,81	11,85	1,151	0			
18/04/00	6	34	ruissellement mesuré au seuil										0,007	0,07	0,20	1,5	5,869	0,03	27,4	0	x	0,4828	0,51	0,050	0	
29/05/00	7	67	ruissellement mesuré au seuil										0,007	0,07	0,10	1,5	3,737	0,02	17,4	0	x	0	0,02	0,002	0	
24/07/00	8	19	0,14	0,04	0,09	0	0	0	0	0	0,122	1,19	6,25	3							28,03	13,519	13,52	1,312	0	
31/07/00	9	53	0,4	0,32	0,36	0	0	0	0	0	0,518	5,03	9,50	1,5	1,33	0,46	459,6	0,04	46,045	27,012	27,47	2,667	0			
16/08/00	10	40	0,17	0,09	0,13	0	0	0	0	0	0,184	1,78	4,46	1,5	0,53	0,06	64,9	0,01	44,045	23,645	23,71	2,302	0			
22/08/00	11	40	0,17	0,09	0,13	0	0	0	0	0	0,184	1,78	4,46	1,5	0,306	0,04	37,5	0	30,03	16,886	16,92	1,643	0			
23/08/00	12	15	0,17	0,09	0,13	0	0	0	0	0	0,187	1,82	12,12	1,5	0,782	0,10	97,6	0,01	46,045	27,012	27,11	2,632	0			
24/08/00	13	13	0,11	0,03	0,07	0	0	0	0	0	0,101	0,98	7,53	1,5	0,498	0,03	33,5	0	14,3	7,2391	7,27	0,706	0			
25/08/00	14	52	Rem : mesures à inclure avec la pluie du 28/08/00 car mesures pas pu relevées																							
28/08/00	15	114	0,57	0,45	0,51	0	0	0	0	0,52	0	1,770	17,19	15,08	1,5	0,639	0,75	754,2	0,07	682,205	357,25	358,00	34,757	0		
05/09/00	16	19	ruissellement mesuré au seuil										0,022	0,21	1,12	1,5	6,882	0,10	100,9	0,01	x	2,38	2,48	0,241	0	
11/09/00	17	33	0,1	0,01	0,06	0	0	0	0	0	0,079	0,77	2,33	1,5	0,437	0,02	23,1	0	42,045	20,278	20,30	1,971	0			
19/09/00	18	43	0,32	0,03	0,17	0	0	0	0	0	0,248	2,41	5,61	1	0,565	0,14	140,3	0,01	116,12	60,808	60,95	5,917	0			
22/09/00	19	64	0,54	0,46	0,50	0	0	0	0	0,05	0	0,812	7,89	12,32	1,5	0,166	0,09	89,9	0,01	232,24	121,62	121,71	11,816	0		
02/10/00	20	46	0,12	0,04	0,08	0	0	0	0	0	0,115	1,12	2,43	1,5	0,827	0,06	63,5	0,01	14,515	7,601	7,66	0,744	0			
03/10/00	21	15	0,15	0,07	0,11	0	0	0	0	0	0,155	1,50	10,02	1,5	0,382	0,04	39,4	0	28,53	14,36	14,40	1,398	0			
09/10/00	22	75	0,53	0,45	0,49	0	0	0	0	0,42	0	1,542	14,98	19,97	1,5	0,959	0,99	986,1	0,1	508,025	266,04	267,02	25,924	0		
17/10/00	23	25	0,14	0,06	0,10	0	0	0	0	0	0,144	1,40	5,59	1,5	0,449	0,04	43,1	0	14,515	9,1882	9,23	0,896	0			
03/11/00	24	35	0,1	0,02	0,06	0	0	0	0	0	0,086	0,84	2,40	1,5	0,97	0,06	55,9	0,01	25,265	8,8636	8,92	0,866	0			
08/11/00	25	93	0,54	0,46	0,50	0	0	0	0	0,59	0	1,892	18,37	19,75	1,5	0,648	0,82	817,3	0,08	391,905	205,23	206,04	20,004	0		
10/11/00	26	15	0,14	0,06	0,10	0	0	0	0	0	0,137	1,33	8,85	1,5	0,206	0,02	18,8	0	x	0	0,02	0,002	0			
14/11/00	27	58	0,54	0,47	0,51	0,04	0,52	0,08	0,97	0	0	0,741	7,19	12,40	1,5	0,852	0,42	420,8	0,04	113,12	55,758	56,18	5,454	0		
20/11/00	28	24	0,15	0,05	0,10	0	0	0	0	0	0,140	1,36	5,68	1,5	0,852	0,08	79,7	0,01	13,515	5,9175	6,00	0,582	0			
22/11/00	29	16	0,14	0,05	0,09	0	0	0	0	0	0,130	1,26	7,86	1,5	0,728	0,06	62,9	0,01	x	0,3901	0,45	0,044	0			
23/11/00	30	16	0,31	0,23	0,27	0	0	0	0	0	0,389	3,77	23,59	1,5	0,496	0,13	128,6	0,01	58,56	31,246	31,37	3,046	0			
27/11/00	31	18	0,2	0,12	0,16	0	0	0	0	0	0,230	2,24	12,43	1,5	0,496	0,08	76,2	0,01	15,015	8,4428	8,52	0,827	0			
18/12/00	32	21	0,18	0,11	0,15	0	0	0	0	0	0,209	2,03	9,65	1,5	0,496	0,07	69,0	0,01	29,03	15,202	15,27	1,483	0			
19/12/00	33	6,5	ruissellement mesuré au seuil										0,013	0,13	1,94	1,5	0,5	0,00	4,3	0	x	0	0,00	0,000	0	

PARCELLE (Ca2)																									
DATE	PLUIE		RUISSÈLEMENT										Matière En Suspension					T.d.F=PT		Erosion		Erosion	Débris		
	jour N°	mm	Cuve 1 m3			Canal Gauche		Canal Droite		Fût 1	Fût 2	Vr	LR	Kr	Aliqo (l)	MESS (g)	MEST			Pw (kg)	Ps (kg)	totale (kg)	parcelle (t/ha)	Org. (g)	
			H1	H2	Hmoy	Hg	Lg	Hd	Ld	H	H	(m³)	(mm)	%			(kg)	(g)	(t/ha)						
04/10/99	1	37	ruissellement mesuré au seuil										0,004	0,02	0,05	1,25	0,339	0,00	1,08	0	-	0	0,00	0,000	0
21/10/99	2	74	ruissellement mesuré au seuil										0,012	0,06	0,08	eau c	0,339	0,00	3,25	0	-	0	0,00	0,000	0
18/11/99	3	25	ruissellement mesuré au seuil										0,012	0,06	0,24	2	0,764	0,00	4,58	0	-	0	0,00	0,000	0
22/11/99	4	58	ruissellement mesuré au seuil										0,005	0,02	0,04	1,5	0,541	0,00	1,80	0	-	0	0,00	0,000	0
29/11/99	5	190	0,51	0,45	0,48	0,05	2	0,05	2	0,75	0	4,500	22,3	11,72	eau c	0,76	2,28	2280,01	0,11	1,17	0	2,28	0,113	0	
17/01/00	1	61	ruissellement estimé										0,001	0,00	0,01	eau claire : pas de MES!			0	-	0	0,00	0,000	0	
08/11/00	2	93	ruissellement mesuré au seuil										0,020	0,10	0,11	1,5	0,566	0,01	7,55	0	-	0	0,01	0,000	0

Annexe 4

PARCELLE (Ca8)																								
DATE	PLUIE		RUISSELLEMENT								Matière En Suspension						T.d.F=PT		Erosion totale (kg)	Erosion parcelle (t/ha)	Débris Org. (g)			
	N°	jour (mm)	Cuve 1 m3			Canal Gauche		Canal Droite		Fût 1 H	Fût 2 H	Vr (m³)	LR (mm)	Kr %	Aliqo (l)	MESs (g)	MEST					Pw (kg)	Ps (kg)	
			H1	H2oul	Hmoy	Hg	Lg	Hd	Ld								(kg)	(g)						(t/ha)
09/07/99	1	97	0,09	0,01	0,05	0	0	0	0	0	0	0,049	0,24	0,25	0,60	0,26	0,02	20,97	0	0,00	0	0,02	0,001	5,72
13/07/99	2	32	ruissellement mesuré au seuil								0,020	0,10	0,31	0,50	0,30	0,01	12,13	0	0,11	0	0,01	0,001	0,00	
19/07/99	3	31	ruissellement mesuré au seuil								0,007	0,03	0,11	0,50	2,55	0,04	35,96	0	0,07	0	0,04	0,002	0,00	
22/07/99	4	15	ruissellement mesuré au seuil								0,003	0,01	0,08	0,50	1,038	0,01	5,19	0	0,00	0	0,01	0,000	0,00	
30/07/99	5	28	ruissellement mesuré au seuil								0,002	0,01	0,04	1	1,864	0,004	3,73	0	0,08	0	0,00	0,000	5,1298	
02/08/99	6	24	ruissellement mesuré au seuil								0,009	0,04	0,18	1	3,156	0,03	26,82	0	0,08	0	0,03	0,001	0	
16/08/99	7	35	ruissellement mesuré au seuil								0,001	0,01	0,02	1	8,666	0,01	11,27	0	0,07421	0	0,01	0,001	0,0574	
18/08/99	8	21	0,05	1	0,0212	méthode triangle						0,021	0,10	0,50	1	1,215	0,03	25,75	0	-	0	0,03	0,001	0
18/11/99	9	23	ruissellement mesuré au seuil								0,010	0,05	0,22	2	0,765	0,00	3,83	0	-	0	0,00	0,000	0	
22/11/99	10	52	ruissellement mesuré au seuil								0,005	0,02	0,05	eau c	0,77	0,00	1,93	0	-	0	0,00	0,000	0	
29/11/99	11	190	0,55	0,45	0,50	0,02	1,5	0,05	2	0,75	0,01	4,937	24,44	12,86	eau c	0,77	1,90	1900,91	0,09	1,14755	0	1,90	0,094	0
08/11/00	1	93	ruissellement mesuré au seuil								0,041	0,20	0,22	1,5	0,329	0,01	8,99	0	-	0	0,01	0,000	0	

PARCELLE (Ca10)																								
DATE	PLUIE		RUISSELLEMENT								Matière En Suspension						T.d.F=PT		Erosion totale (kg)	Erosion parcelle (t/ha)	Débris Org. (g)			
	N°	jour (mm)	Cuve 1 m3			Canal Gauche		Canal Droite		Fût 1 H	Fût 2 H	Vr (m³)	LR (mm)	Kr %	Aliqo (l)	MESs (g)	MEST					Pw (kg)	Ps (kg)	
			H1	H2oul	Hmoy	Hg	Lg	Hd	Ld								(kg)	(g)						(t/ha)
09/07/99	1	97	ruissellement mesuré au seuil								0,015	0,08	0,08	1,00	0,69	0,01	10,59	0	-	0,00	0,01	0,001	0,00	
29/11/99	2	190	0,53	0,45	0,49	1,5	0,02	1,8	0,05	0,75	0,04	6,311	31,24	16,44	eau c	0,69	4,35	4354,4	0,22	1,65314	0	4,35	0,216	0

PARCELLE (Ba3)																								
DATE	PLUIE		RUISSELLEMENT								Matière En Suspension						T.d.F=PT		Erosion totale (kg)	Erosion parcelle (t/ha)	Débris Org. (g)			
	N°	jour (mm)	Cuve 1 m3			Canal Gauche		Canal Droite		Fût 1 H	Fût 2 H	Vr (m³)	LR (mm)	Kr %	Aliqo (l)	MESs (g)	MEST					Pw (kg)	Ps (kg)	
			H1	H2oul	Hmoy	Hg	Lg	Hd	Ld								(kg)	(g)						(t/ha)
08/07/99	1	61	0,05	0,00	0,03	0	0	0	0	0	0	0,037	0,19	0,30	1,26	1,369	0,04	40,64	0	x	0,001	0,04	0,002	12,64
09/07/99	2	36	0,05	1,42	0,0307	méthode triangle						0,031	0,15	0,43	0,60	0,394	0,02	20,15	0	x	0,0442	0,06	0,003	0
13/07/99	3	32	0,04	1,06	0,0182	méthode triangle						0,018	0,09	0,28	0,50	0,569	0,02	20,74	0	x	0,1061	0,13	0,006	0
19/07/99	4	31	ruissellement mesuré au seuil								0,015	0,07	0,24	0,50	1,383	0,04	40,10	0	x	0,0469	0,09	0,004	0	
22/07/99	5	15	ruissellement mesuré au seuil								0,004	0,02	0,12	0,50	1,408	0,01	10,56	0	x	0	0,01	0,001	0	
30/07/99	6	28	ruissellement mesuré au seuil								0,011	0,05	0,19	1	1,294	0,01	14,24	0	x	0,0222	0,04	0,002	0	
02/08/99	7	31	0,07	1,4	0,0392	méthode triangle						0,039	0,19	0,64	1	0,262	0,01	10,29	0	x	0	0,01	0,001	0
03/08/99	8	11	ruissellement mesuré au seuil								0,001	0,01	0,06	1	2,416	0,00	3,38	0	x	0	0,00	0,000	0	
16/08/99	9	38	0,05	1,3	0,026	méthode triangle						0,026	0,13	0,34	1	0,290	0,01	7,55	0	x	0,095	0,10	0,005	0
18/08/99	10	21	0,13	0,03	0,08	0	0	0	0	0	0	0,120	0,60	2,83	1	0,512	0,06	61,61	0	x	0,0376	0,10	0,005	0
30/08/99	11	33	ruissellement mesuré au seuil								0,007	0,03	0,11	1	1,783	0,01	12,48	0	x	0,0158	0,03	0,001	0	
01/09/99	12	6,5	ruissellement mesuré au seuil								0,007	0,03	0,51	1	1,571	0,01	10,60	0	x	0	0,01	0,001	0	
08/09/99	13	22	ruissellement mesuré au seuil								0,032	0,16	0,71	1	0,155	0,00	4,88	0	x	0,0099	0,01	0,001	0	
13/09/99	14	24	ruissellement mesuré au seuil								0,033	0,16	0,66	1	0,260	0,01	8,45	0	x	0,0879	0,10	0,005	0	
04/10/99	15	37	ruissellement mesuré au seuil								0,010	0,05	0,13	1	0,593	0,01	5,93	0	x	0	0,01	0,000	0	
21/10/99	16	74	0,17	0,22	0,19	0	0	0	0	0	0	0,277	1,37	1,85	24	3,340	0,04	38,58	0	x	0,101	0,14	0,007	1,59

Annexe 4

12/11/99	17	70	0,2	0,12	0,16	0	0	0	0	0	0	0,227	1,12	1,60	1,5	0,197	0,03	29,79	0	x	0,0812	0,11	0,005	0	
18/11/99	18	25	0,04	1,46	0,0234	méthode triangle					0,023	0,12	0,46	1,5	0,388	0,01	6,04	0	x	0	0,01	0,000	0		
22/11/99	19	58	0,18	0,12	0,15	0	0	0	0	0	0,216	1,07	1,84	1,5	0,351	0,05	50,54	0	x	0	0,05	0,003	0		
29/11/99	20	190	0,54	0,48	0,51	0,05	1,8	0,03	1,7	0,75	0,13	15,516	76,81	40,43	1,5	0,119	1,23	1230,9	0,06	11,515	2,5505	3,78	0,367	29,13	
05/12/99	21	24	ruissellement mesuré au seuil										0,028	0,14	0,58	1,5	0,465	0,01	8,76	0	x	0	0,01	0,000	0
29/12/99	22	53	ruissellement mesuré au seuil										0,029	0,14	0,27	1,25	0,199	0,00	4,62	0	x	0	0,00	0,000	0
10/01/00	1	29	ruissellement mesuré au seuil										0,025	0,12	0,43	eau claire : pas de MES !			0	x	0	0,00	0,000	0	
17/01/00	2	61	ruissellement mesuré au seuil										0,036	0,18	0,29	1,5	0,174	0,00	4,13	0	x	0,1845	0,19	0,009	0
22/02/00	3	29	ruissellement mesuré au seuil										0,028	0,14	0,47	1,5	0,540	0,01	9,90	0	x	0,0364	0,05	0,002	0
13/04/00	4	13	ruissellement mesuré au seuil										0,014	0,07	0,53	eau claire : pas de MES !			0	x	0	0,00	0,000	0	
18/04/00	5	28	0,1	0,03	0,06	0	0	0	0	0	0,040	0,20	0,71	1,5	0,321	0,01	8,56	0	x	0,0805	0,09	0,004	0		
29/05/00	6	67	ruissellement mesuré au seuil										0,009	0,04	0,06	1,5	0,277	0,00	1,57	0	x	0	0,00	0,000	0
24/07/00	7	19	0,07	1,71	0,0445	méthode triangle					0,044	0,22	1,16	1,5	0,400	0,01	11,86	0	x	0	0,01	0,001	0		
31/07/00	8	53	0,15	0,06	0,10	0	0	0	0	0	0,034	0,17	0,32	1,5	0,298	0,01	6,75	0	x	0,0447	0,05	0,003	0		
16/08/00	9	40	0,05	1,5	0,03	méthode triangle					0,030	0,15	0,37	1,5	0,383	0,01	7,66	0	x	0	0,01	0,000	0		
21/08/00	10	30	ruissellement mesuré au seuil										0,029	0,14	0,48	1,5	1,034	0,02	19,99	0	x	0	0,02	0,001	0
23/08/00	11	19	ruissellement mesuré au seuil										0,034	0,17	0,89	1,5	0,815	0,02	18,47	0	x	0	0,02	0,001	0
25/08/00	12	52	0,47	0,42	0,45	0	0	0	0	0	0,641	3,17	6,10	1,5	0,268	0,11	114,49	0,01	x	0	0,11	0,006	0		
28/08/00	13	62	0,54	0,47	0,51	0,04	1,46	0,03	1,55	0,26	0	1,613	7,99	12,88	1,5	0,166	0,18	178,50	0,01	x	0,9723	1,15	0,057	0	
11/09/00	14	33	0,11	0,04	0,08	0	0	0	0	0	0,108	0,53	1,62	1,5	0,140	0,01	10,08	0	x	0,4761	0,49	0,024	0		
19/09/00	15	46	0,35	0,22	0,28	0	0	0	0	0	0,407	2,01	4,38	1,5	0,249	0,07	67,53	0	x	0	0,07	0,003	0		
20/09/00	16	11	ruissellement mesuré au seuil										0,010	0,05	0,45	1,5	0,849	0,01	5,66	0	x	0	0,01	0,000	0
22/09/00	17	64	0,56	0,42	0,49	0,05	1	0,05	1,2	0,04	0	0,852	4,22	6,59	1,5	0,226	0,13	128,43	0,01	x	0	0,13	0,006	0	
02/10/00	18	47	0,14	0,06	0,10	0	0	0	0	0	0,137	0,68	1,44	1,5	0,113	0,01	10,31	0	x	0,1191	0,13	0,006	0		
...											0,137			5	0,602	0,02	16,49	0	x	0,1191	0,14	0,007	0		
03/10/00	19	20	0,09	0,01	0,05	0	0	0	0	0	0,072	0,36	1,78	1,5	0,238	0,01	11,42	0	x	1,043	1,05	0,052	0		
09/10/00	20	75	0,54	0,43	0,49	0,07	1,7	0,07	1,7	0,14	0	1,202	5,95	7,94	5	0,677	0,16	162,78	0,01	11,52	2,5505	2,71	0,134	0	
17/10/00	21	22	ruissellement mesuré au seuil										0,045	0,22	1,01	1,5	0,451	0,01	13,53	0	x	0	0,01	0,001	0
06/11/00	22	13	ruissellement mesuré au seuil										0,025	0,12	0,95	1,5	0,268	0,00	4,47	0	x	0	0,00	0,000	0
08/11/00	23	93	0,55	0,48	0,52	0,07	2,15	0,07	2,15	0,28	0	1,720	8,51	9,15	5	0,876	0,30	301,30	0,01	x	1,3004	1,60	0,079	0	
13/11/00	24	45	0,44	0,38	0,41	0	0	0	0	0	0,590	2,92	6,50	1,5	0,172	0,07	67,70	0	x	0	0,07	0,003	0		
14/11/00	25	13	0,11	0,04	0,08	0	0	0	0	0	0,108	0,53	4,11	1,5	0,318	0,02	22,90	0	x	0	0,02	0,001	0		
20/11/00	26	24	0,04	1	0,02	méthode triangle					0,016	0,08	0,33	1,5	0,325	0,00	3,47	0	x	0	0,00	0,000	0		
22/11/00	27	16	0,08	1,6	0,05	méthode triangle					0,051	0,25	1,58	1,5	0,424	0,01	14,47	0	x	0	0,01	0,001	0		
23/11/00	28	16	0,18	0,09	0,13	0	0	0	0	0	0,191	0,94	5,90	1,5	0,190	0,02	24,17	0	x	0,2745	0,30	0,015	0		
27/11/00	29	18	ruissellement mesuré au seuil										0,020	0,10	0,55	1,5	0,190	0,00	2,53	0	x	0	0,00	0,000	0
30/11/00	30	24	ruissellement mesuré au seuil										0,039	0,19	0,80	1,5	0,190	0,00	4,94	0	x	0	0,00	0,000	0
18/12/00	31	21	ruissellement mesuré au seuil										0,010	0,05	0,24	1,5	0,190	0,00	1,27	0	x	0	0,00	0,000	0

PARCELLE (Ba4)																									
DATE	PLUIE		RUISSÈLEMENT										Matière En Suspension					T.d.F=PT		Erosion totale (kg)	Erosion parcelle (t/ha)	Débris Org. (g)			
	N°	jour (mm)	Cuve 1 m3			Canal Gauch		Canal Droite		Fût 1	Fût 2	Vr	LR	Kr	Aliqo (l)	MESs (g)	MEST						Pw (kg)	Ps (kg)	
			H1	H2oul	Hmoy	Hg	Lg	Hd	Ld	H	H	(m³)	(mm)	%			(kg)	(g)	(t/ha)						
09/07/99	1	36	0,11	0,03	0,07	0	0	0	0	0	0	0,097	0,48	1,35	0,60	0,105	0,02	16,98	0	x	0,001	0,02	0,001	13,53	
19/07/99	2	31	ruissellement mesuré au seuil										0,003	0,01	0,05	0,50	3,531	0,02	21,19	0	x	0,174	0,20	0,010	0,00
02/08/99	3	31	ruissellement mesuré au seuil										0,005	0,03	0,09	1	1,770	0,01	9,38	0	x	0,0521	0,06	0,003	0

Annexe 4

16/08/99	4	38	ruissellement mesuré au seuil												0,002	0,01	0,03	1	4,396	0,01	8,79	0	x	0,0415	0,05	0,002	0,286
18/08/99	5	21	0,07	1,25	0,034	méthode triangle								0,034	0,17	0,80	1	0,508	0,02	17,28	0	x	0,1259	0,14	0,007	0	
13/09/99	6	24	ruissellement mesuré au seuil											0,013	0,06	0,26	1,5	0,586	0,00	4,88	0	x	0,1098	0,11	0,006	23,53	
04/10/99	7	37	ruissellement mesuré au seuil											0,006	0,03	0,08	1,25	0,807	0,00	3,87	0	x	0	0,00	0,000	0	
21/10/99	8	74	0,12	0,04	0,08	0	0	0	0	0	0	0	0,108	0,54	0,72	22	4,430	0,02	21,77	0	x	0	0,02	0,001	0		
...	
12/11/99	9	70	0,08	0,01	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0,065	0,32	0,46	1,5	0,306	0,01	13,22	0	x	0,0685	0,08	0,004	0		
18/11/99	10	25	ruissellement mesuré au seuil											0,010	0,05	0,20	1,5	0,513	0,00	3,42	0	x	0	0,00	0,000	0	
22/11/99	11	58	0,08	0,01	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0,065	0,32	0,55	2	0,391	0,01	12,67	0	x	1,56	1,57	0,078	67,01		
29/11/99	12	190	0,56	0,5	0,53	0,07	3,8	0,06	2,2	0,75	0,13	13,647	67,56	35,56	1,5	0,119	1,08	1083	0,05	11,015	1,7088	2,79	0,271	320,55			
05/12/99	13	24	ruissellement mesuré au seuil											0,031	0,15	0,64	1,5	0,725	0,01	14,98	0	x	0,1931	0,21	0,020	0	
29/12/99	14	53	ruissellement mesuré au seuil											0,004	0,02	0,04	1,25	0,352	0,00	1,13	0	x	0	0,00	0,000	0	
17/01/00	1	61	0,1	0	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0,073	0,36	0,59	1,5	0,338	0,02	16,39	0	x	0,5134	0,53	0,026	119,1		
22/02/00	2	29	ruissellement mesuré au seuil											0,018	0,09	0,31	1,5	0,374	0,00	4,49	0	x	0,2504	0,25	0,013	0	
18/04/00	3	28	ruissellement mesuré au seuil											0,028	0,14	0,50	1,5	0,865	0,02	16,15	0	x	0,4893	0,51	0,025	4,82	
29/05/00	4	67	ruissellement mesuré au seuil											0,030	0,15	0,22	1,5	0,201	0,00	4,02	0	x	0	0,00	0,000	0	
24/07/00	5	19	ruissellement mesuré au seuil											0,022	0,11	0,57	1,5	0	0,00	0,00	0	x	0	0,00	0,000	0	
31/07/00	6	53	ruissellement mesuré au seuil											0,108	0,53	1,01	1,5	0,702	0,05	50,54	0	x	0,4972	0,55	0,027	0	
21/08/00	7	30	ruissellement mesuré au seuil											0,025	0,12	0,41	1,5	0,833	0,01	13,88	0	x	0	0,01	0,001	0	
23/08/00	8	19	ruissellement mesuré au seuil											0,042	0,21	1,09	1,5	0,336	0,01	9,41	0	x	0	0,01	0,000	0	
25/08/00	9	52	0,3	0,21	0,26	0	0	0	0	0	0	0	0,367	1,82	3,50	1,5	0,214	0,05	52,39	0	x	0	0,05	0,003	0		
28/08/00	10	62	0,58	0,48	0,53	0,07	3,24	0,06	1,9	0,18	0	1,506	7,45	12,02	1,5	0,18	0,18	180,67	0,01	x	2,954	3,13	0,155	0			
11/09/00	11	33	0,1	0,03	0,07	0	0	0	0	0	0	0	0,094	0,46	1,40	1,5	0,104	0,01	6,49	0	x	0	0,01	0,000	0		
19/09/00	12	46	0,27	0,22	0,24	0	0	0	0	0	0	0	0,346	1,71	3,72	1,5	0,122	0,03	28,11	0	x		0,03	0,001	0		
22/09/00	13	64	0,57	0,5	0,53	0,08	3,54	0,07	2	0,06	0	1,058	5,24	8,19	1,5	0,391	0,28	275,91	0,01	12,015	3,3923	3,67	0,182	67,01			
02/10/00	14	47	ruissellement mesuré au seuil											0,051	0,25	0,54	1,5	0,354	0,01	12,04	0	x	0	0,01	0,001	0	
03/10/00	15	20	0,1	0,01	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0,072	0,36	1,78	1,5	0,263	0,01	12,62	0	x	0	0,01	0,001	0		
09/10/00	16	75	0,57	0,48	0,53	0,08	3,45	0,07	1,9	0,15	0	1,375	6,81	9,08	1,5	0,223	0,20	204,45	0,01	11,515	2,5505	2,75	0,136	0			
17/10/00	17	22	ruissellement mesuré au seuil											0,036	0,18	0,81	1,5	0,2	0,00	4,80	0	x	0	0,00	0,000	0	
03/11/00	18	35	0,09	1,8	0,0648	méthode triangle								0,065	0,32	0,92	1,5	0,122	0,01	5,27	0	x	0	0,01	0,000	0	
08/11/00	19	93	0,58	0,48	0,53	0,08	3,3	0,07	1,8	0,02	0	0,894	4,42	4,76	5	0,915	0,16	163,55	0,01	x	0,52	0,68	0,034	0			
10/11/00	20	15	ruissellement mesuré au seuil											0,029	0,14	0,96	1,5	0,21	0,00	4,06	0	x	0	0,00	0,000	0	
13/11/00	21	45	0,4	0,31	0,36	0	0	0	0	0	0	0	0,511	2,53	5,62	1,5	0,175	0,06	59,64	0	x	0	0,06	0,003	0		
14/11/00	22	13	0,11	0,02	0,07	0	0	0	0	0	0	0	0,094	0,46	3,56	1,5	0,172	0,01	10,73	0	x	0	0,01	0,001	0		
20/11/00	23	24	0,08	1,3	0,039	méthode triangle								0,065	0,32	1,34	1,5	0,305	0,01	13,22	0	x	0	0,01	0,001	0	
22/11/00	24	16	0,09	1,8	0,0648	méthode triangle								0,065	0,32	2,00	1,5	0,488	0,02	21,08	0	x	0	0,02	0,001	0	
23/11/00	25	16	0,15	0,06	0,11	0	0	0	0	0	0	0	0,151	0,75	4,68	1,5	0,439	0,04	44,25	0	x	0,5413	0,59	0,029	0		
24/11/00	26	13	ruissellement mesuré au seuil											0,040	0,20	1,52	1,5	0,439	0,01	11,71	0	x	0	0,01	0,001	0	
27/11/00	27	18	ruissellement mesuré au seuil											0,026	0,13	0,72	1,5	0,439	0,01	7,61	0	x	0	0,01	0,000	0	
30/11/00	28	24	ruissellement mesuré au seuil											0,057	0,28	1,18	1,5	0,439	0,02	16,68	0	x	0	0,02	0,001	0	
18/12/00	29	21	ruissellement mesuré au seuil											0,007	0,03	0,17	1,5	0,439	0,00	2,05	0	x	0	0,00	0,000	0	

Annexe 4

PARCELLE (An5)																									
DATE	PLUIE		RUISSELLEMENT										Matière En Suspension					T.d.F=PT		Erosion totale (kg)	Erosion parcelle (t/ha)	Débris Org. (g)			
	N°	jour (mm)	Cuve 1 m3			Canal Gauche		Canal Droite		Fût 1	Fût 2	Vr (m³)	LR (mm)	Kr %	Aliqo (l)	MESs (g)	MEST						Pw (kg)	Ps (kg)	
			H1	H2oul	Hmoy	Hg	Lg	Hd	Ld	H	H						(kg)	(g)	(t/ha)						
21/10/99	1	74	ruissellement mesuré au seuil										0,012	0,06	0,08	1,25	0,416	0,004	3,99	0	x	0	0,00	0,000	0
22/11/99	2	58	ruissellement mesuré au seuil										0,005	0,02	0,04	1,5	0,541	0,002	1,80	0	x	0	0,00	0,000	0
29/11/99	3	190	0,51	0,45	0,48	0,06	3,2	0,05	2,8	0,75	0	4,554	22,55	11,87	eau claire	0,541	1,643	1642,54	0,08	0,26671	0	1,64	0,081	0	
17/01/00	1	61	ruissellement mesuré au seuil										0,010	0,05	0,08	eau claire : pas de MES!			0	x	0	0,00	0,000	0	
24/07/00	2	19	ruissellement mesuré au seuil										0,023	0,11	0,60	1,5	0,37	0,006	5,67	0	x	0	0,01	0,000	0
31/07/00	3	53	ruissellement mesuré au seuil										0,023	0,11	0,21	1,5	0,37	0,006	5,67	0	x	0	0,01	0,000	0
25/08/00	4	52	ruissellement mesuré au seuil										0,030	0,15	0,29	1,5	0,207	0,004	4,14	0	x	0	0,00	0,000	0
28/08/00	5	62	0,18	0,09	0,14	0	0	0	0	0	0	0,194	0,96	1,55	eau claire : pas de MES!			0	x	0	0,00	0,000	0		
22/09/00	6	64	ruissellement mesuré au seuil										0,027	0,13	0,21	eau claire : pas de MES!			0	x	0	0,00	0,000	0	
08/11/00	7	93	0,11	0,03	0,07	0	0	0	0	0	0	0,101	0,50	0,54	1,5	0,111	0,007	7,46	0	x	0	0,01	0,000	0	

PARCELLE (An6)																									
DATE	PLUIE		RUISSELLEMENT										Matière En Suspension					T.d.F=PT		Erosion totale (kg)	Erosion parcelle (t/ha)	Débris Org. (g)			
	N°	jour (mm)	Cuve 1 m3			Canal Gauche		Canal Droite		Fût 1	Fût 2	Vr (m³)	LR (mm)	Kr %	Aliqo (l)	MESs (g)	MEST						Pw (kg)	Ps (kg)	
			H1	H2oul	Hmoy	Hg	Lg	Hd	Ld	H	H						(kg)	(g)	(t/ha)						
06/06/99	1	40	0,58	0,50	0,54	0,08	2,80	0,07	1,60	0,15	0	1,232	6,1	15,25	1,97	0,906	0,57	566,4	0,03	x	7,62	8,19	0,405	7,468	
16/06/99	2	24	0,32	0,25	0,29	0	0	0	0	0	0	0,410	2,03	8,47	2	0,478	0,10	98,09	0	x	2,23	2,33	0,115	10,576	
02/07/99	3	20	ruissellement mesuré au seuil										0,029	0,14	0,72	0,60	0,427	0,02	20,65	0	x	0,94	0,96	0,047	9,47
08/07/99	4	61	0,53	0,46	0,50	0,05	3,00	0,04	1,90	0,25	0	1,434	7,10	11,64	0,92	0,184	0,29	285,2	0,01	x	33,45	33,74	1,670	24,92	
09/07/99	5	36	0,54	0,48	0,51	0,07	3,30	0,06	2,05	0	0	0,790	3,91	11,01	0,60	0,939	1,24	1235,6	0,06	x	35,08	36,32	1,798	6,88	
13/07/99	6	32	0,53	0,47	0,50	0,05	2,40	0,05	1,85	0,13	0	1,104	5,47	17,08	0,50	0,087	0,19	192,12	0,01	x	14,50	14,69	0,727	0,00	
19/07/99	7	31	ruissellement mesuré au seuil										0,572	2,83	9,28	0,50	0,311	0,36	355,13	0,02	x	10,74	11,10	0,549	24,35
22/07/99	8	15	0,05	1,65	0,0396	méthode triangle					0,040	0,20	1,31	0,50	0,420	0,03	33,25	0	11,065	1,13	1,16	0,057	1,2805		
30/07/99	9	28	0,18	0,1	0,14	0	0	0	0	0	0	0,202	1,00	3,56	1	0,727	0,15	146,54	0,01	12,11	3,94	4,08	0,202	14,53	
02/08/99	10	31	0,57	0,49	0,53	0,09	2,7	0,08	2,05	0,08	0	1,040	5,15	16,89	1	0,377	0,39	391,99	0,02	37,915	15,47	15,86	0,785	25,41	
16/08/99	11	38	0,29	0,21	0,25	0	0	0	0	0	0	0,359	1,78	4,67	1	0,133	0,05	47,69	0	13,935	6,6	6,65	0,329	16,2	
18/08/99	12	21	0,56	0,5	0,53	0,07	2,75	0,07	2	0,09	0	1,064	5,27	25,07	1	0,576	0,61	612,808	0,03	38,8	12,7	13,31	0,659	10,28	
23/08/99	13	6	0,05	1,3	0,026	méthode triangle					0,026	0,13	2,15	1	2,891	0,08	75,17	0	x	0,3683	0,44	0,022	5,94		
30/08/99	14	33	0,04	0,07	0,06	0	0	0	0	0	0	0,079	0,39	1,19	1	2,109	0,17	167,05	0,01	x	1,34	1,51	0,075	4,87	
01/09/99	15	6,5	ruissellement mesuré au seuil										0,002	0,01	0,18	1	3,220	0,01	7,41	0	x	0,1459	0,15	0,008	0
08/09/99	16	22	0,19	0,11	0,15	0	0	0	0	0	0	0,212	1,05	4,78	1	0,254	0,05	53,95	0	12,47	4,1582	4,21	0,209	29,84	
13/09/99	17	24	0,56	0,48	0,52	0	0	0	0	0	0	0,752	3,72	15,38	1,5	0,163	0,08	81,68	0	26,25	10,522	10,60	0,525	183,31	
27/09/99	18	13	0,08	0,01	0,05	0	0	0	0	0	0	0,066	0,33	2,52	1,5	0,642	0,03	28,35	0	x	1,8	1,83	0,091	2,284	
01/10/99	19	11	0,13	0,08	0,10	0	0	0	0	0	0	0,148	0,73	6,77	2	0,359	0,03	26,49	0	11,025	1,7256	1,75	0,087	1,55	
04/10/99	20	37	0,55	0,47	0,51	0	0	0	0	0,07	0	0,930	4,60	12,48	2	0,483	0,22	224,62	0,01	42,005	20,236	20,46	1,013	17,97	
21/10/99	21	74	0,57	0,55	0,56	0	0	0	0	0,25	0	1,490	7,38	9,97	1,5	1,290	1,28	1281,3	0,06	203,21	106,41	107,70	5,331	0	
01/11/99	22	27	0,36	0,29	0,33	0	0	0	0	0	0	0,468	2,32	8,58	1,5	0,141	0,04	43,99	0	15,015	8,4428	8,49	0,420	3,91	
08/11/99	23	14	ruissellement mesuré au seuil										0,146	0,72	5,16	1,5	0,288	0,03	28,03	0	11,525	2,5673	2,60	0,128	0
12/11/99	24	70	0,53	0,47	0,50	0,05	2,83	0,05	2	0	0	0,756	3,74	5,35	1,5	0,126	0,06	63,52	0	56,545	27,854	27,92	1,382	5	
15/11/99	25	22	0,25	0,19	0,22	0	0	0	0	0	0	0,313	1,55	7,05	2	0,184	0,03	28,81	0	14,015	6,7593	6,79	0,336	0	
18/11/99	26	25	0,53	0,46	0,50	0	0	0	0	0	0	0,713	3,53	14,11	2	0,138	0,05	49,18	0	25,53	9,3098	9,36	0,463	2	
22/11/99	27	58	0,53	0,48	0,51	0,08	2,7	0,08	2,8	0,15	0	1,205	5,97	10,29	1,5	0,125	0,10	100,45	0	58,56	31,246	31,35	1,552	0	

Annexe 4

29/11/99	28	190	0,55	0,45	0,50	0	0	0	0	0,75	0,15	12,881	63,77	33,56	1,5	0,125	1,07	1073,41	0,05	330,33	185,74	186,81	9,248	5	
05/12/99	29	24	0,5	0,41	0,46	0	0	0	0	0	0	0,655	3,24	13,51	1,5	0,048	0,02	20,97	0	13,615	6,0859	6,11	0,302	0	
29/12/99	30	53	0,5	0,58	0,54	0,09	2,87	0,07	2	0,3	0	1,646	8,15	15,38	1,25	0,05	0,07	65,85	0	15,515	9,2845	9,35	0,463	0	
06/01/00	1	15	0,52	0,43	0,48	0	0	0	0	0	0	0,684	3,39	22,57	1,25	0,051	0,03	27,91	0	14,515	7,601	7,63	0,378	0	
10/01/00	2	29	0,38	0,3	0,34	0	0	0	0	0	0	0,490	2,42	8,36	1,5	0,073	0,02	23,83	0	x	1,24	1,26	0,063	0	
11/01/00	3	9,5	<i>ruissellement mesuré au seuil</i>										0,096	0,48	5,00	1,25	0,123	0,01	9,45	0	x	0,1334	0,14	0,007	0
13/01/00	4	4,5	<i>ruissellement mesuré au seuil</i>										0,018	0,09	1,93	1,25	0,375	0,01	5,25	0	x	0	0,01	0,000	0
14/01/00	5	10	<i>ruissellement mesuré au seuil</i>										0,018	0,09	0,87	1,5	0,117	0,00	1,36	0	x	0	0,00	0,000	0
17/01/00	6	61	0,58	0,5	0,54	0,09	3,2	0,08	2,3	0,2	0	1,398	6,92	11,35	1,25	0,03	0,03	33,55	0	x	1,46	1,49	0,074	0	
27/01/00	7	13	0,08	0,01	0,05	0	0	0	0	0	0	0,065	0,32	2,57	1,5	0,097	0,00	4,19	0	x	0,125	0,13	0,006	0	
02/02/00	8	20	0,16	0,09	0,12	0	0	0	0	0	0	0,176	0,87	4,37	1,5	0,13	0,02	15,29	0	x	0,077	0,09	0,005	0	
16/02/00	9	24	<i>ruissellement mesuré au seuil</i>										0,355	1,76	7,32	1,5	0,133	0,03	31,48	0	x	0,2098	0,24	0,012	0
21/02/00	10	25	0,56	0,48	0,52	0,07	2,8	0,06	1,85	0	0	0,788	3,90	15,60	1,5	0,081	0,04	42,53	0	x	0,5729	0,62	0,030	0	
22/02/00	11	29	0,56	0,48	0,52	0,07	2,9	0,07	1,95	0	0	0,798	3,95	13,63	1,5	0,022	0,01	11,71	0	x	0,6446	0,68	0,032	0	
09/03/00	12	15	0,26	0,18	0,22	0	0	0	0	0	0	0,310	1,53	10,22	eau claire : pas de MES			0	x	0	0,00	0,000	0		
10/03/00	13	20	<i>ruissellement mesuré au seuil</i>										0,042	0,21	1,04	eau claire : pas de MES			0	x	0,1839	0,18	0,009	0	
13/03/00	14	25	0,38	0,3	0,34	0	0	0	0	0	0	0,490	2,42	9,70	eau claire : pas de MES			0	x	1,185	1,19	0,059	0		
27/03/00	15	24	0,11	0,02	0,06	0	0	0	0	0	0	0,090	0,45	1,90	eau claire : pas de MES			0	x	0,0793	0,08	0,004	0		
10/04/00	16	12	0,07	1,61	0,04	<i>méthode triangle</i>					0,042	0,21	1,80	eau claire : pas de MES			0	x	0	0,00	0,000	0			
13/04/00	17	13	0,14	0,06	0,10	0	0	0	0	0	0	0,140	0,70	5,35	eau claire : pas de MES			0	x	0	0,00	0,000	0		
18/04/00	18	28	0,56	0,48	0,52	0,08	3,95	0,06	2	0,13	0	1,155	5,72	20,42	eau claire : pas de MES			0	x	1,4892	1,49	0,074	0		
09/05/00	19	13	0,01	0	0,01	0	0	0	0	0	0	0,007	0,04	0,27	eau claire : pas de MES			0	x	0	0,00	0,000	0		
29/05/00	20	67	0,57	0,49	0,53	0,08	2,9	0,07	2,54	0	0	0,821	4,06	6,07	eau claire : pas de MES			0	x	0	0,00	0,000	0		
05/06/00	21	30	0,56	0,48	0,52	0,07	2,9	0,07	1,95	0	0	0,798	3,95	13,2	1,5	0,043	0,02	22,88	0	x	0,02	0,001	0		
13/06/00	22	14	0,19	0,11	0,15	0	0	0	0	0	0	0,212	1,05	7,51	eau claire : pas de MES			0	x	0	0,00	0,000	0		
20/07/00	23	13	0,26	0,19	0,23	0	0	0	0	0	0	0,324	1,60	12,34	eau claire : pas de MES			0	x	0	0,00	0,000	0		
24/07/00	24	19	0,57	0,5	0,54	0,08	3,25	0,07	2,4	0,1	0	1,224	6,06	31,89	1,5	0,20	0,16	163,19	0,01	x	0	0,16	0,008	0	
26/07/00	25	9,5	<i>ruissellement mesuré au seuil</i>										0,022	0,11	1,15	1,5	1,113	0,02	16,32	0	x	0	0,02	0,001	0
31/07/00	26	53	0,57	0,49	0,53	0,08	3,1	0,07	2,5	0,22	0	1,708	8,46	15,96	1,5	0,05	0,06	56,95	0	x	0,6499	0,71	0,035	0	
03/08/00	27	12	0,1	0,01	0,06	0	0	0	0	0	0	0,079	0,39	3,27	1,5	0,31	0,02	16,10	0	x	0,1768	0,19	0,010	0	
16/08/00	28	40	0,57	0,49	0,53	0,08	3,15	0,07	2,6	0,14	0	1,373	6,80	17,00	1,5	0,09	0,08	77,82	0	x	0,2398	0,32	0,016	0	
21/08/00	29	30	0,57	0,5	0,53	0,08	3,2	0,08	2,5	0	0	0,833	4,13	13,75	1,5	0,13	0,07	71,67	0	x	0,4568	0,53	0,026	17,63	
22/08/00	30	14	0,31	0,24	0,28	0	0	0	0	0	0	0,398	1,96	14,00	1,5	0,10	0,03	27,46	0	x	0,0693	0,10	0,005	0	
23/08/00	31	19	0,57	0,5	0,54	0,08	3,1	0,07	2,4	0,05	0	1,033	5,11	26,92	1,5	0,113	0,08	77,83	0	x	0,348	0,43	0,021	0	
24/08/00	32	13	0,21	0,14	0,18	0	0	0	0	0	0	0,252	1,25	9,60	1,5	0,17	0,03	28,56	0	x	0,0453	0,07	0,004	0	
25/08/00	33	52	0,58	0,5	0,54	0,08	3,36	0,07	2,7	0,75	0,02	5,816	28,79	55,37	1,5	0,089	0,35	345,08	0,02	x	1,617	1,96	0,097	0	
28/08/00	34	62	0,57	0,5	0,54	0,08	2,87	0,07	2,33	0,75	0,05	8,607	42,61	68,72	1,5	0,048	0,28	275,41	0,01	x	1,945	2,22	0,110	0	
05/09/00	35	18	0,43	0,34	0,38	0	0	0	0	0	0	0,547	2,71	15,05	eau claire : pas de MES			0	x	0,83	0,83	0,041	0		
11/09/00	36	33	0,57	0,5	0,53	0,08	3,1	0,07	2,4	0,19	0	1,591	7,87	23,86	eau claire : pas de MES			0	x	1,3643	1,36	0,068	0		
18/09/00	37	30	0,37	0,3	0,34	0	0	0	0	0	0	0,482	2,39	7,96	eau claire : pas de MES			0	x	0,6947	0,69	0,034	0		
19/09/00	38	46	0,58	0,49	0,54	0,08	1,32	0,07	2,41	0,69	0	3,577	17,71	38,50	1,5	0,10	0,24	240,85	0,01	29,03	15,202	15,44	0,764	0	
20/09/00	39	11	0,19	0,11	0,15	0	0	0	0	0	0	0,216	1,07	9,72	1,5	0,112	0,02	16,13	0	x	0,6306	0,65	0,032	0	
22/09/00	40	64	0,57	0,5	0,53	0,08	2,64	0,07	2,13	0,75	0,04	7,263	35,96	56,18	1,5	0,168	0,81	813,51	0,04	24,53	7,6263	8,44	0,418	0	
2 5/09/00	41	16	<i>ruissellement mesuré au seuil</i>										0,025	0,12	0,77	1,5	0,458	0,01	7,63	0	0	0	0,01	0,000	0
02/10/00	42	47	0,57	0,48	0,53	0,07	2,95	0,07	2,3	0,14	0	1,372	6,79	14,45	1,5	0,067	0,06	61,29	0	11,49	2,5084	2,57	0,127	0	
...												1,370	5,92	12,6	5	0,271	0,07	74,25	0	11,49	2,508	2,58	0,128	0	
03/10/00	43	20	0,57	0,48	0,53	0,08	3,12	0,07	2,3	0	0	0,818	4,05	20,24	1,5	0,104	0,06	56,69	0	11,515	2,5505	2,61	0,129	0	
09/10/00	44	75	0,57	0,5	0,54	0,08	3,15	0,08	2,5	0,74	0,06	9,694	47,99	63,98	1,5	0,067	0,43	432,98	0,02	29,03	15,202	15,64	0,774	0	

Annexe 4

17/10/00	45	22	0,57	0,49	0,53	0,08	3	0,07	2,21	0	0	0,817	4,04	18,37	1,5	0,058	0,03	31,57	0	x	2,985	3,02	0,149	0
23/10/00	46	15	0,09	0,02	0,06	0	0	0	0	0	0	0,079	0,39	2,61	5	1,097	0,02	17,38	0	x	0,292	0,31	0,015	0
24/10/00	47	7,5	0,09	0,01	0,05	0	0	0	0	0	0	0,072	0,36	4,75	eau claire : pas de MES			0	x	0,3191	0,32	0,016	0	
27/10/00	48	10	0,17	0,1	0,13	0	0	0	0	0	0	0,187	0,93	9,27	5	1,084	0,04	40,58	0	x	0	0,04	0,002	0
30/10/00	49	12	<i>ruissellement mesuré au seau</i>									0,060	0,30	2,48	5	1,088	0,01	13,03	0	x	0	0,01	0,001	0
03/11/00	50	35	0,57	0,5	0,53	0,09	3,4	0,07	2,32	0,03	0	0,929	4,60	13,15	1	0,072	0,07	66,91	0	11,115	1,8771	1,94	0,096	0
06/11/00	51	13	<i>ruissellement mesuré au seau</i>									0,047	0,23	1,79	1,5	0,182	0,01	5,70	0	x	0	0,01	0,000	0
08/11/00	52	93	0,58	0,5	0,54	0,08	0,9	0,08	2,5	0,75	0,02	5,779	28,61	30,76	1,5	0,092	0,35	354,45	0,02	55,06	25,354	25,71	1,273	0
10/11/00	53	15	0,43	0,35	0,39	0	0	0	0	0	0	0,562	2,78	18,53	1,5	0,153	0,06	57,28	0	x	0,436	0,49	0,024	0
13/11/00	54	45	0,58	0,5	0,54	0,08	3,1	0,07	2,5	0,3	0	2,040	10,10	22,44	1,5	0,019	0,03	25,84	0	x	0,436	0,46	0,023	0
14/11/00	55	13	0,55	0,48	0,52	0,05	1,7	0,06	2,3	0	0	0,775	3,84	29,51	1,5	0,111	0,06	57,35	0	x	0,8643	0,92	0,046	0
20/11/00	56	24	0,45	0,37	0,41	0	0	0	0	0	0	0,590	2,92	12,18	1,5	0,024	0,01	9,45	0	x	0,864	0,87	0,043	0
22/11/00	57	16	0,55	0,47	0,51	0,06	2,67	0,05	1,82	0	0	0,772	3,82	23,89	1,5	0,079	0,04	40,66	0	x	1,141	1,18	0,058	0
23/11/00	58	16	0,57	0,49	0,53	0,08	3,14	0,07	2,41	0,03	0	0,923	4,57	28,55	1,5	0,007	0,00	4,31	0	x	1,1254	1,13	0,056	0
24/11/00	59	13	0,41	0,33	0,37	0	0	0	0	0	0	0,528	2,60	20,02	1,5	0,007	0,00	2,45	0	x	0,2475	0,25	0,012	0
27/11/00	60	18	0,25	0,15	0,20	0	0	0	0	0	0	0,288	1,43	7,92	1,5	0,007	0,00	1,34	0	x	0,1445	0,15	0,007	0
29/11/00	61	7	0,11	0,04	0,07	0	0	0	0	0	0	0,104	0,52	7,38	1,5	0,007	0,00	0,49	0	x	0	0,00	0,000	0
30/11/00	62	24	0,58	0,49	0,53	0,08	3,38	0,08	2,64	0	0	0,837	4,14	17,27	1,5	0,007	0,00	3,91	0	x	0,144	0,15	0,007	0
15/12/00	63	24	0,53	0,44	0,48	0,04	1,38	0,06	2	0	0	0,720	3,56	14,85	1,5	0,007	0,00	3,36	0	x	0,144	0,15	0,007	0
18/12/00	64	21	0,43	0,36	0,40	0	0	0	0	0	0	0,569	2,82	13,41	1,5	0,007	0,00	2,65	0	x	0,144	0,15	0,007	0
19/12/00	65	6,5	0,11	0,04	0,08	0	0	0	0	0	0	0,108	0,53	8,23	1,5	0,007	0,00	0,50	0	x	0	0,00	0,000	0

Annexe 5

ETAT DE SURFACE DES PARCELLES D'EROSION DURANT LES CAMPAGNES 1999 ET 2000.

Date	Taux	Parcelle (Nu1)				Parcelle (Nu7)				Parcelle (Nu9)						
		Sol nu	Litière	Adven- tice	Jaillou: Total points	Sol nu	Litière	Adven- tice	Jaillou: Total points	Sol nu	Litière	Adven- tice	Jaillou: Total points			
juil-99	Surface%	88,8	10,0	1,2	0,0	100	76,7	4,2	0,3	18,8	100	86,7	5,8	0,0	7,5	100
août-99	Surface%	90,6	4,7	4,7	0,0	100	78,9	3,1	0,3	17,6	100	76,9	6,5	6,9	9,7	100
sept-99	Surface%	84,9	9,6	5,6	0,0	100	81,9	2,5	0,6	15,0	100	88,0	3,3	0,0	8,7	100
oct-99	Surface%	93,7	3,0	3,3	0,0	100	81,7	2,1	3,0	13,1	100	87,6	3,0	0,3	9,0	100
nov-99	Surface%	87,7	3,9	8,4	0,0	100	70,5	4,2	2,7	22,6	100	73,2	3,3	8,3	15,2	100
déc-99	Surface%	91,3	3,8	4,9	0,0	100	72,6	3,2	3,6	20,6	100	78,2	2,9	6,6	12,2	99,98
janv-00	Surface%	94,9	3,7	1,4	0,0	100	74,5	2,2	4,4	18,8	100	83,1	2,6	5,0	9,3	100
févr-00	Surface%	94,9	3,7	1,4	0,0	100	74,5	2,2	4,4	18,8	100	83,1	2,6	5,0	9,3	100
mars-00	Surface%	93,3	5,8	0,0	0,8	100	90,4	2,7	0,0	6,9	100	92,3	0,6	0,0	7,1	100
avr-00	Surface%	96,1	2,3	0,3	1,4	100	75,9	4,2	2,1	17,8	100	84,3	0,0	1,2	14,5	100
mai-00	Surface%	94,7	4,8	0,0	0,5	100	76,6	5,8	0,6	17,0	100	71,5	1,5	1,5	25,5	100
juin-00	Surface%	89,7	6,2	2,1	2,1	100	75,3	4,5	3,2	16,9	100	78,1	1,9	1,9	18,1	100
juil-00	Surface%	92,2	5,7	1,0	1,0	100	68,2	10,1	1,9	19,8	100	78,5	2,5	1,2	17,9	100
août-00	Surface%	94,8	5,2	0,0	0,0	100	61,0	15,7	0,6	22,6	100	78,8	3,0	0,6	17,6	100
sept-00	Surface%	92,0	4,9	0,0	3,1	100	67,5	9,4	0,0	23,1	100	84,5	0,0	0,0	15,5	100
oct-00	Surface%	90,3	6,1	0,6	3,0	100	65,6	10,0	0,0	24,4	100	81,9	2,7	0,5	14,8	100
nov-00	Surface%	93,6	2,9	0,6	2,9	100	57,0	13,3	0,6	29,1	100	81,0	1,2	2,5	15,3	100
déc-00	Surface%	93,6	2,9	0,6	2,9	100	57,0	13,3	0,6	29,1	100	81,0	1,2	2,5	15,3	100

Date	Taux	Parcelle (Ca2)				Parcelle (Ca8)				Parcelle (Ca10)			
		Sol nu	Résdu.	Adven- tice	Total points	Sol nu	Résdu.	Adven- tice	Total points	Sol nu	Résdu.	Adven- tice	Total points
juin-99	Surface%	38,4	53,4	8,2	100	42,7	52,8	4,5	100	31,8	50,8	17,4	99,98
juil-99	Surface%	18,4	71,8	9,9	100	31,4	46,3	22,3	100	27,7	62,2	10,1	100
août-99	Surface%	17,7	77,7	4,6	100	27,8	69,6	2,6	100	23,4	73,7	2,9	100
sept-99	Surface%	7,1	92,9	0,0	100	19,4	80,1	0,5	100	0	100	0	100
oct-99	Surface%	0	100	0	100	0	100	0	100	0	100	0	100
nov-99	Surface%	0	100	0	100	0	100	0	100	0	100	0	100
déc-99	Surface%	0	100	0	100	0	100	0	100	0	100	0	100
janv-00	Surface%	0	100	0	100	0	100	0	100	0	100	0	100
févr-00	Surface%	0	100	0	100	0	100	0	100	0	100	0	100
mars-00	Surface%	7,8	91,9	0,3	100	5,5	94,5	0,0	100	8,8	91,2	0,0	100
avr-00	Surface%	6,5	89,1	4,5	100	3,5	84,8	11,6	100	7,0	81,4	11,6	100
mai-00	Surface%	4,7	94,2	1,1	100	2,9	75,7	21,4	100	0,0	83,2	16,8	100
juin-00	Surface%	5,2	87,7	7,1	100	0,0	77,3	22,7	100	0,0	82,7	17,3	100
juil-00	Surface%	4,9	85,7	9,4	100	0,0	81,9	18,1	100	0,0	82,7	17,3	100
août-00	Surface%	0,0	91,0	9,0	100	0	81,9	18,1	100	0	82,7	17,3	100
sept-00	Surface%	0	91	9	100	0	81,9	18,1	100	0	82,7	17,3	100
oct-00	Surface%	0	91	9	100	0	81,9	18,1	100	0	82,7	17,3	100
nov-00	Surface%	0	91	9	100	0	81,9	18,1	100	0	82,7	17,3	100
déc-00	Surface%	0	91	9	100	0	81,9	18,1	100	0	82,7	17,3	100

En italique : valeurs supposées identique à la dernière mesure

Date	Taux	Parcelle (Ba3)				Parcelle (Ba4)			
		Sol nu	Litière	Adven- tice	Total points	Sol nu	Litière	Adven- tice	Total points
mars-99	Surface%	26,5	65	8,5	100	19	74,5	6,5	100
juin-99	Surface%	31,3	62,5	6,3	100	54,0	43,9	2,1	100
juil-99	Surface%	41,8	53,7	4,5	100	32,6	62,2	5,2	100
août-99	Surface%	37,5	55,5	7,0	100	31,8	63,0	5,2	100
sept-99	Surface%	22,5	66,8	10,7	100	25,4	68,1	6,5	100
oct-99	Surface%	32,6	65,9	1,6	100	30,6	66,6	2,8	100
nov-99	Surface%	48,1	48,9	2,9	100	34,6	61,5	3,9	100
déc-99	Surface%	47,0	50,1	2,9	100	36,5	61,5	2,1	100
janv-00	Surface%	45,8	52,6	1,6	100	44,7	53,5	1,8	100
févr-00	Surface%	48,5	48,3	3,2	100	42,5	53,7	3,8	100
mars-00	Surface%	37,5	50,3	12,2	100	24,8	56,3	18,9	100
avr-00	Surface%	52,2	47,8	0,0	100	38,5	59,0	2,5	100
mai-00	Surface%	45,9	54,1	0,0	100	30,3	68,4	1,2	100
juin-00	Surface%	46,4	49,0	4,6	100	36,0	56,6	7,4	100
juil-00	Surface%	48,9	47,7	3,4	100	37,1	53,4	9,5	100
août-00	Surface%	51,3	46,5	2,1	100	38,2	50,3	11,5	100
sept-00	Surface%	44,3	55,7	0,0	100	35,5	62,9	1,6	100
oct-00	Surface%	46,1	52,9	1,0	100	34,3	64,1	1,7	100
nov-00	Surface%	46,2	53,3	0,5	100	37,1	62,4	0,5	100
déc-00	Surface%	46,2	53,3	0,5	100	37,1	62,4	0,5	100

Annexe 5

ETAT DE SURFACE DES PARCELLES D'EROSION DURANT LES CAMPAGNES 1999 ET 2000.

Date	Taux	Parcelle (An5)				Parcelle (An6)					
		Soil nu	Litière	Adven- tice	Canop Ananas points	Total	Soil nu	Litière	Adven- tice	Canop Ananas points	Total
juin-99	Surface%	22,8	48,3	6,6	22,3	100	66,8	7,7	0,0	25,4	100
juil-99	Surface%	20,7	47,8	5,7	25,8	100	63,0	7,8	1,3	28,0	100
août-99	Surface%	20,7	50,7	6,6	22,0	100	39,3	8,8	4,8	47,2	100
sept-99	Surface%	12,9	47,5	0,8	38,8	100	29,1	13,2	0,0	57,7	100
oct-99	Surface%	12,4	38,4	3,0	46,2	100	22,1	1,5	5,1	71,2	100
nov-99	Surface%	12,3	31,8	2,3	53,6	100	10,3	3,4	0,3	86,0	100
déc-99	Surface%	15,1	19,2	5,8	60,0	100	8,8	2,2	0,2	88,8	100
janv-00	Surface%	17,9	6,6	9,2	66,3	100	5,7	0,0	0,0	94,3	100
févr-00	Surface%	12,0	13,5	5,1	69,4	100	7,5	0,0	0,0	92,5	100
mars-00	Surface%	13,6	8,6	1,0	76,8	100	7,8	2,7	0,0	89,5	100
avr-00	Surface%	17,5	6,4	1,2	74,8	100	7,8	2,7	0,0	89,5	100
mai-00	Surface%	21,3	4,3	1,4	72,9	100	8,1	5,2	0,0	86,7	100
juin-00	Surface%	17,1	6,7	2,9	73,3	100	6,6	4,7	0,0	88,7	100
juil-00	Surface%	14,2	48,0	0,5	37,3	100	18,9	16,8	5,9	58,4	100
août-00	Surface%	14,2	48,0	0,5	37,3	100	18,9	16,8	5,9	58,4	100
sept-00	Surface%	8,4	37,7	2,6	51,3	100	20,9	6,0	0,0	73,1	100
oct-00	Surface%	7,2	34,0	2,1	56,7	100	14,2	3,9	1,0	80,9	100
nov-00	Surface%	6,5	24,9	6,5	62,2	100	8,9	5,4	0,5	85,2	100
déc-00	Surface%	6,5	24,9	6,5	62,2	100	8,9	5,4	0,5	85,2	100

Date	Parcelles Taux	Surface en rigoles (%)			Zone tassée >2,5 kg/cm ² (%)									
		Nu1	Nu7	Nu9	Nu1	Nu7	Nu9	Ca2	Ca8	Ca10	Ba3	Ba4	An5	An6
juin-99	surface%	x	x	x	x	x	x	45,0	36,3	55,7	65,8	58,2	38,2	41,4
juil-99	Surface%	10,9	0,0	0,0	x	x	x	31,4	34,6	31,0	58,5	45,9	56,3	43,6
août-99	Surface%	14,0	2,8	11,2	19,6	12,3	13,7	32,4	41,2	30,6	49,9	45,7	46,7	38,5
sept-99	Surface%	13,2	2,8	11,2	25,3	25,5	40,5	61,7	18,8	37,5	50,7	55,8	37,0	39,0
oct-99	Surface%	12,3	28,0	12,4	48,2	30,2	49,2	x	x	x	65,1	55,4	49,5	39,7
nov-99	Surface%	17,3	30,4	30,7	49,0	75,0	62,5	x	x	x	61,6	68,0	57,7	42,4
déc-99	Surface%	13,6	24,4	23,1	55,9	67,2	61,0	x	x	x	69,5	71,6	55,5	46,5
janv-00	Surface%	10,4	23,8	19,5	62,8	60,1	59,5	x	x	x	65,4	61,0	53,3	54,7
févr-00	Surface%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	x	x	x	69,7	73,1	57,7	52,7
mars-00	Surface%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,6	2,1	11,6	52,5	56,6	57,1	51,8
avr-00	Surface%	0,0	0,0	0,0	4,5	4,8	3,5	40,3	29,8	28,1	73,4	71,0	51,4	51,8
mai-00	Surface%	0,0	7,6	5,9	15,7	17,6	14,2	47,9	47,1	47,9	73,4	67,9	45,9	51,0
juin-00	Surface%	0,0	11,7	5,6	19,3	16,9	14,4	49,3	54,6	51,0	58,8	64,0	50,5	54,2
juil-00	Surface%	0,0	18,7	13,7	31,3	26,7	15,7	52,5	52,4	51,0	47,8	49,8	46,6	48,6
août-00	Surface%	6,0	25,8	21,8	43,3	36,5	17,0	55,0	x	x	36,9	35,6	46,6	48,6
sept-00	Surface%	26,4	31,3	45,8	49,7	35,0	37,5	x	x	x	61,5	52,7	52,9	45,3
oct-00	Surface%	33,9	29,4	42,9	47,3	36,9	33,5	x	x	x	48,2	44,2	47,4	48,5
nov-00	Surface%	41,5	29,7	30,1	30,4	24,2	22,7	x	x	x	26,1	38,7	42,8	46,3
déc-00	Surface%	41,5	29,7	30,1	30,4	24,2	22,7	x	x	x	26,1	38,7	42,8	46,3

– Annexe 6 –

Tableau T0 - Répartition des fractions d'agrégats après les 3 traitements T1, T2 et T3 du test de stabilité et diamètre médian pondéral MWD des échantillons t0.

Parcelle	Classe Traitement	Ø>2	Ø:2 - 1	Ø:1 - 0,5	Ø:0,5 - 0,2	Ø:0,2 - 0,1	Ø:0,1 - 0,05	Ø<0,05	MWD
		mm	mm	Mm	mm	mm	mm	mm	(mm)
Nu1	T1	4,8%	15,6%	38,7%	25,8%	5,6%	1,6%	7,9%	0,79
	<i>Ecart - type</i>	0,3%	0,2%	0,6%	0,7%	0,0%	0,0%	0,3%	0,02
	T2	9,7%	19,4%	38,5%	19,6%	3,7%	1,1%	8,0%	1,00
	<i>Ecart - type</i>	1,0%	1,1%	1,3%	1,3%	0,3%	0,1%	0,4%	0,07
	T3	44,8%	26,1%	14,2%	6,5%	1,8%	0,6%	6,0%	2,09
<i>Ecart - type</i>	2,6%	2,0%	1,0%	0,4%	0,1%	0,1%	0,4%	0,13	
Nu7	T1	12,7%	22,2%	33,4%	20,1%	6,3%	1,6%	3,7%	1,11
	<i>Ecart - type</i>	1,3%	0,8%	0,8%	0,5%	0,2%	0,1%	0,4%	0,07
	T2	15,9%	26,2%	32,0%	16,7%	4,6%	1,2%	3,4%	1,26
	<i>Ecart - type</i>	0,7%	1,5%	1,0%	1,1%	0,4%	0,1%	0,7%	0,06
	T3	41,2%	30,8%	15,1%	6,9%	2,3%	0,7%	3,1%	2,05
<i>Ecart - type</i>	3,1%	2,6%	0,7%	0,3%	0,1%	0,0%	0,2%	0,15	
Nu9	T1	23,3%	24,5%	26,7%	15,2%	4,7%	1,4%	4,1%	1,45
	<i>Ecart - type</i>	2,2%	1,1%	1,3%	0,6%	0,2%	0,1%	0,4%	0,10
	T2	30,9%	26,2%	23,0%	11,8%	3,3%	0,9%	4,0%	1,69
	<i>Ecart - type</i>	2,6%	0,8%	1,4%	0,8%	0,2%	0,1%	0,3%	0,12
	T3	70,4%	14,9%	5,4%	3,9%	1,5%	0,5%	3,5%	2,74
<i>Ecart - type</i>	1,2%	1,6%	0,7%	0,3%	0,1%	0,0%	0,2%	0,07	
Ba3	T1	15,0%	16,9%	24,9%	27,0%	8,2%	2,3%	5,7%	1,08
	<i>Ecart - type</i>	1,2%	2,3%	1,6%	1,5%	0,2%	0,0%	0,5%	0,10
	T2	31,4%	25,7%	23,7%	10,9%	2,6%	0,8%	4,9%	1,71
	<i>Ecart - type</i>	2,2%	1,6%	1,9%	1,0%	0,2%	0,0%	0,2%	0,12
	T3	28,3%	22,8%	23,8%	14,4%	3,8%	1,2%	5,7%	1,57
<i>Ecart - type</i>	1,5%	2,1%	0,8%	0,9%	0,2%	0,0%	0,2%	0,09	
Ba4	T1	14,2%	10,4%	28,1%	31,4%	8,8%	2,4%	4,5%	0,99
	<i>Ecart - type</i>	2,1%	0,9%	1,1%	1,2%	0,6%	0,0%	0,3%	0,10
	T2	24,0%	21,4%	27,7%	17,9%	3,8%	1,1%	4,2%	1,44
	<i>Ecart - type</i>	2,2%	1,3%	1,6%	1,2%	0,8%	0,2%	0,4%	0,11
	T3	35,2%	21,2%	21,6%	13,1%	3,4%	1,1%	4,3%	1,77
<i>Ecart - type</i>	2,3%	1,7%	1,0%	0,5%	0,1%	0,0%	0,2%	0,12	
An5	T1	9,1%	10,9%	27,7%	35,0%	9,9%	2,2%	5,2%	0,83
	<i>Ecart - type</i>	0,7%	1,6%	1,8%	0,3%	0,3%	0,3%	1,0%	0,06
	T2	18,1%	18,8%	29,1%	22,5%	5,4%	1,3%	4,8%	1,22
	<i>Ecart - type</i>	2,0%	2,2%	2,4%	3,1%	1,4%	0,3%	0,3%	0,13
	T3	48,3%	19,4%	13,7%	10,4%	3,2%	0,9%	4,1%	2,13
<i>Ecart - type</i>	2,7%	3,2%	0,8%	0,8%	0,2%	0,1%	0,3%	0,15	
An6	T1	8,7%	13,8%	33,9%	29,2%	6,8%	1,5%	6,0%	0,88
	<i>Ecart - type</i>	0,2%	1,1%	1,4%	0,5%	0,1%	0,1%	0,1%	0,04
	T2	19,1%	22,9%	31,3%	16,9%	3,3%	0,8%	5,7%	1,31
	<i>Ecart - type</i>	4,4%	1,9%	2,9%	2,6%	0,6%	0,1%	0,2%	0,21
	T3	41,6%	18,5%	20,3%	10,7%	2,1%	0,6%	6,2%	1,93
<i>Ecart - type</i>	2,6%	2,3%	1,4%	0,6%	0,1%	0,0%	0,1%	0,14	
Ca2	T1	11,8%	23,7%	29,8%	21,0%	6,1%	2,0%	5,7%	1,08
	<i>Ecart - type</i>	1,5%	2,1%	0,9%	0,8%	0,3%	0,1%	0,2%	0,09
	T2	33,5%	32,6%	18,4%	8,2%	2,1%	0,7%	4,5%	1,83
	<i>Ecart - type</i>	4,0%	3,3%	3,3%	1,9%	0,4%	0,1%	0,2%	0,22
	T3	55,5%	23,0%	8,9%	5,6%	1,9%	0,7%	4,4%	2,38
<i>Ecart - type</i>	2,7%	1,6%	0,9%	0,4%	0,2%	0,1%	0,2%	0,13	
Ca8	T1	11,8%	23,2%	29,8%	19,9%	7,4%	2,7%	5,2%	1,07
	<i>Ecart - type</i>	1,0%	1,7%	0,4%	0,4%	0,5%	0,3%	0,8%	0,07
	T2	24,4%	39,3%	20,7%	9,6%	3,1%	1,1%	1,8%	1,64
	<i>Ecart - type</i>	2,8%	3,0%	0,5%	0,8%	0,6%	0,3%	0,3%	0,15
	T3	36,6%	35,1%	14,8%	7,8%	2,7%	1,1%	2,0%	1,95
<i>Ecart - type</i>	2,0%	2,4%	1,1%	0,2%	0,1%	0,1%	0,2%	0,12	
Ca10	T1	17,5%	29,1%	29,6%	16,2%	4,3%	1,1%	2,1%	1,34
	<i>T1 - Ect</i>	0,4%	0,2%	1,0%	0,3%	0,2%	0,1%	0,1%	0,03
	T2	35,9%	31,2%	19,9%	8,8%	2,1%	0,5%	1,6%	1,91
	<i>Ecart - type</i>	2,4%	3,3%	2,2%	1,8%	0,5%	0,1%	0,1%	0,16
	T3	60,8%	21,6%	8,8%	4,9%	1,4%	0,4%	2,2%	2,54
<i>Ecart - type</i>	3,9%	3,5%	0,1%	0,3%	0,1%	0,0%	0,3%	0,19	

- Annexe 6 -

Tableau T0+1 - Répartition des fractions d'agrégats après les 3 traitements du test de stabilité et diamètre médian pondéral MWD des échantillons t0+1.

Parcelle	Classe Traitement	Ø>2	Ø:2 - 1	Ø:1 - 0,5	Ø:0,5 - 0,2	Ø:0,2 - 0,1	Ø:0,1 - 0,05	Ø<0,05	MWD (mm)
		mm	mm	Mm	mm	mm	mm	mm	
Nu1	T1	4.0°	10.7°	29.5°	31.2°	10.1°	3.0°	11.4°	0.65
	Ecart - type	0.2%	0.3%	1.4%	1.4%	0.3%	0.1%	0.3%	0.03
	T2	10.8°	22.9°	31.9°	18.3°	4.2°	1.2°	10.7°	1.04
	Ecart - type	2.7°	2.0°	1.6°	2.2°	0.6°	0.1°	0.6°	0.14
	T3	27.9°	30.1°	19.0°	9.2°	2.6°	1.0°	10.2°	1.61
Ecart - type	3.2°	2.1°	1.2°	0.4°	0.1°	0.1°	0.2°	0.16	
Nu7	T1	8.8°	12.4°	20.6°	30.3°	13.9°	4.9°	9.0°	0.78
	Ecart - type	0.5°	0.4°	1.3°	1.2°	0.5°	0.2°	2.0°	0.04
	T2	15.7°	22.9°	22.8°	19.8°	7.0°	2.3°	9.5°	1.15
	Ecart - type	1.7°	3.4°	1.7°	1.6°	1.2°	0.5°	0.3°	0.13
	T3	29.2°	27.5°	19.7°	10.4°	3.1°	1.2°	9.0°	1.62
Ecart - type	1.8°	0.5°	0.6°	0.3°	0.2°	0.1°	0.6°	0.08	
Nu9	T1	16.3°	18.6°	23.0°	21.9°	7.8°	2.3°	10.3°	1.11
	Ecart - type	2.4°	2.6°	1.2°	1.3°	0.3°	0.2°	0.3°	0.14
	T2	34.0°	21.1°	18.6°	12.5°	3.5°	1.0°	9.4°	1.70
	Ecart - type	3.5°	1.6°	1.3°	1.3°	0.4°	0.1°	0.7°	0.16
	T3	46.7°	21.0°	12.6°	7.5°	2.4°	0.8°	9.0°	2.08
Ecart - type	2.7°	1.1°	1.2°	0.6°	0.2°	0.1°	0.1°	0.12	
Ba3	T1	8.8°	15.4°	23.4°	27.3°	9.6°	2.7°	12.8°	0.83
	Ecart - type	0.5°	1.4°	0.9°	1.1°	0.6°	0.2°	2.8°	0.05
	T2	12.6°	19.2°	27.9°	23.0°	5.4°	1.3°	10.6°	1.03
	Ecart - type	1.3°	1.9°	0.7°	1.2°	0.4°	0.1°	0.3°	0.08
	T3	60.6°	16.1°	8.0°	6.6°	2.6°	0.9°	5.2°	2.45
Ecart - type	3.4°	2.3°	0.9°	0.4°	0.2°	0.1°	0.2°	0.16	
Ba4	T1	7.2°	7.4°	20.7°	38.1°	11.2°	3.0°	12.4°	0.67
	Ecart - type	1.5%	0.3%	1.3%	0.8%	0.5%	0.1%	0.4%	0.07
	T2	15.1°	14.9°	27.0°	24.3°	5.9°	1.6°	11.2°	1.05
	Ecart - type	1.8%	2.3%	0.9%	2.5%	0.4%	0.0%	0.2%	0.11
	T3	34.3°	20.4°	17.8°	12.0°	3.5°	1.1°	10.9°	1.69
Ecart - type	1.9%	0.9%	0.7%	0.7%	0.3%	0.1%	0.3%	0.09	
An5R	T1	10.6°	12.2°	24.6°	31.9°	10.2°	2.4°	8.0°	0.87
	Ecart - type	0.3%	2.9%	0.9%	1.9%	0.8%	0.2%	0.1%	0.07
	T2	36.9°	22.8°	18.4°	11.0°	2.5°	0.8°	7.6°	1.82
	Ecart - type	5.1%	1.0%	1.6%	1.6%	0.9%	0.2%	0.2%	0.22
	T3	47.2°	19.0°	12.5°	9.5°	3.1°	1.0°	7.7°	2.07
Ecart - type	1.4%	0.9%	0.7%	0.4%	0.1%	0.0%	0.3%	0.07	
An5 I-R*	T1	8.6°	10.4°	22.5°	35.1°	11.9°	2.8°	8.8°	0.77
	Ecart - type	0.8%	0.7%	1.1%	1.3%	0.5%	0.2%	0.3%	0.05
	T2	13.4°	15.9°	27.9°	26.6°	6.5°	1.6°	8.2°	1.02
	Ecart - type	1.5%	1.6%	1.1%	1.5%	0.5%	0.2%	0.4%	0.09
	T3	37.7°	18.0°	19.0°	12.9°	3.7°	1.0°	7.7°	1.79
Ecart - type	3.3%	2.2%	1.0%	0.6%	0.1%	0.0%	0.4%	0.16	
An6 Bi*	T1	11.0°	16.1°	28.7°	27.0°	7.7°	2.2°	7.4°	0.95
	Ecart - type	1.0%	2.0%	0.8%	0.6%	0.3%	0.2%	0.4%	0.07
	T2	20.6°	20.3°	28.1°	18.6°	4.6°	1.1°	6.8°	1.31
	Ecart - type	1.7%	2.0%	0.7%	1.3%	0.4%	0.2%	0.2%	0.10
	T3	48.7°	20.5°	13.2°	7.8°	2.3°	0.7°	6.8°	2.15
Ecart - type	3.9%	1.9%	1.4%	0.8%	0.2%	0.1%	0.3%	0.18	
An6 Si*	T1	5.7°	12.3°	28.3°	31.5°	11.5°	3.0°	7.7°	0.73
	Ecart - type	0.9%	1.1%	0.7%	0.6%	0.5%	0.2%	0.5%	0.06
	T2	9.8°	18.8°	30.3°	25.2°	7.3°	1.7°	6.8°	0.96
	Ecart - type	1.0%	1.2%	1.3%	0.5%	0.2%	0.0%	0.3%	0.06
	T3	30.9°	24.8°	19.7°	13.0°	4.1°	1.2°	6.3°	1.66
Ecart - type	1.5%	0.6%	0.8%	0.6%	0.3%	0.1%	0.6%	0.07	
Ca2	T1	9.5°	17.4°	31.3°	25.2°	6.4°	1.8°	8.4°	0.93
	Ecart - type	1.4%	0.2%	2.3%	0.5%	0.4%	0.1%	0.1%	0.07
	T2	25.9°	31.3°	22.3°	10.3°	2.4°	0.7°	7.1°	1.59
	Ecart - type	5.2%	1.4%	2.7%	1.1%	0.2%	0.1%	0.2%	0.23
	T3	34.5°	26.7°	17.5°	10.3°	2.9°	1.0°	7.0°	1.78
Ecart - type	3.4%	2.8%	1.4%	0.4%	0.2%	0.1%	0.2%	0.17	
Ca8	T1	17.4°	16.1°	24.9°	25.5°	9.3°	2.5°	4.2°	1.15
	Ecart - type	2.6%	0.9%	1.5%	0.7%	0.4%	0.1%	0.4%	0.12
	T2	23.8°	27.0°	25.4°	16.0°	4.1°	1.2°	2.5°	1.49
	Ecart - type	2.9%	0.7%	1.3%	1.4%	0.6%	0.2%	0.3%	0.13
	T3	36.6°	25.3°	16.8°	11.2°	3.8°	1.1°	5.1°	1.84
Ecart - type	0.5%	1.0%	1.0%	0.5%	0.2%	0.0%	0.4%	0.04	
Ca10	T1	30.6°	21.3°	21.9°	15.2°	4.2°	1.1°	5.7°	1.62
	Ecart - type	1.1%	0.8%	0.5%	0.7%	0.2%	0.1%	0.5%	0.06
	T2	40.3°	22.9°	18.5°	10.3°	2.3°	0.5°	5.3°	1.93
	Ecart - type	3.8%	2.3%	1.6%	1.4%	0.4%	0.1%	0.2%	0.19
	T3	65.0°	17.5°	7.2°	3.7°	1.1°	0.3°	5.3°	2.61
Ecart - type	4.0%	2.7%	1.0%	0.4%	0.1%	0.0%	0.6%	0.19	

*Sur (An5 et An6) : R = rang ; I-R = inter - rang ; Bi = billon ; Si = sillon.

Annexe 7

Résultats des conditions initiales et des 19 simulations de pluies (Ip#100 mm/h) sur les parcelles d'érosion.

Traitement	Simu. Pluie	Conditions avant et après la pluie					Etat de surface avant la simulation de pluie						Pluie Ip mm/h	Ruissellement LRc et Kr à 60, 90, 120, 150 et 180 min. après le début de la simulation de pluie.										Perte en terre totale			Turbidité						
		Pente %	Hp avant %	Hp après %	Hp >24h %	Dapp g/cm3	Rugsté	S.O. mottes %	S.C. Lit +Caillx %	S.F. croûtes %	Z.tassée >2kN/cm² %	Z.meuble <2kN/cm² %		Pi	LRc60	LRc90	LRc120	LRc150	LRc180	Kr60	Kr90	Kr120	Kr150	Kr180	Rx	Fn	PT60	PT120	PT180	Turbi 60 (g/l)	Turbi 180 (g/l)		
																																u/ha	u/ha
Canne (IR+résid.)	Ca2-1	13%	21,2%	49,9%	42,9%	0,80	1,16	2,0	98,0	0,0	0	100	100,0	0,3	0,4	0,6	1,0	0,0	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,0	100	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Ca2-2	11,5%	18,0%	62,6%	Nd	0,80	1,17	2,6	97,4	0,0	0	100	100,0	6,6	8,6	10,9	13,7	0,0	6,5	5,7	5,5	5,5	5,2	0,0	100	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Banane (IR+résid.)	Ba3-1	16,3%	16,9%	49,2%	44,7%	0,79	1,23	1,8	98,2	0,0	10,4	89,6	100,2	0,6	0,5	1,0	1,0	0,0	0,6	0,3	0,5	0,4	0,3	0,0	100	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	Ba3-2	17,3%	21,0%	47,8%	46,4%	0,78	1,20	0,6	94,5	4,9	4,9	95,1	102,2	1,4	3,2	4,9	7,7	0,0	1,4	2,1	2,4	3,0	2,6	0,0	100	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Banane (IR nu)	Ba3-3	18%	20,8%	59,2%	45,8%	0,84	1,06	43,3	17,3	3,9	56,3	4,4	99,23	8,3	48,6	98,6	129,6	175,5	233,3	49,0	66,2	65,3	70,8	78,4	70,9	28,3	0,8	3,0	5,6	0,7	0,8		
	Ba3-4	15%	25,1%	59,2%	48,1%	0,84	1,02	46,1	16,8	37,1	70,1	29,9	95,4	8,0	64,5	135,0	184,8	231,0	270,0	67,6	94,3	96,9	96,9	94,3	89,4	6,0	4,0	11,1	17,4	2,1	1,6		
	Ba3-5	9%	28,1%	54,9%	52,8%	0,84	1,02	56,4	16,8	26,7	53,6	46,4	94,03	6,3	72,0	132,3	176,4	225,0	259,2	76,6	93,8	93,8	95,7	91,9	87,5	12,5	0,4	1,2	1,7	0,5	0,5		
Ananas BI	An6-1	9%	19,9%	55,8%	x	0,88	1,17	6,3	83,9	9,9	17,9	6,3	102,7	6,8	102,0	x	202,0	x	303,0	99,3	x	98,3	x	98,3	101	1,7	0,2	1,7	2,8	0,2	x		
	An6-2	9%	15,8%	59,3%	x	0,87	1,17	1,6	85,5	13,0	13,0	87,0	102,3	2,8	88,8	x	177,6	x	266,4	86,8	x	86,8	x	86,8	88,8	13,5	0,2	0,5	0,7	0,1	x		
	An6-3	11%	20,6%	54,8%	x	0,87	1,17	6,2	76,7	17,1	26,7	73,3	98,23	3,3	84,6	x	165,0	x	247,5	86,2	x	84,0	x	84,0	82,5	15,7	0,9	1,7	2,5	0,2	x		
Sol nu	Nu1-1	13%	20,6%	49,4%	45,5%	0,76	1,06	100	0	0	0	100	100	50,0	17,0	62,7	123,1	170,5	200,0	17,0	41,8	61,5	68,2	66,7	67,9	32,1	0,1	1,2	4,8	0,3	0,5		
	Nu1-2	13%	18,1%	54,7%	45,5%	0,77	1,06	97,5	2,5	0	0	100	100	83,3	5,6	23,7	69,0	109,7	167,3	5,6	15,8	34,5	43,9	55,8	69,8	30,2	0,0	0,3	0,9	0,1	0,5		
	Nu1-3	12%	18,1%	43,5%	x	0,80	1,06	97,5	2,5	0	0	100	100,7	66,7	6,3	42,4	104,5	169,6	238,1	0,6	4,6	13,8	25,4	38,7	85,3	14,7	0,0	0,7	2,5	0,2	0,6		
	Nu7-1	25%	15,8%	48,4%	x	0,83	1,05	93,1	6,9	0,0	0,0	100	99,18	13,2	56,4	91,4	121,0	151,3	196,5	56,9	61,4	61,0	61,0	66,0	65,0	38,6	1,2	3,2	5,2	1,0	x		
	Nu7-2	24%	22,0%	44,0%	x	0,83	1,04	92,3	7,7	0,0	0,0	100	102,4	17,1	58,2	99,5	145,2	160,0	216,0	56,8	64,7	70,9	72,7	70,3	72,0	30,4	1,4	4,8	7,2	1,6	x		
	Nu7-3	25%	17,6%	44,9%	x	0,84	1,04	90,1	9,9	0,0	0,0	100	100,7	25,2	62,2	115,0	151,5	187,3	224,7	61,8	76,1	75,2	74,4	74,4	75,9	24,8	1,4	3,9	5,8	1,1	x		
	Nu9-2	36%	34,9%	48,1%	x	0,79	1,04	95,6	4,4	0,0	0,0	100	96,6	16,1	15,5	11,6	34,9	88,2	150,8	16,0	34,9	55,0	38,5	52,0	38,1	58,5	0,8	2,3	3,9	1,5	0,5		
	Nu9-4	37%	34,2%	49,0%	x	0,79	1,05	91,9	8,1	0,0	0,0	100	100,8	15,1	43,3	64,0	107,5	168,2	196,4	42,9	42,3	53,3	66,7	64,9	58,8	42,0	1,6	2,8	4,1	1,1	0,7		
	Nu9-3	37%	34,6%	48,6%	x	0,78	1,06	89,9	10,1	0,0	0,0	100	99,8	11,8	33,6	x	x	x	x	33,7	x	x	x	x	48	51,8	1,0	x	x	1,1	x		

Canne (IR+résid.)	Ca2rés	12%	0,2	0,6	0,4	0,8	1,17	2,3	97,7	0,0	x	x	100,1	100,0	3,5	4,5	5,8	7,3	0,0	3,4	3,0	2,9	2,9	2,8	0,0	100	x	x	x	0,2	0,1
Banane (IR+résid.)	Ba3rés	17%	0,2	0,5	0,5	0,8	1,22	1,2	96,3	2,4	7,7	92,3	101,2	100,0	1,0	1,8	2,9	4,3	0,0	1,0	1,2	1,4	1,7	1,5	0,0	100	x	x	x	x	x
Banane (IR nu)	Ba3nu	14%	0,2	0,6	0,5	0,8	1,03	48,6	17,0	22,6	60,0	26,9	96,2	7,5	61,7	122,0	163,6	210,5	254,2	64,4	84,8	85,3	87,8	88,2	82,6	15,6	1,7	5,1	8,2	1,1	1,0
Ananas BI	An6	9%	17,8-22	0,6	0,82-0,8	1,17	4,7	82,0	13,3	19,2	55,6	101,1	4,2	91,8	x	181,5	x	272,3	90,8	x	89,7	x	89,7	90,8	10,3	0,4	1,3	1,9	0,2		
Sol nu	Nu1	12%	0,2	0,5	0,5	0,8	1,06	98,3	1,7	0,0	0,0	100,0	100,2	66,7	9,7	42,9	98,9	149,9	201,8	7,8	20,7	36,6	45,8	53,7	74,3	25,7	0,0	0,8	2,7	0,2	0,5
	Nu7	25%	0,2	0,5	x	0,8	1,04	91,8	8,2	0,0	0,0	100,0	100,7	18,5	58,9	101,9	139,2	x	x	58,5	67,4	69,0	x	x	69,5	31,3	1,5	4,0	x	1,2	
	Nu9	37%	0,3	0,5	x	0,8	1,05	92,5	7,5	0,0	0,0	100,0	99,1	14,3	30,8	37,8	71,2	128,2	173,6	30,9	38,6	54,1	51,6	58,5	48,3	50,8	1,1	2,5	4,0	1,2	0,6

Canne	Ca2rés	0,01	0,02	0,09	x	0,00	0,01	0,40	0,40	0,00	x	x	0,09	x	4,45	5,77	7,28	8,96	0,00	4,39	3,84	3,84	3,59	3,37	x	x	x	x	x	x	
Banane	Ba3rés	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,02	0,87	2,58	3,45	3,93	3,93	1,43	x	0,57	1,87	2,80	4,72	0,00	0,53	1,21	1,36	1,84	1,66	x	x	x	x	x	x	
Banane	Ba3nu	0,04	0,04	0,02	0,04	0,00	0,02	6,93	0,30	16,97	8,85	21,19	2,70	1,07	11,95	20,31	29,74	30,46	18,87	14,08	16,08	17,40	14,75	8,60	10,1	11,5	1,94	5,26	8,18	0,87	0,59
Ananas BI	An6	0,01	x	0,02	x	x	x	2,70	4,70	3,65	6,94	43,22	2,47	2,30	9,08	x	x	x	x	7,42	x	x	x	x	9,42	7,56	0,38	x	x	0,09	x
Sol nu	Nu1	0,00	0,01	0,06	0,00	0,02	0,00	1,44	1,44	0,00	0,00	0,00	0,38	16,67	6,40	19,50	27,46	34,85	35,43	8,41	19,09	23,96	21,47	14,09	9,57	9,57	0,02	0,45	1,97	0,07	0,05
	Nu7	0,01	0,03	0,02	x	0,00	0,01	1,57	1,57	0,00	0,00	0,00	1,59	6,10	2,99	12,00	16,09	x	x	2,86	7,71	7,29	x	x	7,99	6,98	0,31	0,82	x	0,34	x
	Nu9	0,01	0,00	0,00	x	0,01	0,01	2,89	2,89	0,00	0,00	0,00	2,19	2,34	14,10	37,03	51,34	58,53	32,20	13,68	5,23	1,15	21,36	9,12	10,4	8,3	0,40	0,36	0,16	0,24	0,20

Hp avant Humidité pondérale du sol (0-10 cm) avant la simulation de pluie (%)

Hp après Humidité pondérale du sol (0-10 cm) après l'arrêt de la pluie simulée (%)

Dapp : Densité apparente du sol (0-10 cm) par la méthode des cubes de 1 l (g/cm3)

Rugsté estimation de la rugosité par la méthode de la chainette sur une longueur linéaire de 1 m (rapport de la longueur de la chainette sur 1 m)

S.O. Surface Ouverte ou mottes de toute taille (%)

S.C. Surface Couverte regroupant les cailloux et la litière protégeant le sol (%)

S.F. Surface Fermée ou pellicule et croûte de surface (%)

Z.tassée Zone tassée, de compaction >2 kN/cm² (%)

Z.meuble Zone meuble, de compaction <2 kN/cm² (%)

Ip Intensité de la pluie simulée (mm/h)

Pi Pluie d'imbibition ou hauteur d'eau nécessaire pour provoquer le ruissellement (mm)

LRc : Lame Ruisselée cumulée ou hauteur d'eau cumulée du ruissellement après 60, 90, 120, 150 et 180 minutes de simulation de pluie

Kr Coefficient de ruissellement ou rapport de la lame ruisselée cumulée sur la hauteur de la pluie après 60, 90, 120, 150 et 180 minutes (%)

Rx intensité du ruissellement au régime permanent pendant la simulation de pluie (mm/h)

Fn intensité d'infiltration constante déduit d'après Ip et Rx (mm/h)

PT Perte en terre totale et cumulée après 60, 90, 120, 150 et 180 minutes de pluie simulée (t/ha).

coefficient de corrélation significatif (p=(0,497)=5%)				
	LRc60	Dapp	S.C.	Rugsté
PI	-0,64	0,77	0,85	
LRc60	0,90	-0,54	-0,71	-0,84
Rx	0,76	0,60	-0,50	-0,52
Turbi60			-0,60	-0,70
PT60			0,30	-0,42

(Pi et S.C.) et (Pi et Rugsté

Annexe 8

18/05/00	7	7	35,2	0	0,00	0	39	-14,4	40,5	-2,4	43	-33,6	-13,80	-25,80	5,40	-28,20	-28,20	-28,20	0	0	0
25/05/00	5,8	5,8	34,4	0	0,00	0	35,5	-16,8	35	-26,4	45	9,6	-11,80	-2,20	-38,20	-28,60	-28,60	-28,60	0	0	0
01/06/00	83,2	83,2	27,2	0	0,06	0,07	47	55,2	45	48	46	4,8	0,80	7,94	51,13	56,00	55,94	55,93	0	0	0
08/06/00	32,4	32,4	30	0	0,00	0	46,5	-2,4	47	9,6	47,5	7,2	4,80	-7,20	-4,80	2,40	2,40	2,40	0	0	0
15/06/00	24,2	24,2	28,2	0	0,00	0	41,5	-9,6	50	14,4	48	2,4	5,60	-18,40	-6,40	-4,00	-4,00	-4,00	0	0	0
22/06/00	25,8	25,8	29,3	0	0,00	0	46	7,2	48	-9,6	47	-4,8	-10,70	6,10	1,30	-3,50	-3,50	-3,50	0	0	0
29/06/00	13,2	13,2	32	0	0,00	0	44,5	-7,2	47,5	-2,4	48	4,8	-11,80	-16,40	-23,60	-18,80	-18,80	-18,80	0	0	0
06/07/00	51,6	51,6	31,9	0	0,00	0	44	-2,4	47	-2,4	56	38,4	22,10	22,10	-18,70	19,70	19,70	19,70	0	0	0
13/07/00	13,2	13,2	33,5	0	0,00	0	51	33,6	51	19,2	56	0	-53,90	-39,50	-20,30	-20,30	-20,30	-20,30	0	0	0
20/07/00	44,4	44,4	33,7	0	0,00	0	49,5	-7,2	67	76,8	58,5	12	17,90	-66,10	-1,30	10,70	10,70	10,70	0	0	0
27/07/00	78	78	29	1,96	0,17	1,19	46,5	-14,4	50,5	-79,2	52	-31,2	61,44	128,03	79,01	47,04	48,83	47,81	0	0	0
03/08/00	108	108	29,4	6,28	3,57	5,03	55	40,8	51	2,4	49	-14,4	31,52	72,63	87,97	72,32	75,03	73,57	0	0	0
10/08/00		56,5	32,5	0	0,00	0	57	9,6	48	-14,4	49	0	14,40	38,40	24,00	24,00	24,00	24,00	0	0	0
17/08/00		51	32,7	1,47	3,05	1,78	53	-19,2	54	28,8	51	9,6	36,03	-13,55	6,92	16,83	15,25	16,52	0	0	0
24/08/00		60	31,1	3,61	1,93	4,09	57	19,2	66	57,6	51	0	6,09	-30,63	24,81	25,29	26,98	24,81	0	0	0
31/08/00		186,2	31,8	31,22	15,23	17,68	58	4,8	59,5	-31,2	68	81,6	118,38	170,38	55,12	123,18	139,18	136,72	0	0	0
07/09/00		18	37,4	0,19	0,27	0,21	62,5	21,6	63,25	18	68,5	2,4	-41,19	-37,67	-22,01	-19,59	-19,67	-19,61	0	0	0
14/09/00		33	27,4	3,91	3,57	0,77	41	-88,8	62	-6	66	-12	90,49	8,03	16,83	1,69	2,03	4,83	0	0	0
21/09/00		101,3	23,1	11,37	6,92	2,41	47	14,4	53,5	-40,8	54	-57,6	52,43	112,08	133,39	66,83	71,28	75,79	0	0	0
28/09/00		92	29,2	21,56	15,81	7,89	47	0	51	-12	51	-14,4	41,24	58,99	69,31	41,24	46,99	54,91	0	0	0
05/10/00		68	28,8	5,67	4,65	2,62	68	100,8	66	72	68	81,6	-67,27	-37,45	-45,02	33,53	34,55	36,58	0	0	0
12/10/00		87	27,7	26,25	18,73	14,98	49	-91,2	47,5	-88,8	52,5	-74,4	124,25	129,37	118,72	33,05	40,57	44,32	0	0	0
19/10/00		31	26,4	0,77	2,59	1,4	47	-9,6	47,5	0	50,5	-9,6	13,40	1,98	12,77	3,80	1,98	3,17	0	0	0
26/10/00		27	26,4	0	0,00	0	47	0	47	-2,4	48	-12	0,57	2,97	12,57	0,57	0,57	0,57	0	0	0
02/11/00		45	26,4	0	0,00	0	64	81,6	68	100,8	68	96	-63,03	-82,23	-77,43	18,57	18,57	18,57	0	0	0
09/11/00		127	24,6	27,47	24,49	19,21	64	0	57	-52,8	59	-43,2	74,94	130,72	126,40	74,94	77,92	83,20	0	0	0
16/11/00		76	24,6	16,34	8,45	8,52	57	-33,6	64	33,6	59	0	68,67	9,36	42,89	35,07	42,96	42,89	0	0	0
23/11/00		46	24,6	6,068	3,64	4,505	64	33,6	68	19,2	62	14,4	-18,26	-1,43	2,51	15,34	17,77	16,91	0	0	0
30/11/00		60,5	24,6	7,89	6,88	4,125	58	-28,8	68	0	62	0	56,82	29,03	31,79	28,02	29,03	31,79	0	0	0
07/12/00		26,5	24,5	0	0,00	0	50	-38,4	49	-91,2	57	-24	40,40	93,20	26,00	2,00	2,00	2,00	0	0	0
14/12/00		5,5	24,5	0	0,00	0	57	33,6	57	38,4	64	33,6	-52,60	-57,40	-52,60	-19,00	-19,00	-19,00	0	0	0
21/12/00		55	24,5	3,52	2,07	2,16	64	33,6	68	52,8	68	19,2	-6,62	-24,37	9,14	26,98	28,43	28,34	0	0	0
Total 1999	1092,5	608,9	130,7	107,7	87,0			14,4		86,4		24,0	338,5	289,5	372,6	352,9	375,9	396,6	0	0	0
Total (01-06) 2000	830,2	784,9	7,2	3,2	7,1			-16,8		-93,6		-24,0	54,9	135,7	62,2	38,1	42,1	38,2	0	0	0
Total (07-12) 2000	1547,7	710,3	175,5	122,0	98,6			93,6		98,4		96,0	568,2	617,0	642,8	661,8	715,4	738,8	0	0	0
Total 1999+2000	3470,4	2104,1	313,4	232,9	192,7			91,2		91,2		96,0	961,7	1042,2	1077,5	1052,9	1133,4	1173,5	0	0	0

* Dr calc. 1 : drainage théorique calculé d'après : $Dr_{calc1} = P - (ETP + LR + Var.stock)$

**Dr calc. 2 : drainage théorique calculé sans la variation de stock $Var.stock$

Annexe 8

TABEAU BH02 - BILAN HYDRIQUE POUR LE TRAITEMENT DE CANNE PAILLEE (Ca2, Ca8 et Ca10) DURANT LES 2 CAMPAGNES DE MESURES 1999 ET 2000

DATE	Stat météo	Pluivo lect.	ETP (mm)	Ruissellement			Variation du stock d'eau du sol à partir des tensiomètres						Dr.calc.*			Dr.calc.*			Vérification : P- (ETP+LR+Varstock +Dr) = 0		
	Pluie (mm)	Pluie (mm)		Ca2	Ca8	Ca10	Ca2		Ca8		Ca10		Ca2	Ca8	Ca10	Sans la Var Stock					
				LR Ca2 (mm)	LR Ca8 (mm)	LR Ca10 (mm)	Hp sol (%)	Var stock (mm)	Hp sol (%)	Var stock (mm)	Hp sol (%)	Var stock (mm)	Dr=P-(ETP+LR+Varstock) (mm)	Ca2 (mm)	Ca8 (mm)	Ca10 (mm)	Ca2 (mm)	Ca8 (mm)	Ca10 (mm)	Ca2	Ca8
01/07/99	22,2	24,7	33,4	0	0	0	40		56		52		-8,70	-8,70	-8,70	-8,70	-8,70	-8,70	0	0	0
08/07/99	73,8	101,7	31,8	0	0	0	47	33,6	49,5	-31,2	52	0	36,30	101,10	69,90	69,90	69,90	69,90	0	0	0
15/07/99	42,8	86,4	28,6	0	0,34	0,08	49,5	12	56	31,2	56	19,2	45,80	26,26	38,52	57,80	57,46	57,72	0	0	0
22/07/99	67,8	37,8	33,6	0	0,03	0	45	-21,6	47	-43,2	49,5	-31,2	25,80	47,37	35,40	4,20	4,17	4,20	0	0	0
27/07/99	28,2	55,3	34,9	0	0,01	0	11	-19,2	42	-24	42	-36	39,60	44,39	56,40	20,40	20,39	20,40	0	0	0
05/08/99	51,2	76,9	31,8	0	0,05	0	42	4,8	47	24	47	24	40,30	21,05	21,10	45,10	45,05	45,10	0	0	0
12/08/99	37,4	38,6	31,6	0	0	0	38	-19,2	34	-62,4	36	-52,8	26,20	69,40	59,80	7,00	7,00	7,00	0	0	0
19/08/99	66	66,5	30,1	0	0,11	0	47	43,2	38,5	21,6	47,25	54	-6,80	14,69	-17,60	36,40	36,29	36,40	0	0	0
26/08/99	28,7	10,8	35,6	0	0	0	36	-52,8	35	-16,8	37	-49,2	28,00	-8,00	24,40	-24,80	-24,80	-24,80	0	0	0
02/09/99	37,6	47	29,9	0	0	0	39	14,4	36	4,8	12	24	2,70	12,30	-6,90	17,10	17,10	17,10	0	0	0
10/09/99	52,7	52,7	28,7	0	0	0	40	4,8	34,5	-7,2	38,5	-16,8	19,20	31,20	40,80	24,00	24,00	24,00	0	0	0
16/09/99	31,2	31,7	26,8	0	0	0	39	-4,8	34	-2,4	35	-16,8	9,70	7,30	21,70	4,90	4,90	4,90	0	0	0
23/09/99	3,6	3,8	30,8	0	0	0	35,5	-16,8	33,5	-2,4	31,25	-18	-10,20	-24,80	-9,00	-27,00	-27,00	-27,00	0	0	0
30/09/99	41,1	40,9	28,1	0	0	0	36	2,4	35,35	8,88	34,6	16,08	10,40	3,92	-3,28	12,80	12,80	12,80	0	0	0
07/10/99	55,8	53,1	29	0,02	0	0	43	33,6	40	22,32	37	11,52	-9,52	1,78	12,58	24,08	24,10	24,10	0	0	0
14/10/99	25,2	13,5	31,9	0	0	0	36,5	-31,2	36	-19,2	34	-14,4	12,80	0,80	-4,00	-18,40	-18,40	-18,40	0	0	0
21/10/99	57,3	52,9	26,2	0,03	0	0	34,5	-9,6	32,5	-16,8	33,25	-3,6	36,27	43,50	30,30	26,67	26,70	26,70	0	0	0
28/10/99	40,5	44,7	25,3	0,03	0	0	43,5	43,2	40	36	37,5	20,4	-23,83	-16,60	-1,00	19,37	19,40	19,40	0	0	0
04/11/99	37,6	43	29,9	0	0	0	43	-2,4	47	33,6	35,5	-9,6	15,50	-20,50	22,70	13,10	13,10	13,10	0	0	0
11/11/99	35,2	35,1	22,2	0	0	0	43,5	2,4	40,25	-32,4	35	-2,4	10,50	45,30	15,30	12,90	12,90	12,90	0	0	0
18/11/99	99,6	94,5	18,9	0	0,05	0	49,5	28,8	49,5	44,4	12,5	36	46,80	31,15	39,60	75,60	75,55	75,60	0	0	0
25/11/99	56,6	76,5	20,5	0,02	0,02	0	44	-26,4	42,5	-33,6	40	-12	82,38	89,58	68,00	55,98	55,98	56,00	0	0	0
02/12/99	189	226,5	26,5	22,3	24,44	31,24	45	4,8	43	2,4	42	9,6	172,90	173,16	159,16	177,70	175,56	168,76	0	0	0
09/12/99	0,6	0,6	26,4	0	0	0	48	14,4	47	19,2	10,5	-7,2	-40,20	-45,00	-18,60	-25,80	-25,80	-25,80	0	0	0
16/12/99	7,4	7,4	28,5	0	0	0	36	-57,6	36	-52,8	39	-7,2	36,50	31,70	-13,90	-21,10	-21,10	-21,10	0	0	0
23/12/99	19,4	19,4	26,6	0	0	0	35	-4,8	34,5	-7,2	42	14,4	-2,40	0,00	-21,60	-7,20	-7,20	-7,20	0	0	0
30/12/99	56,4	56,4	23,6	0	0	0	48	62,4	43	40,8	43	4,8	-29,60	-8,00	28,00	32,80	32,80	32,80	0	0	0
06/01/00	48,2	48,2	26,5	0	0	0	50	9,6	54	52,8	49,5	31,2	12,10	-31,10	-9,50	21,70	21,70	21,70	0	0	0
13/01/00	49,8	49,8	27,4	0	0	0	49,5	-2,4	49,5	-21,6	49,5	0	24,80	44,00	22,40	22,40	22,40	22,40	0	0	0
20/01/00	80	80	26,1	0	0	0	47	-12	43	-31,2	47	-12	65,90	85,10	65,90	53,90	53,90	53,90	0	0	0
27/01/00	19,6	19,6	29,2	0	0	0	49,5	12	47	19,2	10,5	-31,2	-21,80	-28,80	21,60	-9,60	-9,60	-9,60	0	0	0
03/02/00	34,8	34,8	30,2	0	0	0	45	-21,6	36	-52,8	38,5	-9,6	26,20	57,40	14,20	4,60	4,60	4,60	0	0	0
10/02/00	28,4	28,4	28,2	0	0	0	43	-9,6	40	19,2	35,75	-13,2	9,80	-19,00	13,40	0,20	0,20	0,20	0	0	0
17/02/00	36,2	36,2	30,4	0	0	0	49,5	31,2	47	33,6	37	6	-25,40	-27,80	-0,20	5,80	5,80	5,80	0	0	0
24/02/00	53,4	53,4	26,3	0	0	0	49,5	0	43	-19,2	41	19,2	27,10	46,30	7,90	27,10	27,10	27,10	0	0	0
02/03/00	10,8	10,8	33,7	0	0	0	49,5	0	50,75	37,2	52	52,8	-22,90	-60,10	-75,70	-22,90	-22,90	-22,90	0	0	0
09/03/00	4,2	4,2	33,1	0	0	0	50,75	6	49,5	-6	54	9,6	-34,90	-22,90	-38,50	-28,90	-28,90	-28,90	0	0	0
16/03/00	74,8	74,8	26,6	0	0	0	49,5	-6	48,25	-6	50,75	-15,6	54,20	54,20	63,80	48,20	48,20	48,20	0	0	0
23/03/00	21	21	28,1	0	0	0	47	-12	49,5	6	49,5	-6	4,90	-13,10	-7,10	-7,10	-7,10	-7,10	0	0	0
30/03/00	26,6	26,6	27,4	0	0	0	49,5	12	52	12	56	31,2	-12,80	-12,80	-32,00	-0,80	-0,80	-0,80	0	0	0
06/04/00	20,4	20,4	32,8	0	0	0	49,5	0	52	0	56	0	-12,40	-12,40	-12,40	-12,40	-12,40	-12,40	0	0	0
13/04/00	51	51	30,7	0	0	0	52	12	52	0	64	38,4	8,30	20,30	-18,10	20,30	20,30	20,30	0	0	0
20/04/00	25,4	25,4	35,4	0	0	0	45,75	-30	47,5	-21,6	56	-38,4	20,00	11,60	28,40	-10,00	-10,00	-10,00	0	0	0
27/04/00	14,2	14,2	33,6	0	0	0	38,5	-34,8	47	-2,4	36,5	-93,6	15,40	-17,00	74,20	-19,40	-19,40	-19,40	0	0	0
04/05/00	20,8	20,8	31,1	0	0	0	31	-21,6	38,5	-40,8	31,5	-9,6	11,30	30,50	-0,70	-10,30	-10,30	-10,30	0	0	0
11/05/00	19	19	31,8	0	0	0	31	-14,4	37,5	-4,8	31,5	0	1,60	-8,00	-12,80	-12,80	-12,80	-12,80	0	0	0

Annexe 8

18/05/00	7	7	35,2	0	0	0	29	-9,6	34,5	-14,4	31,5	-14,4	-18,60	-13,80	-13,80	-28,20	-28,20	-28,20	0	0	0
25/05/00	5,8	5,8	34,4	0	0	0	34	24	30	-21,6	29	-12	-52,60	-7,00	-16,60	-28,60	-28,60	-28,60	0	0	0
01/06/00	83,2	83,2	27,2	0	0	0	40	28,8	42	57,6	38,5	45,6	27,20	-1,60	10,40	56,00	56,00	56,00	0	0	0
08/06/00	32,4	32,4	30	0	0	0	43	14,4	45	14,4	40	7,2	-12,00	-12,00	-4,80	2,40	2,40	2,40	0	0	0
15/06/00	24,2	24,2	28,2	0	0	0	34	-43,2	39,5	-26,4	34	-28,8	39,20	22,40	24,80	-4,00	-4,00	-4,00	0	0	0
23/06/00	25,8	25,8	29,3	0	0	0	31	-14,4	39	-2,4	43	43,2	10,90	-1,10	-46,70	-3,50	-3,50	-3,50	0	0	0
29/06/00	13,2	13,2	32	0	0	0	30	-4,8	35	-19,2	37	-28,8	-14,00	0,40	10,00	-18,80	-18,80	-18,80	0	0	0
06/07/00	51,6	51,6	31,9	0	0	0	34	19,2	40	24	37	0	0,50	-4,30	19,70	19,70	19,70	19,70	0	0	0
13/07/00	13,2	13,2	33,5	0	0	0	34,5	2,4	35	-24	36	-4,8	-22,70	3,70	-15,50	-20,30	-20,30	-20,30	0	0	0
20/07/00	44,4	44,4	33,7	0	0	0	34	-2,4	33	-9,6	34	-9,6	13,10	20,30	20,30	10,70	10,70	10,70	0	0	0
27/07/00	78	78	29	0	0	0	38,25	20,4	42	43,2	45	52,8	28,60	5,80	-3,80	49,00	49,00	49,00	0	0	0
03/08/00	108	108	29,4	0	0	0	46	37,2	49	33,6	49	19,2	41,40	45,00	59,40	78,60	78,60	78,60	0	0	0
10/08/00		56,5	32,5	0	0	0	45	-4,8	45	-19,2	45	-19,2	28,80	43,20	43,20	24,00	24,00	24,00	0	0	0
17/08/00		51	32,7	0	0	0	38	-33,6	47	9,6	47	9,6	51,90	8,70	8,70	18,30	18,30	18,30	0	0	0
24/08/00		60	31,1	0	0	0	56	86,4	50	14,4	56	43,2	-57,50	14,50	-14,30	28,90	28,90	28,90	0	0	0
31/08/00		186,2	31,8	0	0	0	48,5	-36	50	0	58	9,6	190,40	154,40	144,80	154,40	154,40	154,40	0	0	0
07/09/00		18	37,4	0	0	0	45,75	-13,2	58,5	40,8	63,5	26,4	-6,20	-60,20	-45,80	-19,40	-19,40	-19,40	0	0	0
14/09/00		33	27,4	0	0	0	35	-51,6	55	-16,8	59	-21,6	57,20	22,40	27,20	5,60	5,60	5,60	0	0	0
21/09/00		101,3	23,1	0	0	0	40,5	26,4	48	-33,6	55,5	-16,8	51,80	111,80	95,00	78,20	78,20	78,20	0	0	0
28/09/00		92	29,2	0	0	0	45	21,6	47	-4,8	54	-7,2	41,20	67,60	70,00	62,80	62,80	62,80	0	0	0
05/10/00		68	28,8	0	0	0	56	52,8	56	43,2	64	48	-13,60	-4,00	-8,80	39,20	39,20	39,20	0	0	0
12/10/00		87	27,7	0	0	0	46,5	-45,6	48	-38,4	51,5	-80	104,90	97,70	119,30	59,30	59,30	59,30	0	0	0
19/10/00		31	26,4	0	0	0	44,5	-9,6	45,5	-12	46	-28,4	14,17	16,57	30,97	4,57	4,57	4,57	0	0	0
26/10/00		27	26,4	0	0	0	39	-26,4	44	-7,2	46	0	26,97	7,77	0,57	0,57	0,57	0,57	0	0	0
02/11/00		45	26,4	0	0	0	56	81,6	54	48	62	76,8	-63,03	-29,43	-58,23	18,57	18,57	18,57	0	0	0
09/11/00		127	24,6	0,1	0,2	0	51	-24	57	14,4	57	-24	126,31	87,81	126,41	102,31	102,21	102,41	0	0	0
16/11/00		76	24,6	0	0	0	49	-9,6	57	0	56	-4,8	61,01	51,41	56,21	51,41	51,41	51,41	0	0	0
23/11/00		46	24,6	0	0	0	55	28,8	57	0	57	4,8	-7,39	21,41	16,61	21,41	21,41	21,41	0	0	0
30/11/00		60,5	24,6	0	0	0	55	0	63	28,8	61	19,2	35,91	7,11	16,71	35,91	35,91	35,91	0	0	0
07/12/00		26,5	24,5	0	0	0	45	-48	49	-67,2	43	-86,4	50,00	69,20	88,40	2,00	2,00	2,00	0	0	0
14/12/00		5,5	24,5	0	0	0	47	9,6	43	-28,8	43	0	-28,60	9,80	-19,00	-19,00	-19,00	-19,00	0	0	0
21/12/00		55	24,5	0	0	0	49	9,6	42	-4,8	43	0	20,90	35,30	30,50	30,50	30,50	30,50	0	0	0
Total 1999	1373,7	737,8	22,4	25,1	31,3			38,4		-62,4		-43,2	575,1	673,3	647,8	613,5	610,9	604,6	0	0	0
Total (01-06) 2000	830,2	784,9	0,0	0,0	0,0			-86,4		-38,4		-28,8	131,7	83,7	74,1	45,3	45,3	45,3	0	0	0
Total (07-12) 2000	1547,7	710,3	0,1	0,2	0,0			91,2		33,6		28,8	746,1	803,6	808,6	837,3	837,2	837,4	0	0	0
Total 1999+2000	3751,6	2233,0	22,5	25,3	31,3			43,2		-67,2		-43,2	1452,9	1560,5	1530,5	1496,1	1493,3	1487,3	0	0	0

* Dr calc. 1 : drainage théorique calculé d'après : $Drcalc1 = P - (ETP + LR + Var.stock)$

**Dr calc 2 : drainage théorique calculé sans la variation de stock $Var.stock$

Annexe 8

TABLEAU BH03 - BILAN HYDRIQUE POUR LE TRAITEMENTS "BANANERAIE ETABLI" DURANT LES 2 CAMPAGNES DE MESURES 1999 ET 2000.

Date	Stat météo			Ruisselement			Drainage observé					Var stock d'eau à partir des tensiomètres					Dr.calc.1*		Dr.calc.2**	Vérification
	Pluie (mm)	Pluivio lect. (mm)	ETP (mm)	Ba3 LR3 (mm)	Ba4 LR4 (mm)	LR Moy (mm)	Lysi A Dr A (mm)	Lysi B Dr B (mm)	Lysi C Dr C (mm)	Lysi D Dr D (mm)	Lysi E Dr E (mm)	Dr Obs Moy (mm)	Ba3		Ba4		Moy (mm)	Dr=P-(ETP+LR+Varstock)	Sans la Var Stock	P-(ETP+LR+ +Varstock+Dr)=0
													Hp sol (%)	Var stock (mm)	Hp sol (%)	Var stock (mm)				
01/07/99	22,2	24,7	33,4	0	0	0,00	14,5	2	6,2	x	x	10,35	40	0	47,2	24,96	12,48	-21,18	-8,70	0
08/07/99	73,8	101,7	31,8	0	0	0,00	42,7	12,8	10,7	x	x	26,70	45	24	45	-10,56	6,72	63,18	69,90	0
15/07/99	42,8	86,4	28,6	0,43	0,48	0,46	70,3	40,8	24,7	x	x	47,50	52	33,6	47	9,6	21,6	35,75	57,35	0
22/07/99	67,8	37,8	33,6	0,07	0,01	0,04	4,1	2,8	1,8	x	x	2,95	46	-28,8	48	4,8	-12	16,16	4,16	0
27/07/99	28,2	55,3	34,9	0,02	0	0,01	0,9	0	1,4	x	x	1,15	43	-14,4	46	-9,6	-12	32,39	20,39	0
05/08/99	51,2	76,9	31,8	0,25	0,03	0,14	24,3	1,3	1,7	x	x	13,00	49,5	31,2	49,5	16,8	24	20,96	44,96	0
12/08/99	37,4	38,6	31,6	0	0	0,00	1,2	0	0,2	x	x	0,70	42	-36	47	-12	-24	31,00	7,00	0
19/08/99	66	66,5	30,1	0,73	0,18	0,46	0	0	10,1	x	x	5,05	49,5	36	47	0	18	17,95	35,95	0
26/08/99	28,7	10,8	35,6	0	0	0,00	2	0	0	41,7	20	15,93	36,5	-62,4	36,5	-50,4	-56,4	31,60	-24,80	0
02/09/99	37,6	47	29,9	0,06	0	0,03	0,8	1,5	4,7	12,3	11,4	7,30	46,5	48	41	21,6	34,8	-17,73	17,07	0
09/09/99	52,7	52,7	28,7	0,16	0	0,08	4	0	1,6	15,8	13,1	8,63	41	-26,4	42	4,8	-10,8	34,72	23,92	0
16/09/99	31,2	31,7	26,8	0,16	0,06	0,11	5,4	0	0	1,7	0	1,78	39	-9,6	42	0	-4,8	9,59	4,79	0
23/09/99	3,6	3,8	30,8	0	0	0,00	0	0	0	6,6	5,3	2,98	34,35	-22,32	35,25	-32,4	-27,36	0,36	-27,00	0
30/09/99	41,1	40,9	28,1	0	0	0,00	0,5	0	0	0,7	0	0,30	36,75	11,52	38,25	14,4	12,96	-0,16	12,80	0
07/10/99	55,8	53,1	29	0,05	0,03	0,04	50,1	8,7	11,4	57,6	11,4	32,63	39	10,8	43	22,8	16,8	7,26	24,06	0
14/10/99	25,2	13,5	31,9	0	0	0,00	10	2,4	0	2,3	0	3,08	37,5	-7,2	40	-14,4	-10,8	-7,60	-18,40	0
21/10/99	57,3	52,9	26,2	0	0	0,00	0,6	27,7	14,6	60	33,8	27,25	38,75	6	39,25	-3,6	1,2	25,50	26,70	0
28/10/99	40,5	44,7	25,3	1,37	0,54	0,96	20,8	15,5	6,5	23,7	25,1	19,03	40	6	41	8,4	7,2	11,25	18,45	0
04/11/99	37,6	43	29,9	0	0	0,00	0	0	0	9,8	6,8	4,15	40	0	41,5	2,4	1,2	11,90	13,10	0
11/11/99	35,2	35,1	22,2	0	0	0,00	0,6	0,2	2	8,8	2,9	3,58	40	0	43	7,2	3,6	9,30	12,90	0
18/11/99	99,6	94,5	18,9	1,12	0,32	0,72	44,5	73,8	24,6	78,9	44,6	48,15	49,5	45,6	48,25	25,2	35,4	39,48	74,88	0
25/11/99	56,6	76,5	20,5	1,19	0,37	0,78	46,9	76,9	35,4	29,2	43,1	38,65	42	-36	43	-25,2	-30,6	85,82	55,22	0
02/12/99	189	226,5	26,5	76,81	67,56	72,19	225	216,9	216,9	168,3	133,8	186,00	43	4,8	47	19,2	12	115,82	127,82	0
09/12/99	0,6	0,6	26,4	0,14	0,15	0,15	15,6	15,4	9,2	12,3	1,5	9,65	47	19,2	47,5	2,4	10,8	-36,75	-25,95	0
16/12/99	7,4	7,4	28,5	0	0	0,00	8,1	0	0	3,1	8,6	4,95	35,75	-54	41	-31,2	-42,6	21,50	-21,10	0
23/12/99	19,4	19,4	26,6	0	0	0,00	0	0	0	0	0	0,00	36,5	3,6	40	-4,8	-0,6	-6,60	-7,20	0
30/12/99	56,4	56,4	23,6	0,12	0,02	0,07	3,4	13,8	6,2	13,1	9,2	7,98	46,5	48	48,5	40,8	44,4	-11,67	32,73	0
06/01/00	48,2	48,2	26,5	0	0	0,00	0	5,2	8,6	3,8	4,6	4,44	53,25	32,4	48	-2,4	15	6,70	21,70	0
13/01/00	49,8	49,8	27,4	0,12	0	0,06	23,4	15,4	10,8	10,8	9,2	13,92	52	-6	49,5	7,2	0,6	21,74	22,34	0
20/01/00	80	80	26,1	0,18	0,36	0,27	35,9	47,7	23,1	20	39,2	33,18	49,5	-12	46	-16,8	-14,4	68,03	53,63	0
27/01/00	19,6	19,6	29,2	0	0	0,00	6,3	0	0	0	0	1,26	47	-12	43,5	-12	-12	2,40	-9,60	0
03/02/00	34,8	34,8	30,2	0	0	0,00	0	0	0	1,2	0	0,24	51,5	21,6	41,5	-9,6	6	-1,40	4,60	0
10/02/00	28,4	28,4	28,2	0	0	0,00	0	0	0	0	0	0,00	47	-21,6	39,5	-9,6	-15,6	15,80	0,20	0
17/02/00	36,2	36,2	30,4	0	0	0,00	1	0	0	1,5	9,2	2,34	47	0	39,5	0	0	5,80	5,80	0
24/02/00	53,4	53,4	26,3	0,14	0,09	0,12	13,3	27,7	15,4	18,8	23,1	15,40	47	0	41	7,2	3,6	23,39	26,99	0
02/03/00	10,8	10,8	33,7	0	0	0,00	0	0	0	0	0	0,00	44	-14,4	39,5	-7,2	-10,8	-12,10	-22,90	0
09/03/00	4,2	4,2	33,1	0	0	0,00	0	0	0	0	0	0,00	49,5	26,4	41	7,2	16,8	-45,70	-28,90	0
16/03/00	74,8	74,8	26,6	0	0	0,00	45,3	16,3	23,1	16,2	13,5	22,88	49,5	0	41	0	0	48,20	48,20	0
23/03/00	21	21	28,1	0	0	0,00	0	0	0	0	0	0,00	48,25	-6	41	0	-3	-4,10	-7,10	0
30/03/00	26,6	26,6	27,4	0	0	0,00	0	3,1	0	0	0	0,62	49,5	6	45	19,2	12,6	-13,40	-0,80	0
06/04/00	20,4	20,4	32,8	0	0	0,00	1,3	1,5	0	1,5	0,8	1,02	49,5	0	47	9,6	4,8	-17,20	-12,40	0
13/04/00	51	51	30,7	0	0	0,00	0	0	0	16,9	1,5	3,68	52	12	49,5	12	12	8,30	20,30	0
20/04/00	25,4	25,4	35,4	0,27	0,14	0,21	1,3	1,2	0	1,8	0,6	0,98	49,5	-12	49,5	0	-6	-4,20	-10,21	0
27/04/00	14,2	14,2	33,6	0	0	0,00	0	0	0	0,6	0	0,12	35	-69,6	40	-45,6	-57,6	38,20	-19,40	0
04/05/00	20,8	20,8	31,1	0	0	0,00	0	0	0	0	0	0,00	33,7	-6,24	37,5	-12	-9,12	-1,18	-10,30	0
11/05/00	19	19	31,8	0	0	0,00	0	0	0	0	0	0,00	33,5	-0,96	37	-2,4	-1,68	-11,12	-12,80	0
18/05/00	7	7	35,2	0	0	0,00	0	0	0	0	0	0,00	31,75	-8,4	32	-24	-16,2	-28,20	-28,20	0

Annexe 8

25/05/00	5,8	5,8	34,4	0	0	0,00	0	0	0	0	0	0,00	33,5	8,4	30	-9,6	-0,6	-28,00	-28,60	0
01/06/00	83,2	83,2	27,2	0,04	0,15	0,10	13	3,1	3,4	0,3	5,4	5,04	43,5	48	44,5	69,6	58,8	-2,89	55,91	0
08/06/00	32,4	32,4	30	0	0	0,00	2	4,6	1,2	1,5	2,2	2,30	10	-16,8	11,75	-13,2	-15	17,40	2,40	0
15/06/00	24,2	24,2	28,2	0	0	0,00	0	0	0	0	0	0,00	36	-19,2	11	-3,6	-11,4	7,40	-4,00	0
22/06/00	25,8	25,8	29,3	0	0	0,00	0	0	0	0	0	0,00	35	-4,8	40	-4,8	-4,8	1,30	-3,50	0
29/06/00	13,2	13,2	32	0	0	0,00	0	0	0	0	0	0,00	33,5	-7,2	34,5	-26,4	-16,8	-2,00	-18,80	0
06/07/00	51,6	51,6	31,9	0	0	0,00	0	0	0	0	0	0,00	37	16,8	39	21,6	19,2	0,50	19,70	0
13/07/00	13,2	13,2	33,5	0	0	0,00	0	0	0	0	0	0,00	40	14,4	39,25	1,2	7,8	-28,10	-20,30	0
20/07/00	44,4	44,4	33,7	0	0	0,00	0	0	0	0	0	0,00	39,5	-2,4	41,25	9,6	3,6	7,10	10,70	0
27/07/00	78	78	29	0,22	0,11	0,17	0	9,2	7,7	29,2	16,9	12,60	43	16,8	43	8,4	12,6	36,24	48,84	0
03/08/00	108	108	29,4	0,17	0,53	0,35	17,2	40	32,3	35,4	32,3	31,44	49	28,8	46	14,4	21,6	56,65	78,25	0
10/08/00		56,5	32,5	0	0	0,00	9,4	26,9	16,2	13,1	8,5	14,82	46	-14,4	17	4,8	-4,8	28,80	24,00	0
17/08/00		51	32,7	0,15	0	0,08	0	6,2	6,2	1,5	3,8	3,54	17,5	7,2	46	-4,8	1,2	17,03	18,23	0
24/08/00		60	31,1	0,31	0,33	0,32	3,1	33,8	16,9	9,2	6,2	13,84	57	45,6	57	52,8	49,2	-20,62	28,58	0
31/08/00		186,2	31,8	11,16	9,27	10,22	65,6	238,5	109,2	96,9	168,5	135,74	49	-38,4	18,5	-40,8	-39,6	183,79	144,19	0
07/09/00		18	37,4	0	0	0,00	0	0	0	0	0	0,00	43,5	-26,4	44,5	-19,2	-22,8	3,40	-19,40	0
14/09/00		33	27,4	0,53	0,46	0,50	0	0	0	0	0	0,00	43,5	0	39,5	-24	-12	17,11	5,11	0
21/09/00		101,3	23,1	2,06	1,71	1,89	23,4	75,4	13,8	1,5	7,7	24,36	43	-2,4	45	26,4	12	64,32	76,32	0
28/09/00		92	29,2	4,22	5,24	4,73	45,3	98,5	38,5	23,1	20	45,08	43	0	45	0	0	58,07	58,07	0
05/10/00		68	28,8	1,04	0,61	0,83	15,6	38,5	10,8	1,5	7,7	14,82	52	43,2	52	33,6	38,4	-0,03	38,38	0
12/10/00		87	27,7	5,95	6,81	6,38	42,2	117,7	55,4	13,8	16,9	49,20	44,5	-36	39	-62,4	-49,2	102,12	52,92	0
19/10/00		31	26,4	0,22	0,18	0,20	0	0	0	0	0	0,00	46	7,2	43	19,2	13,2	-8,83	4,37	0
26/10/00		27	26,4	0	0	0,00	0	0	0	0	0	0,00	45	-4,8	44	4,8	0	0,57	0,57	0
02/11/00		45	26,4	0	0	0,00	0	0	0	0	0	0,00	61	76,8	56	57,6	67,2	-48,63	18,57	0
09/11/00		127	24,6	8,63	4,74	6,69	106,3	90,8	121,5	53,8	30,8	80,64	57	-19,2	56	0	-9,6	105,33	95,73	0
16/11/00		76	24,6	3,45	3,13	3,29	40,6	61,5	69,2	12,3	15,4	39,80	49	-38,4	53	-14,4	-26,4	74,52	48,12	0
23/11/00		46	24,6	0,8	1,02	0,91	9,4	26,2	10,8	0	0	9,28	61	57,6	56	14,4	36	-15,49	20,51	0
30/11/00		60,5	24,6	0,67	0,85	0,76	18,8	53,8	15,4	0	10,8	19,76	59	-9,6	56	0	-4,8	39,96	35,16	0
07/12/00		26,5	24,5	0,10	0,14	0,12	8,6	9,2	6,2	2,3	3,8	6,02	45	-67,2	44	-57,6	-62,4	64,28	1,88	0
14/12/00		5,5	24,5	0	0	0,00	0	0	0	0	0	0,00	48	14,4	49	24	19,2	-38,20	-19,00	0
21/12/00		55	24,5	0,05	0,03	0,04	0	0	0	0	0	0,00	57	43,2	57	38,4	40,8	-10,34	30,46	0
Total 1999	1398,4	771,2	82,7	69,8	76,2	596,3	512,5	389,9	545,9	370,6	529,4					31,2	519,8	551,0	0	
Total (01-06) 2000	830,2	784,9	0,8	0,7	0,7	142,8	125,8	85,6	94,9	109,3	107,4					-64,8	109,4	44,6	0	
Total (07-12) 2000	1547,7	710,3	39,7	35,2	37,4	405,5	926,2	530,1	293,6	349,3	500,9					110,4	689,5	799,9	0	
Total 1999+2000	3776,3	##	123,2	105,6	114,4	1144,6	1564,5	1005,6	934,4	829,2	1137,7					76,8	1318,7	1395,5	0	

* Dr calc. 1 : drainage théorique calculé d'après : $Dr_{calc1} = P - (ETP + LR + Var.stock)$

**Dr calc. 2 : drainage théorique calculé sans la variation de stock $Var.stock$

Annexe 8

TABLEAU BH04 - BILAN HYDRIQUE POUR LES 2 TRAITEMENTS D'ANANAS (An5) et (An6) DURANT LES CAMPAGNES 1999 ET 2000.

DATE	Stat météo	Pluvio lect.	ETP	Ruissellement		Variation du stock d'eau du sol à partir des tensièmes							Dr.calc.1*		Dr.calc.2**		Vérification P	
	Pluie (mm)	Pluie (mm)	(mm)	An5	An6	An5		An6-BI		An6-SI		Moy An6	An5	An6	Sans la Var Stock		(ETP+LR+Var	
				LR-An5	R-An6	Hp sol	Var stock	Hp sol	Var stock	Hp sol	Var stock	Var stock	(mm)	(mm)	An5	An6	An5	An6
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	An5	An6
01/07/99	22,2	24,7	33,4	0	0,00	52	0	54	0	56	0	0	-8,70	-8,70	-8,70	-8,70	0,00	0,00
08/07/99	73,8	101,7	31,8	0	7,24	47	-24	49,5	-21,6	45	-52,8	-37,2	93,90	99,86	69,90	62,66	0,00	0,00
15/07/99	42,8	86,4	28,6	0	9,38	52	24	64	69,6	68	110,4	90	33,80	-41,58	57,80	48,42	0,00	0,00
22/07/99	67,8	37,8	33,6	0	3,03	49,5	-12	54	-48	49,5	-88,8	-68,4	16,20	69,57	4,20	1,17	0,00	0,00
27/07/99	28,2	55,3	34,9	0	0,00	49,5	0	52	-9,6	47	-12	-10,8	20,40	31,20	20,40	20,40	0,00	0,00
05/08/99	51,2	76,9	31,8	0	6,15	52	12	52	0	52	24	12	33,10	26,95	45,10	38,95	0,00	0,00
12/08/99	37,4	38,6	31,6	0	0,00	52	0	56	19,2	52	0	9,6	7,00	-2,60	7,00	7,00	0,00	0,00
19/08/99	66	66,5	30,1	0	7,05	52	0	52	-19,2	49,5	-12	-15,6	36,40	44,95	36,40	29,35	0,00	0,00
26/08/99	28,7	10,8	35,6	0	0,13	54	9,6	68	76,8	56	31,2	54	-34,40	-78,93	-24,80	-24,93	0,00	0,00
02/09/99	37,6	47	29,9	0	0,40	49,5	-21,6	56	-57,6	48,5	-36	-46,8	38,70	63,50	17,10	16,70	0,00	0,00
09/09/99	52,7	52,7	28,7	0	1,05	47	-12	47	-43,2	45	-16,8	-30	36,00	52,95	24,00	22,95	0,00	0,00
16/09/99	31,2	31,7	26,8	0	3,72	64	81,6	60	62,4	64	91,2	76,8	-76,70	-75,62	4,90	1,18	0,00	0,00
23/09/99	3,6	3,8	30,8	0	0,00	45	-91,2	41	-91,2	43	-100,8	-96	64,20	69,00	-27,00	-27,00	0,00	0,00
30/09/99	41,1	40,9	28,1	0	0,33	45,25	1,2	45,75	22,8	44	4,8	13,8	11,60	-1,33	12,80	12,47	0,00	0,00
07/10/99	55,8	53,1	29	0	5,33	47	8,4	52	30	47	14,4	22,2	15,70	-3,43	24,10	18,77	0,00	0,00
14/10/99	25,2	13,5	31,9	0	0,00	49,5	12	45	-33,6	45	-9,6	-21,6	-30,40	3,20	-18,40	-18,40	0,00	0,00
21/10/99	57,3	52,9	26,2	0	3,69	47	-12	49,5	21,6	46	4,8	13,2	38,70	9,81	26,70	23,01	0,00	0,00
28/10/99	40,5	44,7	25,3	0,06	3,69	49,5	12	52	12	55	43,2	27,6	7,34	-11,89	19,34	15,71	0,00	0,00
04/11/99	37,6	43	29,9	0	2,32	49,5	0	48,25	-18	48,5	-31,2	-24,6	13,10	35,38	13,10	10,78	0,00	0,00
11/11/99	35,2	35,1	22,2	0	0,72	49,5	0	48,25	0	47	-7,2	-3,6	12,90	15,78	12,90	12,18	0,00	0,00
18/11/99	99,6	94,5	18,9	0	7,06	50,75	6	50,75	12	49,5	12	12	69,80	56,55	75,60	68,55	0,00	0,00
25/11/99	56,6	76,5	20,5	0,02	7,74	52	6	49,5	-6	49,5	0	-3	49,98	51,27	55,98	48,27	0,00	0,00
02/12/99	189	226,5	26,5	22,55	63,77	52	0	49,5	0	47	-12	-6	177,45	142,23	177,45	136,23	0,00	0,00
07/12/99	0,6	0,6	26,4	0	3,24	55,5	16,8	55	26,4	57	48	37,2	-42,60	-66,24	-25,80	-29,04	0,00	0,00
16/12/99	7,4	7,4	28,5	0	0,00	51	-21,6	43	-57,6	45	-57,6	-57,6	0,50	36,50	-21,10	-21,10	0,00	0,00
23/12/99	19,4	19,4	26,6	0	0,00	53,5	12	55	57,6	52	33,6	45,6	-19,20	-52,80	-7,20	-7,20	0,00	0,00
30/12/99	56,4	56,4	23,6	0	8,15	58	21,6	53	-9,6	55	14,4	2,4	11,20	22,25	32,80	24,65	0,00	0,00
06/01/00	48,2	48,2	26,5	0	3,39	57	-4,8	55	9,6	52,5	-12	-1,2	26,50	19,51	21,70	18,31	0,00	0,00
13/01/00	49,8	49,8	27,4	0	2,99	56	-4,8	64	43,2	56	16,8	30	27,20	-10,59	22,40	19,41	0,00	0,00
20/01/00	80	80	26,1	0,05	7,01	52	-19,2	50,75	-63,6	52	-19,2	-41,4	73,05	88,29	53,85	46,89	0,00	0,00
27/01/00	19,6	19,6	29,2	0	0,32	64	-57,6	56	25,2	64	57,6	41,4	-67,20	-51,32	-9,60	-9,92	0,00	0,00
03/02/00	34,8	34,8	30,2	0	0,87	64	0	49,5	-31,2	52,75	-54	-42,6	4,60	46,33	4,60	3,73	0,00	0,00
10/02/00	28,4	28,4	28,2	0	0,00	47	-81,6	49,5	6	49,5	-15,6	-4,8	81,80	5,00	0,20	0,20	0,00	0,00
17/02/00	36,2	36,2	30,4	0	1,76	52	24	52,75	9,6	52,75	15,6	12,6	-18,20	-8,56	5,80	4,04	0,00	0,00
24/02/00	53,4	53,4	26,3	0	7,85	48,25	-18	49,5	-15,6	45	-37,2	-26,4	45,10	45,65	27,10	19,25	0,00	0,00
02/03/00	10,8	10,8	33,7	0	0,00	50,75	12	45	-21,6	46	4,8	-8,4	-34,90	-14,50	-22,90	-22,90	0,00	0,00
09/03/00	4,2	4,2	33,1	0	1,53	64	63,6	52	33,6	56	48	40,8	-92,50	-71,23	-28,90	-30,43	0,00	0,00
16/03/00	74,8	74,8	26,6	0	2,63	49,5	-69,6	47,25	-22,8	47	-43,2	-33	117,80	78,57	48,20	45,57	0,00	0,00
23/03/00	21	21	28,1	0	0,00	49,5	0	57	46,8	56	43,2	45	-7,10	-52,10	-7,10	-7,10	0,00	0,00
30/03/00	26,6	26,6	27,4	0	0,45	64	69,6	52	-24	52	-19,2	-21,6	-70,40	20,35	-0,80	-1,25	0,00	0,00
06/04/00	20,4	20,4	32,8	0	0,21	56	-38,4	52	0	52	0	0	26,00	-12,61	-12,40	-12,61	0,00	0,00
13/04/00	51	51	30,7	0	0,70	56	0	56	19,2	64	57,6	38,4	20,30	-18,80	20,30	19,60	0,00	0,00
20/04/00	25,4	25,4	35,4	0	5,72	52,75	-15,6	56	0	52	-57,6	-28,8	5,60	13,08	-10,00	-15,72	0,00	0,00
27/04/00	14,2	14,2	33,6	0	0,00	42	-51,6	49,5	-31,2	47	-24	-27,6	32,20	8,20	-19,40	-19,40	0,00	0,00
04/05/00	20,8	20,8	31,1	0	0,00	47	24	52	12	52	24	18	-34,30	-28,30	-10,30	-10,30	0,00	0,00
11/05/00	19	19	31,8	0	0,04	49,5	12	56	19,2	56	19,2	19,2	-24,80	-32,04	-12,80	-12,84	0,00	0,00

Annexe 8

18/05/00	7	7	35,2	0	0,00	41	-40,8	43,5	-60	42	-67,2	-63,6	12,60	35,40	-28,20	-28,20	0,00	0,00
25/05/00	5,8	5,8	34,4	0	0,00	36	-24	43	-2,4	47	24	10,8	-4,60	-39,40	-28,60	-28,60	0,00	0,00
02/06/00	83,2	83,2	27,2	0	4,06	47	52,8	47	19,2	45	-9,6	4,8	3,20	47,14	56,00	51,94	0,00	0,00
06/06/00	32,4	32,4	30	0	3,95	45	-9,6	49	9,6	46	4,8	7,2	12,00	-8,75	2,40	-1,55	0,00	0,00
15/06/00	24,2	24,2	28,2	0	1,05	49	19,2	47,5	-7,2	47	4,8	-1,2	-23,20	-3,85	-4,00	-5,05	0,00	0,00
23/06/00	25,8	25,8	29,3	0	0,00	49	0	49	7,2	46	-4,8	1,2	-3,50	-4,70	-3,50	-3,50	0,00	0,00
29/06/00	13,2	13,2	32	0	0,00	46	-14,4	45	-19,2	44	-9,6	-14,4	-4,40	-4,40	-18,80	-18,80	0,00	0,00
06/07/00	51,6	51,6	31,9	0	0,00	52	28,8	58	62,4	49	24	43,2	-9,10	-23,50	19,70	19,70	0,00	0,00
13/07/00	13,2	13,2	33,5	0	0,00	51,5	-2,4	58	0	50	4,8	2,4	-17,90	-22,70	-20,30	-20,30	0,00	0,00
20/07/00	44,4	44,4	33,7	0	1,60	50	-7,2	60	9,6	54,5	21,6	15,6	17,90	-6,50	10,70	9,10	0,00	0,00
27/07/00	78	78	29	0,11	6,17	50	0	51,5	-26,4	50	-21,6	-24	48,89	66,83	48,89	42,83	0,00	0,00
03/08/00	108	108	29,4	0,11	8,85	56	28,8	61	31,2	57	33,6	32,4	49,69	37,35	78,49	69,75	0,00	0,00
10/08/00		56,5	32,5	0	0,00	62	28,8	62	4,8	58	4,8	4,8	-4,80	19,20	24,00	24,00	0,00	0,00
17/08/00		51	32,7	0	6,80	17	-7,2	57	-24	59	4,8	-9,6	90,30	21,10	18,30	11,50	0,00	0,00
24/08/00		60	31,1	0	12,45	62	7,2	62	24	61	9,6	16,8	-43,10	-0,35	28,90	16,45	0,00	0,00
31/08/00		186,2	31,8	1,11	71,40	57	-24	58,5	-16,8	55,5	-26,4	-21,6	177,29	104,60	153,29	83,00	0,00	0,00
07/09/00		18	37,4	0	2,71	62,5	26,4	63,75	25,2	61,75	30	27,6	-45,80	-49,71	-19,40	-22,11	0,00	0,00
14/09/00		33	27,4	0	7,87	17	-74,4	57	-32,4	46	-75,6	-54	80,00	51,73	5,60	-2,27	0,00	0,00
21/09/00		101,3	23,1	0	21,17	51,5	21,6	54	-14,4	54	38,4	12	56,60	45,03	78,20	57,03	0,00	0,00
28/09/00		92	29,2	0,13	36,08	58	31,2	59	24	59	24	24	31,47	2,72	62,67	26,72	0,00	0,00
05/10/00		68	28,8	0	10,84	57	-4,8	63	19,2	70	52,8	36	44,00	-7,64	39,20	28,36	0,00	0,00
12/10/00		87	27,7	0	47,99	18	-43,2	52,5	-50,4	50	-96	-73,2	102,50	84,51	59,30	11,31	0,00	0,00
19/10/00		31	26,4	0	4,04	49	4,8	48	-21,6	50	0	-10,8	-0,23	11,33	4,57	0,53	0,00	0,00
26/10/00		27	26,4	0	0,75	57	38,4	51	14,4	55	24	19,2	-37,83	-19,38	0,57	-0,18	0,00	0,00
02/11/00		45	26,4	0	1,23	62	24	68	81,6	68	62,4	72	-5,43	-54,66	18,57	17,34	0,00	0,00
09/11/00		127	24,6	0,5	33,44	61	-4,8	64	-19,2	68	0	-9,6	106,71	78,57	101,91	68,97	0,00	0,00
16/11/00		76	24,6	0	16,72	61	0	61	-14,4	66	-9,6	-12	51,41	46,69	51,41	34,69	0,00	0,00
23/11/00		46	24,6	0	11,31	61	0	68	33,6	68	9,6	21,6	21,41	-11,50	21,41	10,10	0,00	0,00
30/11/00		60,5	24,6	0	8,69	62	4,8	64	-19,2	68	0	-9,6	31,11	36,82	35,91	27,22	0,00	0,00
07/12/00		26,5	24,5	0	0,00	58	-19,2	47	-81,6	56	-57,6	-69,6	21,20	71,60	2,00	2,00	0,00	0,00
14/12/00		5,5	24,5	0	0,00	62	19,2	57	48	62	28,8	38,4	-38,20	-57,40	-19,00	-19,00	0,00	0,00
21/12/00		55	24,5	0	6,91	62	0	68	52,8	67	24	38,4	-14,81	30,50	23,59	0,00	0,00	0,00
Total 1999	1398,4	771,2	22,6	144,2			28,8					-4,8	575,8	487,8	604,6	483,0	0,00	0,00
Total (01-06) 2000	830,2	784,9	0,1	44,5			-57,6					-45,6	102,9	46,4	45,3	0,8	0,00	0,00
Total (07-12) 2000	1547,7	710,3	2,0	317,0			76,8					110,4	758,6	410,0	835,4	520,4	0,00	0,00
Total 1999+2000	3776,3	##	24,6	505,7			48,0					60,0	1437,2	944,1	1485,2	1004,1	0,00	0,00

*Dr calc. 1 : drainage théorique calculé d'après : $Dr_{calc1} = P - (ETP + LR + Var.stock)$

**Dr calc. 2 : drainage théorique calculé sans la variation de stock $Var.stock$

Annexe 9

ANALYSE DES EAUX DRAINEES ET RUISSELEES DURANT LES DEUX ANNEES 1999 ET 2000.

Tableau AE1 - Teneurs des éléments chimiques (mg/l) dans les eaux drainés au niveau des lysimètres

N° éch.	Nature éch.	Date	Dr A+B+C (mm)	Dr (A+B+C) (l)	pH	K (mg/l)	MP (K) (mg)	Ca (mg/l)	MP (Ca) (mg)	Mg (mg/l)	MP (Mg) (mg)	P2O6 (mg/l)	MP(P2O6) (mg)	NH3 (mg/l)	MP (NH3) (mg)	NO3 (mg/l)	MP (NO3) (mg)
0	Lysi A+B+C	01/07/99	7,5	4,88	x	0,00	0,00	31,35	152,83	10,21	49,77	0,22	1,07	1,04	5,07	5,92	28,86
Obis	Lysi A+B+C	08/07/99	22,1	14,37	x	0,00	0,00	36,80	528,63	11,63	167,06	0,29	4,17	0,86	12,35	9,17	131,73
1	Lysi A+B+C	15/07/99	45,1	29,32	6,33	1,79	52,50	26,91	788,87	8,07	236,60	0,55	16,12	7,79	228,39	12,04	352,81
8	Lysi A+B+C	12/08/99	0,5	0,33	6,31	2,57	0,84	19,56	6,36	4,87	1,58	0,49	0,16	1,57	0,51	8,13	2,64
2	Lysi A+B+C	02/09/99	2,3	1,50	7,30	1,48	2,21	35,88	53,64	12,79	19,12	0,56	0,84	5,64	8,44	9,21	13,76
5	Lysi A+B+C	09/09/99	1,9	1,24	6,65	1,32	1,64	21,76	26,87	6,51	8,04	0,84	0,79	2,71	3,34	8,03	9,92
9	Lysi A+B+C	16/09/99	1,8	1,17	6,59	3,74	4,37	14,58	17,06	3,22	3,77	0,50	0,59	1,10	1,29	4,29	5,01
19	Lysi A+B+C	07/10/99	23,4	15,21	6,74	13,17	200,32	24,91	378,88	7,97	121,28	0,49	7,45	0,67	10,12	11,76	178,92
20	Lysi A+B+C	14/10/99	4,1	2,67	6,62	2,50	6,67	18,36	48,93	6,22	16,57	0,50	1,33	0,71	1,89	11,03	29,39
21	Lysi A+B+C	21/10/99	14,3	9,30	6,82	4,03	37,42	22,40	208,21	0,00	0,00	0,49	4,55	0,83	7,73	13,13	122,06
28	Lysi A+B+C	28/10/99	14,3	9,30	6,67	4,79	44,50	39,42	366,41	10,95	101,78	0,53	4,93	0,74	6,88	20,17	187,51
29	Lysi A+B+C	11/11/99	0,9	0,59	6,82	2,53	1,48	25,47	14,90	9,71	5,68	0,39	0,23	0,49	0,29	17,25	10,09
32	Lysi A+B+C	18/11/99	47,7	31,01	6,40	0,00	0,00	45,61	1414,14	14,84	460,11	0,70	21,70	0,63	19,47	36,37	1127,65
34	Lysi A+B+C	25/11/99	53,1	34,52	6,51	4,07	140,34	46,21	1594,94	14,53	501,50	0,55	18,98	0,42	14,38	29,11	1004,84
36	Lysi A+B+C	02/12/99	219,6	142,74	6,27	3,59	512,15	47,45	6773,01	15,68	2238,16	0,72	102,77	1,31	186,70	39,21	5596,41
39	Lysi B	09/12/99	15,4	10,01	6,43	3,75	37,51	43,61	436,54	16,45	164,66	0,72	7,21	0,46	4,56	36,36	363,92
38	Lysi C	09/12/99	9,2	5,98	6,25	3,75	22,41	43,37	259,35	16,43	98,25	0,57	3,41	0,73	4,39	36,56	218,63
41	Lysi A+B+C	06/01/00	4,6	2,99	6,25	2,39	7,15	34,12	102,02	12,06	36,06	0,55	1,64	0,41	1,23	36,20	108,23
43	Lysi A+B+C	13/01/00	16,5	10,73	6,68	4,70	50,45	48,75	522,84	15,45	165,70	0,72	7,72	0,83	6,80	29,51	316,48
45	Lysi A+B+C	20/01/00	35,6	23,14	6,62	0,00	0,00	49,57	1147,05	15,70	363,30	0,70	16,20	0,60	13,91	17,13	396,43
47	Lysi A+B+C	27/01/00	2,1	1,37	6,99	0,00	0,00	58,68	80,10	17,09	23,33	0,72	0,98	0,38	0,52	36,31	49,57
50	Lysi A+B+C	24/02/00	18,8	12,22	7,01	1,96	24,00	40,81	498,70	13,77	168,27	0,13	1,62	0,86	10,47	22,08	269,82
54	Lysi A+B+C	16/03/00	28,2	18,33	6,72	1,40	25,61	39,41	722,39	12,77	234,07	0,09	1,65	0,41	7,46	17,09	313,17
57	Lysi A+B+C	06/04/00	0,8	0,52	6,64	2,15	1,12	51,51	26,79	16,66	8,66	0,09	0,05	0,13	0,07	22,50	11,70
137	Lysi A+B+C	20/04/00	0,8	0,52	x	65,21	33,91	46,98	24,43	14,62	7,60	0,28	0,15	0,59	0,31	8,65	4,50
239	Lysi A+B+C	01/06/00	6,5	4,23	x	0,00	0,00	53,00	223,93	17,89	75,59	0,00	0,00	0,48	2,03	8,97	37,90
240	Lysi A+B+C	08/06/00	2,6	1,69	x	0,00	0,00	43,46	73,45	16,90	28,56	0,00	0,00	0,62	1,05	6,97	11,78
241	Lysi A+B+C	27/07/00	5,6	3,64	x	0,00	0,00	53,62	195,18	22,08	80,37	0,00	0,00	0,58	2,11	7,00	25,48
242	Lysi A+B+C	03/08/00	29,8	19,37	x	0,00	0,00	59,61	1154,65	20,58	398,63	0,00	0,00	0,45	8,72	6,89	133,46
243	Lysi A+B+C	10/08/00	17,5	11,38	x	0,00	0,00	52,75	600,03	18,82	211,80	0,00	0,00	0,79	8,99	6,31	71,78
244	Lysi A+B+C	17/08/00	4,1	2,67	x	0,00	0,00	33,26	88,64	13,34	35,55	0,00	0,00	3,76	10,02	4,82	12,85
245	Lysi A+B+C	24/08/00	18	11,70	x	0,00	0,00	0,00	0,00	12,41	145,20	0,00	0,00	14,78	172,93	4,55	53,24
246	Lysi A+B+C	31/08/00	138	89,70	x	0,00	0,00	55,48	4976,58	19,47	1746,46	0,00	0,00	2,75	246,68	5,92	531,02
247	Lysi A+B+C	21/09/00	37,6	24,44	x	0,00	0,00	50,06	1223,47	17,26	421,83	0,00	0,00		498,09	4,98	121,71
248	Lysi A+B+C	28/09/00	60,7	39,46	x	0,00	0,00	23,77	937,85	8,29	327,20	0,00	0,00	4,53	178,73	2,70	106,53
249	Lysi A+B+C	05/10/00	21,6	14,04	x	0,00	0,00	53,84	755,91	16,01	224,78	0,00	0,00	1,09	15,30	4,46	62,62
286	Lysi A+B+C	12/10/00	71,8	46,67	x	0,00	0,00	54,20	2529,51	17,17	801,32	0,01	0,47	0,40	18,67	0,94	43,87
279	Lysi A+B+C	09/11/00	106,2	69,03	x	0,00	0,00	47,98	3312,06	15,69	1083,08	0,23	15,88	0,47	32,44	5,35	369,31
316	Lysi A+B+C	16/11/00	57,1	37,12	x	1,63	60,46	23,70	879,63	15,52	576,02	0,00	0,00	0,48	17,82	4,69	174,07
326	Lysi A+B+C	23/11/00	15,4	10,01	x	1,53	15,29	20,22	202,40	14,74	147,55	0,00	0,00	0,46	4,60	4,46	44,64
352	Lysi A+B+C	30/11/00	29,3	19,05	x	1,27	24,15	22,19	422,61	12,45	237,11	0,00	0,00	0,51	9,71	4,38	83,42
			Dr A+B+C	Dr (A+B+C)	pH	K	MP (K)	Ca	MP (Ca)	Mg	MP (Mg)	P2O6	MP(P2O6)	NH3	MP (NH3)	NO3	MP (NO3)
	1999 .ysi(A+B+C Total (mg)		483,2	314,1	x	53,1	1064,3	543,7	13069,8	170,1	4194,0	8,9	196,3	27,7	515,8	307,7	9384,1
	2000 Moy A(mg/l)/Moy P(mg/l)		x	x	x	3,12	3,4	31,98	41,6	10,01	13,4	0,52	0,6	1,63	1,6	18,10	29,9
	Lysi(A+B+C Total (mg)		729,2	474,0	x	82,2	242,1	1017,0	20700,2	376,5	7548,1	3,5	46,4	56,5	1266,7	272,9	3353,6
	Moy A(mg/l)/Moy P(mg/l)		x	x	x	3,43	0,5	42,37	43,7	15,69	15,9	0,15	0,1	2,36	2,7	11,37	7,1
	1999+2000 .ysi(A+B+C Total (mg)		1212,4	788,1	x	135,3	1306,5	1560,6	33769,7	546,6	11742,0	12,4	242,7	84,2	1784,5	580,6	12737,7
	Moy A(mg/l)/Moy P(mg/l)		x	x	x	3,30	1,7	38,27	42,9	13,46	14,9	0,30	0,3	2,05	2,3	14,16	16,2

Annexe 9

ANALYSE DES EAUX DRAINEES ET RUISSELEES DURANT LES DEUX ANNEES 1999 ET 2000.

Tableau AE2 - Teneurs des éléments chimiques (mg/l) dans les eaux drainés au niveau des lysimètres

N° éch.	Nature éch.	Date	D+E (mm)	VDr (D+E) (l)	pH	K (mg/l)	MP (K) (mg)	Ca (mg/l)	MP (Ca) (mg)	Mg (mg/l)	MP (Mg) (mg)	P2O5 (mg/l)	MP(P2O5) (mg)	NH3 (mg/l)	MP (NH3) (mg)	NO3 (mg/l)	MP (NO3) (mg)
14	Lysi D+E	26/08/99	30,8	20,02	6,61	0,88	17,55	30,97	619,92	5,28	105,71	0,65	12,91	3,80	76,02	14,02	280,77
	Lysi D+E	02/09/99	11,8	7,67	7,01	0,00	0,00	40,61	311,48	6,29	48,24	0,79	6,06	1,02	7,85	13,95	106,99
12	Lysi D+E	09/09/99	14,5	9,425	6,72	7,03	66,28	46,85	441,56	9,16	86,34	0,80	7,54	2,31	21,72	17,84	168,18
10	Lysi D	23/09/99	3	1,95	6,42	2,57	5,01	28,18	54,95	6,34	12,36	0,67	1,31	1,10	2,15	14,81	28,89
	Lysi D+E	07/10/99	28,9	18,785	5,88	2,59	48,65	19,94	374,48	4,22	79,22	0,64	12,02	0,98	18,42	8,33	156,55
22	Lysi D	14/10/99	2,6	1,69	6,97	2,50	4,23	16,63	28,10	7,76	13,11	0,48	0,81	0,62	1,05	12,16	20,55
	Lysi D+E	21/10/99	30,6	19,89	5,87	2,94	58,44	19,51	387,95	7,40	147,24	0,61	12,13	0,95	18,96	10,46	208,08
7	Lysi D+E	28/10/99	19,3	12,545	6,29	1,87	23,45	19,68	246,89	5,18	64,96	0,64	8,03	2,43	30,47	9,28	116,35
30	Lysi D	04/11/99	4,2	2,73	6,40	0,00	0,00	22,75	62,11	6,78	18,52	1,46	3,99	0,93	2,53	25,52	69,88
31	Lysi D+E	11/11/99	3,4	2,21	6,56	0,00	0,00	20,42	45,13	6,29	13,91	0,55	1,22	0,49	1,09	23,44	51,79
33	Lysi D+E	18/11/99	54,7	35,555	6,47	3,75	133,22	25,79	916,96	8,25	293,19	1,58	56,18	0,27	9,43	32,35	1150,28
35	Lysi D+E	25/11/99	44,6	28,99	6,38	3,67	106,34	26,93	780,70	8,63	250,30	1,28	37,11	0,36	10,51	23,39	677,93
37	Lysi D+E	02/12/99	185,3	120,445	5,85	3,99	480,21	32,57	3922,89	11,76	1416,43	0,63	75,88	0,54	65,20	36,45	4390,46
40	Lysi D+E	09/12/99	10,2	6,63	6,41	2,55	16,91	43,26	286,81	15,37	101,90	0,72	4,77	0,56	3,73	33,78	223,95
125	Lysi D	16/12/99	4,3	2,795	6,33	2,96	8,26	39,53	110,49	12,14	33,93	0,07	0,18	0,00	0,00	11,56	32,32
42	Lysi E	06/01/00	4,4	2,86	6,51	2,87	8,21	33,94	97,07	10,49	30,00	0,43	1,23	0,63	1,80	29,31	83,83
44	Lysi D+E	13/01/00	13,3	8,645	6,72	0,00	0,00	32,58	281,65	9,73	84,11	0,48	4,15	0,82	5,34	28,58	247,10
46	Lysi D+E	20/01/00	32,6	21,19	6,59	13,63	288,82	27,79	588,87	8,73	184,90	0,71	15,04	0,53	11,20	23,76	503,37
48	Lysi D	03/02/00	0,3	0,195	x	1,59	0,31	22,42	4,37	6,85	1,33	0,01	0,00	0,14	0,03	20,72	4,04
49	Lysi E	17/02/00	2,7	1,755	6,22	1,49	2,62	18,42	32,33	5,33	9,36	0,11	0,19	0,15	0,26	22,78	39,97
	Lysi D+E	24/02/00	19,2	12,48	5,93	0,75	9,30	19,00	237,12	5,89	73,45	0,27	3,31	0,42	5,25	25,17	314,17
Irrigation ?	Lysi D+E	16/03/00	148,5	96,525	6,13	1,92	184,99	29,40	2837,84	9,78	944,21	0,13	12,55	1,16	112,07	14,49	1398,99
	Lysi D+E	06/04/00	1,2	0,78	6,42	1,49	1,16	31,17	24,31	9,79	7,63	0,04	0,03	0,41	0,32	19,90	15,52
139	Lysi D+E	13/04/00	9,2	5,98	x	15,79	94,42	32,45	194,05	9,13	54,60	0,00	0,00	0,66	3,95	5,84	34,92
138	Lysi D+E	20/04/00	1,2	0,78	x	0,00	0,00	30,06	23,45	8,31	6,48	0,25	0,20	0,68	0,53	9,62	7,50
250	Lysi D+E	01/06/00	2,8	1,82	x	0,00	0,00	0,00	0,00	9,71	17,67	0,00	0,00	0,74	1,35	10,63	19,35
251	Lysi D+E	27/07/00	14,4	9,36	x	0,00	0,00	25,08	234,75	8,01	75,01	0,00	0,00	0,69	6,46	9,10	85,18
252	Lysi D+E	03/08/00	31,8	20,87	x	0,00	0,00	31,25	645,94	11,56	238,95	0,00	0,00	0,51	10,54	9,34	193,06
254	Lysi D+E	10/08/00	14,1	9,165	x	0,00	0,00	30,64	280,82	11,01	100,91	0,00	0,00	0,61	5,59	8,68	79,55
253	Lysi D+E	17/08/00	3,4	2,21	x	0,00	0,00	22,33	49,35	7,95	17,56	0,00	0,00	0,68	1,50	8,15	18,01
255	Lysi D+E	24/08/00	12,8	8,32	x	0,00	0,00	50,42	419,49	10,52	87,53	0,00	0,00	0,63	5,24	4,87	40,52
256	Lysi D+E	31/08/00	135	87,75	x	0,00	0,00	27,20	2386,80	11,00	965,25	0,00	0,00	0,60	52,65	6,26	549,32
257	Lysi D+E	21/09/00	21,1	13,715	x	0,00	0,00	32,59	446,97	7,24	99,32	0,00	0,00	0,63	8,64	4,61	63,23
258	Lysi D+E	28/09/00	41,1	26,715	x	0,00	0,00	26,52	708,48	10,11	270,09	0,00	0,00	0,54	14,43	4,59	122,62
259	Lysi D+E	05/10/00	13,1	8,515	x	2,42	20,60	10,85	92,39	7,42	63,21	0,00	0,00	0,58	4,94	6,38	54,33
287	Lysi D+E	12/10/00	43,6	28,34	x	0,00	0,00	36,83	1043,76	10,48	297,00	0,00	0,00	0,60	17,00	5,37	152,19
280	Lysi D+E	09/11/00	74,2	48,23	x	0,00	0,00	37,18	1793,19	10,27	495,32	0,22	10,61	0,61	29,42	6,27	302,40
	Lysi D+E	16/11/00	35,5	23,075	x	2,35	54,17	22,51	519,30	12,16	280,62	0,00	0,00	0,47	10,85	5,88	135,68
353	Lysi D+E	30/11/00	17,4	11,31	x	2,64	29,84	18,16	182,77	8,61	97,36	0,00	0,00	3,26	36,87	6,42	72,61
			Dr D+E	VDr (D+E)	pH	K	MP (K)	Ca	MP (Ca)	Mg	MP (Mg)	P2O5	MP(P2O5)	NH3	MP (NH3)	NO3	MP (NO3)
1999	Lysi D+E	Total (mg)	448,2	291,3	x	37,3	968,5	433,6	8590,4	120,9	2685,4	11,6	240,1	16,4	269,1	287,3	7682,8
2000	Moy A(mg/l), Moy P(mg/l)		x	x	x	2,49	3,32	28,91	29,5	8,06	9,2	0,77	0,8	1,09	0,9	19,16	26,4
	Lysi D+E	Total (mg)	692,9	450,4	x	46,9	694,4	646,8	13125,1	220,1	4501,9	2,6	47,3	16,6	346,2	296,7	4537,4
	Moy A(mg/l), Moy P(mg/l)		x	x	x	1,96	1,5	26,95	29,1	9,17	10,0	0,11	0,1	0,69	0,8	12,36	10,1
1999+2000	Lysi D+E	Total (mg)	1141,1	741,7	140,7	84,2	1663,0	1080,4	21715,5	340,9	7187,2	14,2	287,4	32,9	615,4	584,1	12220,2
	Moy A(mg/l), Moy P(mg/l)		x	x	x	2,16	2,2	27,70	29,3	8,74	9,7	0,36	0,4	0,84	0,8	14,98	16,5

Annexe 9

ANALYSE DES EAUX DRAINEES ET RUISSELEES DURANT LES DEUX ANNEES 1999 ET 2000.

Tableau AE03 - Teneur des éléments chimiques (mg/l) dans les eaux de ruissellement du

N° éch.	Nature éch.	Date	LR (mm)	VR (m3)	pH	K (mg/l)	MP (K) (mg)	Ca (mg/l)	MP (Ca) (mg)	Mg (mg/l)	MP (Mg) (mg)	P2O5 (mg/l)	MP(P2O5) (mg)	NH3 (mg/l)	MP (NH3) (mg)	NO3 (mg/l)	MP (NO3) (mg)
288	Nu1	08/07/99	0,91	0,094	x	17,50	1645,00	6,37	598,97	0,25	23,88	0,00	0,00	0,75	70,50	3,73	350,62
289	Nu1	09/07/99	0,75	0,078	x	15,05	1173,90	6,87	535,47	0,00	0,00	0,01	0,78	0,43	33,54	0,73	56,94
294	Nu1	06/01/00	0,98	0,101	x	5,96	602,26	16,88	1704,88	0,06	6,16	0,00	0,00	0,70	70,70	0,00	0,00
295	Nu1	13/01/00	0,05	0,005	x	8,80	43,98	30,14	150,70	0,01	0,04	0,00	0,00	0,74	3,70	0,53	2,65
296	Nu1	14/01/00	0,03	0,004	x	7,44	29,78	23,69	94,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,47	1,88	1,50	6,00
297	Nu1	17/01/00	4,4	0,454	x	0,15	67,19	3,68	1668,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,60	272,40	0,00	0,00
300	Nu1	27/01/00	0,07	0,007	x	4,60	32,21	8,61	60,24	0,00	0,00	0,04	0,28	0,95	6,65	0,47	3,29
150	Nu1	09/10/00	26,25	2,703	x	0,00	0,00	1,80	4868,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,58	1567,74	0,00	0,00
151	Nu1	17/10/00	0,77	0,079	x	0,00	0,00	1,03	81,37	0,40	31,28	1,64	129,56	0,70	55,30	0,00	0,00
260	Nu1	03/11/00	0,01	0,001	x	0,00	0,00	2,27	2,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,92	0,92	0,26	0,26
270	Nu1	08/11/00	27,46	2,828	x	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,32	904,96	0,61	1725,08	0,00	0,00	
301	Nu1	10/11/00	1,61	0,166	x	0,00	0,00	0,11	18,26	0,00	0,00	0,32	53,12	0,52	86,32	0,00	0,00
306	Nu1	13/11/00	9,28	0,956	x	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	382,40	0,57	544,92	0,00	0,00
310	Nu1	14/11/00	5,45	0,562	x	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,42	236,04	0,60	337,20	0,00	0,00	
320	Nu1	20/11/00	1,54	0,158	x	4,59	724,90	0,60	94,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,66	104,28	0,14	22,12
335	Nu1	22/11/00	3,5	0,36	x	2,11	758,16	0,55	196,20	0,15	55,44	0,00	0,00	0,54	194,40	0,03	10,80
330	Nu1	23/11/00	4,82	0,497	x	1,19	589,44	0,44	216,20	0,25	123,26	0,00	0,00	0,49	243,53	0,00	0,00
345	Nu1	27/11/00	1,4	0,144	x	4,69	675,94	0,61	87,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,64	92,16	0,00	0,00
354	Nu1	30/11/00	3,5	0,36	x	1,63	587,88	0,38		0,00	0,00	0,00	0,00	2,68	864,80	0,00	0,00
			LR	VR	pH	K	MP (K)	Ca	MP (Ca)	Mg	MP (Mg)	P2O5	MP(P2O5)	NH3	MP (NH3)	NO3	MP (NO3)
Total (mg)			92,8	9,6	0,0	73,7	6930,6	104,0	10377,7	1,1	240,1	3,2	1707,1	14,2	6376,0	7,4	452,7
Moy A (mg/l) Moy P (mg/l)			x	x	x	3,88	0,73	5,47	1,09	0,06	0,03	0,17	0,18	0,74	0,67	0,39	0,05

Tableau AE04 - Teneur des éléments chimiques (mg/l) dans les eaux de ruissellement du

N° éch.	Nature éch.	Date	LR (mm)	VR (m3)	pH	K (mg/l)	MP (K) (mg)	Ca (mg/l)	MP (Ca) (mg)	Mg (mg/l)	MP (Mg) (mg)	P2O5 (mg/l)	MP(P2O5) (mg)	NH3 (mg/l)	MP (NH3) (mg)	NO3 (mg/l)	MP (NO3) (mg)
291	Nu7	13/07/99	0,03	0,0027	x	29,11	78,60	86,64	233,93	2,46	6,63	0,03	0,08	3,28	8,86	0,00	0,00
293	Nu7	18/11/99	1,75	0,18	x	2,98	535,50	1,65	297,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,61	109,80	0,00	0,00
224	Nu7	06/01/00	0,42	0,043	x	12,22	525,46	24,70	1082,10	0,56	23,99	0,00	0,00	0,29	12,47	3,40	146,20
298	Nu7	17/01/00	2,38	0,245	x	2,74	671,30	6,18	1514,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,42	102,90	0,00	0,00
225	Nu7	09/10/00	18,73	1,93	x	0,00	0,00	2,68	5180,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,67	1293,10	0,00	0,00
226	Nu7	17/10/00	2,59	0,27	x	0,00	0,00	3,21	865,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,77	207,90	0,58	156,60
263	Nu7	03/11/00	1,78	0,18	x	8,17	1470,42	17,86	3214,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,46	82,80	2,07	372,60
276	Nu7	08/11/00	22,71	2,34	x	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,52	1216,80	0,64	1497,60	0,12	280,80	
304	Nu7	10/11/00	1,26	0,13	x	1,22	158,21	3,73	485,42	0,00	0,00	0,49	63,70	0,60	78,00	0,30	39,00
314	Nu7	14/11/00	7,19	0,74	x	0,00	0,00	1,02	751,84	0,00	0,00	0,71	525,40	0,80	592,00	0,93	688,20
324	Nu7	20/11/00	2,24	0,23	x	7,35	1691,19	1,99	457,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,52	119,60	0,25	57,50
333	Nu7	22/11/00	1,4	0,14	x	3,98	556,50	0,69	95,90	0,67	93,52	0,00	0,00	0,50	70,00	0,00	0,00
328	Nu7	23/11/00	4,26	0,44	x	3,16	1391,72	0,53	233,64	0,51	222,64	0,84	369,60	0,95	418,00	0,00	0,00
346	Nu7	27/11/00	2,62	0,27	x	6,08	1641,06	2,00	540,00	0,00	0,00	0,09	24,30	0,57	153,90	0,00	0,00
355	Nu7	30/11-18/12/00	1,82	0,19	x	4,18	794,01	0,36	67,83	0,00	0,00	0,18	34,20	3,08	585,20	0,00	0,00
			LR	VR	pH	K	MP (K)	Ca	MP (Ca)	Mg	MP (Mg)	P2O5	MP(P2O5)	NH3	MP (NH3)	NO3	MP (NO3)
Nu7 Total (mg)			71,18	7,33	x	81,18	9513,97	153,24	15000,40	4,19	346,79	2,86	2234,08	14,16	5332,13	7,65	1740,90
Moy A (mg/l) Moy P (mg/l)			x	x	x	5,41	1,30	10,22	2,05	0,28	0,05	0,19	0,30	0,94	0,73	0,51	0,24

Annexe 9

ANALYSE DES EAUX DRAINEES ET RUISSELEES DURANT LES DEUX ANNEES 1999 ET 2000.

Tableau AE05 - Teneur des éléments chimiques (mg/l) dans les eaux de ruissellement du

N° éch.	Nature éch.	Date	LR (mm)	VR (m3)	pH	K (mg/l)	MP (K) (mg)	Ca (mg/l)	MP (Ca) (mg)	Mg (mg/l)	MP (Mg) (mg)	P2O5 (mg/l)	MP(P2O5) (mg)	NH3 (mg/l)	MP (NH3) (mg)	NO3 (mg/l)	MP (NO3) (mg)
290	Nu9	09/07/99	0,13	0,01	x	37,25	372,50	10,82	108,20	0,00	0,00	0,01	0,10	0,58	5,80	7,13	71,30
292	Nu9	13/07/99	0,03	0,003	x	27,93	83,79	8,05	24,14	0,00	0,00	2,24	6,72	0,43	1,29	0,00	0,00
227	Nu9	11/01/00	0,52	0,054	x	0,00	0,00	4,31	232,69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,46	24,84	0,00	0,00
299	Nu9	17/01/00	3,91	0,403	x	0,44	178,93	3,14	1284,61	0,00	0,00	0,01	4,03	0,37	149,11	0,00	0,00
228	Nu9	09/10/00	14,98	1,542	x	0,00	0,00	1,18	1816,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,53	817,26	0,00	0,00
229	Nu9	17/10/00	1,4	0,144	x	0,00	0,00	3,63	523,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,67	96,48	0,82	118,08
264	Nu9	03/11/00	0,84	0,086	x	7,38	634,42	21,69	1865,34	0,19	16,25	0,00	0,00	0,50	43,00	3,52	302,72
278	Nu9	08/11/00	18,37	1,892	x	0,00	0,00	0,02	45,41	0,00	0,00	0,50	946,00	0,71	1343,32	0,26	491,92
305	Nu9	10/11/00	1,33	0,137	x	0,00	0,00	3,04	416,34	0,00	0,00	0,51	69,87	0,64	87,68	0,35	47,95
315	Nu9	14/11/00	7,19	0,741	x	0,00	0,00	0,08	60,02	0,00	0,00	1,08	800,28	1,08	800,28	2,97	2200,77
325	Nu9	20/11/00	1,36	0,14	x	5,73	802,62	1,81	253,54	0,00	0,00	0,06	8,40	0,55	77,00	0,15	21,00
334	Nu9	22/11/00	1,26	0,13	x	2,40	312,00	0,63	81,77	0,79	103,22	0,12	15,60	0,57	74,10	0,00	0,00
329	Nu9	23/11/00	3,77	0,389	x	2,93	1140,55	0,41	159,10	0,54	210,84	0,53	206,17	0,76	295,64	0,00	0,00
347	Nu9	27/11/00	0,23	0,23	x	4,95	1138,96	1,73	397,21	0,00	0,00	0,19	43,70	0,58	133,40	0,00	0,00
356	Nu9	30/11>18/1200	2,03	0,209	x	3,82	797,34	0,43	89,87	0,00	0,00	0,20	41,80	2,37	495,33	0,00	0,00
			LR	VR	pH	K	MP (K)	Ca	MP (Ca)	Mg	MP (Mg)	P2O5	MP(P2O5)	NH3	MP (NH3)	NO3	MP (NO3)
	Nu9	Total (mg)	57,35	6,11	x	92,83	5461,11	60,97	7337,73	1,53	330,31	5,45	2142,67	10,80	4444,53	15,20	3253,74
		Moy A (mg/l) Moy P (mg/l)	x	x	x	6,19	0,89	4,06	1,20	0,10	0,05	0,36	0,35	0,72	0,73	1,01	0,53

Tableau AE06 - Teneur des éléments chimiques (mg/l) dans les eaux de ruissellement de la

N° éch.	Nature éch.	Date	LR (mm)	VR (m3)	pH	K (mg/l)	MP (K) (mg)	Ca (mg/l)	MP (Ca) (mg)	Mg (mg/l)	MP (Mg) (mg)	P2O5 (mg/l)	MP(P2O5) (mg)	NH3 (mg/l)	MP (NH3) (mg)	NO3 (mg/l)	MP (NO3) (mg)
76	Ca2	29/11/99	22,3	4,5	7,30	24,86	#####	12,05	54225,00	3,92	17649,00	0,63	2835,00	0,59	2646,00	14,74	66343,50
271	Ca2	08/11/00	0,1	0,02	x	20,57	411,40	6,33	126,54	0,00	0,00	0,58	11,60	0,55	11,00	0,00	0,00
			LR	VR	pH	K	MP (K)	Ca	MP (Ca)	Mg	MP (Mg)	P2O5	MP(P2O5)	NH3	MP (NH3)	NO3	MP (NO3)
	Ca2	Total (mg)	22,40	4,52	x	45,43	#####	18,38	54351,54	3,92	17649,00	1,21	2846,60	1,14	2657,00	14,74	66343,50
		Moy A (mg/l) Moy P (mg/l)	x	x	x	22,72	24,84	9,19	12,02	1,96	3,90	0,61	0,63	0,57	0,59	7,37	14,68

Tableau AE07 - Teneur des éléments chimiques (mg/l) dans les eaux de ruissellement de la

N° éch.	Nature éch.	Date	LR (mm)	VR (m3)	pH	K (mg/l)	MP (K) (mg)	Ca (mg/l)	MP (Ca) (mg)	Mg (mg/l)	MP (Mg) (mg)	P2O5 (mg/l)	MP(P2O5) (mg)	NH3 (mg/l)	MP (NH3) (mg)	NO3 (mg/l)	MP (NO3) (mg)
106	Ca8	09/07/99	0,24	0,0491	7,56	19,62	963,34	9,89	485,70	0,53	25,78	2,56	125,70	0,09	4,42	1,49	73,26
107	Ca8	13/07/99	0,1	0,02	8,26	25,94	518,80	8,77	175,38	0,45	9,02	2,91	58,20	0,18	3,50	1,87	37,30
4bis	Ca8	19/07/99	0,03	0,0071	x	26,38	187,30	27,54	195,53	0,83	5,88	0,03	0,21	0,43	3,05	1,73	12,28
122	Ca8	22/07/99	0,01	0,0025	7,73	32,15	80,38	24,26	60,65	0,82	2,05	2,93	7,33	0,78	1,94	3,36	8,39
123	Ca8	02/08/99	0,04	0,0085	7,79	24,95	212,08	17,99	152,92	0,90	7,68	2,75	23,38	13,15	111,73	1,87	15,85
6bis	Ca8	15/08/99	0,01	0,0013	x	27,89	36,26	39,87	51,83	0,05	0,06	0,00	0,00	0,48	0,62	2,95	3,84
110	Ca8	18/08/99	0,1	0,0212	8,33	21,13	447,96	13,22	280,26	0,61	12,87	3,27	69,34	0,12	2,44	2,24	47,45
108	Ca8	29/11/99	24,443	4,9374	7,34	22,35	#####	13,42	66259,91	2,76	13637,10	0,99	4888,03	0,03	148,12	6,34	31308,05
277	Ca8	08/11/00	0,2	0,041	x	50,78	2081,98	12,59	516,19	0,00	0,00	0,47	19,27	0,52	21,32	11,91	488,31
			LR	VR	pH	K	MP (K)	Ca	MP (Ca)	Mg	MP (Mg)	P2O5	MP(P2O5)	NH3	MP (NH3)	NO3	MP (NO3)
	Ca8	Total (mg)	25,17	5,09	x	251,19	#####	167,55	68178,37	6,95	13700,44	15,91	5191,45	15,76	297,15	33,75	31994,73
		Moy A (mg/l) Moy P (mg/l)	x	x	x	27,91	22,58	18,62	13,40	0,77	2,69	1,77	1,02	1,75	0,06	3,75	6,29

Annexe 9

ANALYSE DES EAUX DRAINEES ET RUISSELES DURANT LES DEUX ANNEES 1999 ET 2000.

Tableau AE08 - Teneur des éléments chimiques (mg/l) dans les eaux de ruissellement de la

N° éch.	Nature éch.	Date	LR (mm)	VR (m3)	pH	K (mg/l)	MP (K) (mg)	Ca (mg/l)	MP (Ca) (mg)	Mg (mg/l)	MP (Mg) (mg)	P2O5 (mg/l)	MP(P2O5) (mg)	NH3 (mg/l)	MP (NH3) (mg)	NO3 (mg/l)	MP (NO3) (mg)
	Ca10	29/11/99	31,241	6,3107	7,34	20,54	#####	14,63	92325,54	2,46	15524,32	0,64	4038,85	0,00	0,00	4,13	26063,19
	Ca10	Moy P(mg/l)	31,241	6,3107	x	20,54	20,54	14,63	14,63	2,46	2,46	0,64	0,64	0,00	0,00	4,13	4,13

Tableau AE09 - Teneur des éléments chimiques (mg/l) dans les eaux de ruissellement de la "

N° éch.	Nature éch.	Date	LR (mm)	VR (m3)	pH	K (mg/l)	MP (K) (mg)	Ca (mg/l)	MP (Ca) (mg)	Mg (mg/l)	MP (Mg) (mg)	P2O5 (mg/l)	MP(P2O5) (mg)	NH3 (mg/l)	MP (NH3) (mg)	NO3 (mg/l)	MP (NO3) (mg)
A	Ba3	09/07/99	0,15	0,0307	9,37	36,59	1123,31	3,48	106,68	0,00	0,00	1,29	39,60	0,57	17,48	3,75	115,14
C+186	Ba3	13/07/99	0,09	0,02	8,84	47,85	956,90	10,57	211,38	0,00	0,00	1,28	25,50	1,19	23,77	6,92	138,36
D	Ba3	19/07/99	0,07	0,01	7,09	33,42	334,20	8,64	86,39	0,00	0,00	1,06	10,60	0,60	6,03	3,50	34,95
F+131	Ba3	22/07/99	0,02	0,004	x	0,18	0,70	5,51	22,03	1,42	5,66	0,75	3,00	1,17	4,68	7,04	28,17
G+188	Ba3	30/07/99	0,05	0,011	x	54,49	599,34	27,50	302,45	0,13	1,41	0,81	8,91	3,23	35,54	1,78	19,55
H	Ba3	02/08/99	0,19	0,0392	8,12	21,32	835,74	5,80	227,48	0,00	0,00	1,09	42,73	0,62	24,36	8,11	317,81
124	Ba3	16/08/99	0,13	0,026	7,83	32,37	841,62	12,62	328,12	0,67	17,34	4,01	104,17	0,23	5,98	1,49	38,79
J	Ba3	18/08/99	0,6	0,1202	8,30	17,25	2073,45	5,35	642,47	0,00	0,00	1,04	125,01	0,39	46,48	3,22	386,64
K	Ba3	30/08/99	0,03	0,007	8,33	57,00	399,00	25,85	180,95	0,34	2,36	1,26	8,82	0,71	4,97	7,33	51,33
15+60	Ba3	01/09/99	0,03	0,007	8,27	31,90	223,30	14,98	104,83	0,39	2,74	1,66	11,62	1,44	10,05	8,06	56,42
16	Ba3	06/09/99	0,16	0,0315	7,45	51,57	1624,46	39,21	1235,12	0,17	5,42	0,87	27,41	1,34	42,27	9,73	306,37
18	Ba3	13/09/99	0,16	0,0325	6,73	38,03	1235,98	16,44	534,30	0,17	5,46	1,09	35,43	1,36	44,24	12,87	418,31
27	Ba3	04/10/99	0,05	0,01	7,79	46,07	460,70	28,07	280,70	0,07	0,71	1,39	13,90	5,04	50,41	3,56	35,61
61	Ba3	21/10/99	1,37	0,2772	6,68	28,03	7769,92	7,45	2064,86	0,97	269,44	2,87	795,56	1,72	476,23	4,24	1173,94
63	Ba3	12/11/99	1,12	0,2268	x	24,44	5542,99	4,22	956,42	0,74	166,92	3,62	821,02	1,11	252,20	5,61	1272,12
65+189	Ba3	18/11/99	0,12	0,0234	7,24	131,85	3085,29	27,04	632,74	2,63	61,62	8,02	187,75	29,08	680,45	14,68	343,54
66+190	Ba3	22/11/99	1,07	0,216	7,02	35,55	7678,80	7,26	1568,59	0,52	112,21	4,02	868,32	1,68	361,80	6,14	1327,00
103	Ba3	29/11/99	76,81	15,516	6,63	4,84	75143,99	4,05	62782,22	0,49	7556,29	0,61	9464,76	0,07	1008,54	0,75	11574,94
68	Ba3	05/12/99	0,14	0,0283	7,12	28,77	814,19	10,31	291,77	0,39	11,04	3,66	103,58	0,52	14,83	12,46	352,59
70	Ba3	10/01/00	0,12	0,025	6,77	53,58	1339,50	40,72	1018,00	4,67	116,70	2,54	63,54	3,26	81,38	28,31	707,85
71	Ba3	17/01/00	0,18	0,0356	6,63	45,42	1616,95	19,75	703,10	3,61	128,66	3,50	124,60	0,45	15,95	15,81	562,76
73	Ba3	22/02/00	0,14	0,0275	6,95	53,94	1483,35	35,67	980,93	5,29	145,48	4,43	121,76	3,50	96,25	3,04	83,57
153+194+230	Ba3	13/04/00	0,07	0,014	x	22,11	309,54	11,93	167,07	0,78	10,95	0,31	4,29	0,45	6,35	4,46	62,49
134	Ba3	18/04/00	0,2	0,04	x	23,61	944,40	13,55	542,00	0,85	33,88	0,56	22,40	0,47	18,80	4,83	193,20
152+195	Ba3	29/05/00	0,04	0,0085	x	21,14	179,69	17,03	144,76	1,13	9,57	0,29	2,42	0,35	2,93	12,25	104,13
196	Ba3	27/07/00	0,22	0,0445	x	11,77	523,77	0,92	40,81	0,21	9,12	0,01	0,45	0,29	12,91	0,00	0,00
231	Ba3	31/07/00	0,17	0,034	x	8,82	299,74	2,30	78,06	0,18	5,98	0,00	0,00	0,29	9,86	0,00	0,00
197	Ba3	21/08/00	0,14	0,029	x	7,76	225,04	0,05	1,42	0,00	0,00	0,15	4,35	0,27	7,83	0,29	8,41
154	Ba3	23/08/00	0,17	0,034	x	25,16	855,44	6,07	206,35	0,77	26,15	0,20	6,80	0,52	17,68	0,03	1,02
155	Ba3	25/08/00	3,17	0,6408	x	56,47	36185,98	7,58	4855,34	1,65	1056,04	2,02	1294,42	3,79	2428,63	1,75	1121,40
198	Ba3	11/09/00	0,53	0,108	x	10,18	1099,44	0,98	106,06	0,04	4,54	0,08	8,64	0,35	37,80	1,89	204,12
156	Ba3	18/09/00	2,01	0,4068	x	19,87	8083,12	7,17	2917,57	1,19	485,31	0,21	85,43	0,34	138,31	3,24	1318,03
199	Ba3	19/09/00	2,01	0,4068	x	7,59	3088,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,36	146,45	0,29	117,97	0,00	0,00
200	Ba3	20/09/00	0,05	0,01	x	5,52	55,18	1,37	13,66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,29	2,90	1,16	11,60
157	Ba3	22/09/00	4,22	0,8524	x	9,60	8179,63	4,31	3677,25	0,18	150,87	0,13	110,81	0,31	264,24	0,00	0,00
158	Ba3	02/10/00	0,68	0,1368	x	2,29	312,59	5,34	730,92	0,26	36,12	0,01	1,37	0,30	41,04	0,00	0,00
159	Ba3	03/10/00	0,36	0,072	x	1,70	122,33	4,80	345,24	0,11	8,06	0,17	12,24	0,36	25,92	0,00	0,00
201	Ba3	09/10/00	5,95	1,2022	x	10,85	13043,87	1,94	2332,27	0,00	0,00	0,18	216,40	0,33	396,73	0,23	276,51
208	Ba3	17/10/00	0,22	0,045	x	37,46	1685,70	7,04	316,94	1,80	81,05	0,17	7,65	0,54	24,30	5,97	268,65
265	Ba3	06/11/00	0,12	0,025	x	31,68	792,00	20,59	514,75	4,89	122,30	0,00	0,00	0,41	10,25	8,05	201,25
272	Ba3	08/11/00	8,51	1,7198	x	21,50	36975,70	2,68	4609,06	0,00	0,00	0,38	653,52	0,50	859,90	0,00	0,00

Annexe 9

ANALYSE DES EAUX DRAINEES ET RUISSELEES DURANT LES DEUX ANNEES 1999 ET 2000.

			LR	VR	pH	K	MP (K)	Ca	MP (Ca)	Mg	MP (Mg)	P2O5	MP(P2O5)	NH3	MP (NH3)	NO3	MP (NO3)
307	Ba3	13/11/00	2,92	0,5904	x	17,78	10497,31	3,02	1782,42	0,44	260,96	0,55	324,72	0,69	407,38	0,49	289,30
311	Ba3	14/11/00	0,53	0,108	x	19,56	2112,48	3,45	372,06	0,75	80,46	0,48	51,84	0,68	73,44	1,53	165,24
321	Ba3	20/11/00	0,08	0,02	x	53,27	1065,40	8,07	161,42	2,04	40,82	0,46	9,20	1,49	29,80	7,14	142,80
336	Ba3	22/11/00	0,25	0,05	x	37,29	1864,50	2,40	119,75	1,90	94,85	0,93	46,50	1,10	55,00	4,24	212,00
331	Ba3	23/11/00	0,19	0,1908	x	30,02	5727,82	1,45	276,66	2,39	456,58	0,72	137,38	0,73	139,28	1,26	240,41
341	Ba3	24/11/00	0,19	0,1908	x	31,02	5918,62	1,53	290,97	0,21	39,69	0,76	145,01	0,73	139,28	2,94	560,95
348	Ba3	27/11/00	0,02	0,02	x	33,63	672,60	2,68	53,62	0,32	6,40	0,36	7,20	0,47	9,40	3,21	64,20
357	Ba3	30/11/00	0,04	0,039	x	38,01	1482,39	1,51	58,81	0,00	0,00	0,57	22,23	3,17	123,63	3,97	154,83
			LR	VR	pH	K	MP (K)	Ca	MP (Ca)	Mg	MP (Mg)	P2O5	MP(P2O5)	NH3	MP (NH3)	NO3	MP (NO3)
1999	Ba3	Total (mg)	82,36	16,64	x	721,51	110743,9	264,32	72539,49	9,09	8218,64	40,40	12697,68	52,06	3110,31	121,22	17991,58
2000	Moy A(mg/l)	Moy P(mg/l)	x	x	x	37,97	6,7	13,91	4,36	0,48	0,49	2,13	0,76	2,74	0,19	6,38	1,08
	Ba3	Total (mg)	33,50	7,13	x	748,59	146742,9	235,88	27417,25	35,65	3410,53	20,52	3631,60	26,71	5595,14	116,09	6954,71
	Moy A(mg/l)	Moy P(mg/l)	x	x	x	24,95	20,6	7,86	3,85	1,19	0,48	0,68	0,51	0,89	0,79	3,87	0,98
1999+2000	Ba3	Total (mg)	115,86	23,76	x	1470,10	257486,8	500,20	99956,74	44,74	11629,16	60,92	16329,28	78,77	8705,45	237,32	24946,29
	Moy A(mg/l)	Moy P(mg/l)	x	x	x	30,00	10,8	10,21	4,21	0,91	0,49	1,24	0,69	1,61	0,37	4,84	1,05
	Total VR :		123,20	24,90	x	x	10,34	x	4,01	x	0,47	x	0,66	x	0,35	x	1,00

Tableau AE10 - Teneur des éléments chimiques (mg/l) dans les eaux de ruissellement de la "

N° éch.	Nature éch.	Date	LR (mm)	VR (m3)	pH	K (mg/l)	MP (K) (mg)	Ca (mg/l)	MP (Ca) (mg)	Mg (mg/l)	MP (Mg) (mg)	P2O5 (mg/l)	MP(P2O5) (mg)	NH3 (mg/l)	MP (NH3) (mg)	NO3 (mg/l)	MP (NO3) (mg)
B	Ba4	09/07/99	0,48	0,0966	6,98	35,20	3400,32	4,35	420,31	0,00	0,00	1,50	144,90	0,46	44,05	4,49	434,07
E+191	Ba4	19/07/99	0,01	0,003	8,35	40,77	122,31	6,56	19,69	0,00	0,00	0,68	2,03	0,36	1,07	4,47	13,40
I	Ba4	02/08/99	0,03	0,0053	8,10	18,02	95,51	5,26	27,87	0,00	0,00	1,22	6,47	0,48	2,53	8,38	44,43
L	Ba4	16/08/99	0,01	0,002	8,15	40,56	81,12	16,75	33,50	0,00	0,00	1,14	2,28	1,31	2,61	3,35	6,70
162	Ba4	18/08/99	0,17	0,034	x	27,92	949,28	8,65	294,07	0,00	0,00	0,46	15,64	0,30	10,20	1,43	48,62
17	Ba4	13/09/99	0,06	0,0125	7,69	66,73	834,13	14,36	179,50	0,69	8,59	1,09	13,63	2,95	36,93	17,42	217,76
26	Ba4	04/10/99	0,03	0,006	7,16	43,49	260,94	8,77	52,63	0,00	0,00	0,79	4,74	1,25	7,53	18,41	110,44
62	Ba4	21/10/99	0,54	0,1081	6,59	24,86	2687,37	4,58	495,21	0,43	46,81	2,75	297,28	2,65	286,68	8,46	914,31
64	Ba4	12/11/99	0,32	0,0648	7,21	23,18	1502,06	4,53	293,28	0,26	16,85	3,31	214,49	1,95	126,55	28,54	1849,13
192	Ba4	22/11/99	0,32	0,0648	x	21,93	1421,06	5,42	351,35	0,00	0,00	0,80	51,84	0,27	17,50	0,89	57,67
67	Ba4	29/11/99	67,56	13,647	7,35	11,98	163491	3,30	45089,69	0,29	3971,28	2,03	27703,41	0,70	9552,90	3,51	47846,38
69	Ba4	05/12/99	0,15	0,031	6,81	20,52	636,12	11,14	345,34	0,89	27,53	1,54	47,74	0,72	22,17	1,91	59,27
72	Ba4	17/01/00	0,36	0,0727	7,07	36,03	2619,38	9,89	719,22	1,87	136,02	3,32	241,36	0,62	45,15	17,55	1275,81
74	Ba4	22/02/00	0,09	0,018	6,93	38,25	688,50	19,43	349,74	3,97	71,41	3,09	55,62	0,20	3,53	8,96	161,23
135	Ba4	18/04/00	0,14	0,028	x	47,18	1321,04	17,64	493,92	2,32	64,82	0,42	11,76	0,47	13,16	9,05	253,40
202	Ba4	29/05/00	0,15	0,03	x	8,51	255,27	8,09	242,76	0,00	0,00	0,09	2,70	0,28	8,40	2,64	79,20
160	Ba4	20/07/00	0,15	0,03	x	67,93	2037,90	15,15	454,50	4,88	146,52	0,01	0,30	0,33	9,90	0,00	0,00
161	Ba4	24/07/00	0,11	0,022	x	25,10	552,20	7,14	157,06	0,62	13,73	0,11	2,42	0,34	7,48	4,76	104,72
203	Ba4	31/07/00	0,53	0,108	x	7,84	847,04	5,96	643,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,29	31,32	0,74	79,92
164	Ba4	23/08/00	0,21	0,042	x	11,02	462,84	4,62	194,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,34	14,28	0,00	0,00
165	Ba4	25/08/00	1,82	0,3672	x	54,21	19905,91	8,17	2998,92	1,06	390,70	2,32	851,90	1,36	499,39	8,23	3022,06
204	Ba4	28/08/00	7,45	1,5056	x	36,17	54457,55	2,85	4292,47	0,00	0,00	0,25	376,40	0,30	451,68	0,00	0,00
205	Ba4	11/09/00	0,46	0,0936	x	27,49	2573,06	3,78	353,43	1,04	97,62	0,32	29,95	0,28	26,21	1,95	182,52
206	Ba4	19/09/00	1,71	0,3456	x	22,98	7941,89	0,52	178,33	0,00	0,00	1,09	376,70	0,30	103,68	0,00	0,00
166	Ba4	22/09/00	5,24	1,0585	x	25,90	27415,15	1,24	1311,48	2,16	2285,30	1,04	1100,84	0,49	518,67	1,26	1333,71
167	Ba4	02/10/00	0,25	0,051	x	16,8	856,80	1,24	63,24	0,268	13,67	0,55	28,05	0,50	25,50	3,16	161,16
207	Ba4	03/10/00	0,36	0,072	x	6,53	469,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,37	26,64	0,28	20,16	0,00	0,00
168bis	Ba4	09/10/00	6,81	1,3752	x	30,26	41613,55	0,93	1278,94	0,98	1342,20	1,20	1650,24	0,55	756,36	2,05	2819,16
168	Ba4	17/10/00	0,18	0,036	x	33,6	1209,60	3,465	124,74	1,641	59,08	0,21	7,56	0,52	18,72	2,90	104,40
166	Ba4	22/10/00	0,18	0,036	x	21,45	772,20	5,58	200,88	0,00	0,00	1,04	37,44	0,32	11,52	0,00	0,00

Annexe 9

ANALYSE DES EAUX DRAINEES ET RUISSELES DURANT LES DEUX ANNEES 1999 ET 2000.

261	Ba4	03/11/00	0,32	0,0648	x	22,39	1450,87	5,59	362,23	0,50	32,14	0,00	0,00	0,43	27,86	3,71	240,41
273	Ba4	08/11/00	4,42	0,8937	x	27,44	24523,13	1,92	1711,44	0,00	0,00	0,48	428,98	0,51	455,79	0,00	0,00
302	Ba4	10/11/00	0,14	0,029	x	15,09	437,61	3,19	92,37	0,00	0,00	0,76	22,04	0,58	16,82	1,06	30,74
308	Ba4	13/11/00	2,53	0,511	x	21,75	11114,25	2,41	1232,02	0,45	231,99	0,93	475,23	0,64	327,04	0,42	214,62
312	Ba4	14/11/00	0,46	0,0936	x	8,74	817,97	1,00	93,88	0,02	1,87	0,55	51,48	0,60	56,16	0,81	75,82
322	Ba4	20/11/00	0,32	0,07	x	36,66	2566,20	2,92	204,12	0,78	54,88	0,52	36,40	1,86	130,20	5,31	371,70
337	Ba4	22/11/00	0,32	0,06	x	21,63	1297,80	0,97	58,44	0,00	0,00	0,80	48,00	0,92	55,20	1,88	112,80
332	Ba4	23/11/00	0,75	0,1512	x	23,48	3550,18	0,76	115,21	1,75	264,75	1,02	154,22	0,76	114,91	1,08	163,30
340	Ba4	24/11/00	0,2	0,04	x	16,07	642,80	0,47	18,88	0,00	0,00	0,81	32,40	0,70	28,00	1,78	71,20
349	Ba4	27/11/00	0,13	0,03	x	19,31	579,30	0,68	20,43	0,00	0,00	0,59	17,70	0,55	16,50	1,17	35,10
358	Ba4	30/11/00	0,28	0,06	x	24,61	1476,60	0,62	37,38	0,00	0,00	0,74	44,40	3,29	197,40	1,51	90,60
			LR	VR	pH	K	MP (K)	Ca	MP (Ca)	Mg	MP (Mg)	P2O5	MP(P2O5)	NH3	MP (NH3)	NO3	MP (NO3)
1999	Ba4	Total (mg)	69,68	14,08	x	375,16	175481	93,68	47602,42	2,56	4071,05	17,31	28504,43	13,40	10110,72	101,25	51602,19
2000	Moy A(mg/l)	Moy P(mg/l)	x	x	x	31,26	12,4675	7,81	3,38	0,21	0,29	1,44	2,03	1,12	0,72	8,44	3,67
	Ba4	Total (mg)	36,07	7,29	x	754,42	214456	136,22	18003,76	24,32	5206,70	22,63	6110,74	18,61	3990,98	81,98	10983,56
	Moy A(mg/l)	Moy P(mg/l)	x	x	x	26,01	29,3989	4,70	0,84	0,71	0,78	0,84	0,55	0,55	2,83	1,51	
1999+2000	Ba4	Total (mg)	105,75	21,37	x	1129,58	389938	229,90	65606,19	26,88	9277,75	39,94	34615,17	32,00	14101,70	183,23	62585,76
	Moy A(mg/l)	Moy P(mg/l)	x	x	x	27,55	18,25	5,61	3,07	0,66	0,43	0,97	1,62	0,78	0,66	4,47	2,93
	Total VR :		108,20	21,90	x	x	17,81	x	3,00	x	0,42	x	1,58	x	0,64	x	2,86

Tableau AE11 - Teneur des éléments chimiques (mg/l) dans les eaux de ruissellement de l'

N° éch.	Nature éch.	Date	LR (mm)	VR (m3)	pH	K (mg/l)	MP (K) (mg/l)	Ca (mg/l)	MP (Ca) (mg)	Mg (mg/l)	MP (Mg) (mg)	P2O5 (mg/l)	MP(P2O5) (mg)	NH3 (mg/l)	MP (NH3) (mg)	NO3 (mg/l)	MP (NO3) (mg)
285	An5	21/10/99	0,06	0,012	x	25,35	304,20	10,95	131,40	0,00	0,04	0,00	0,00	2,30	27,60	0,00	0,00
	An5	29/11/99	22,55	4,5542	x	25,35	115449	10,95	49868,49	0,00	13,66	0,00	0,00	2,30	10474,66	0,00	0,00
283	An5	25/07/00	0,11	0,023	x	39,18	901,14	9,49	218,27	1,04	23,94	0,00	0,00	1,27	29,21	0,00	0,00
232	An5	31/07/00	0,11	0,023	x	32,10	738,30	69,65	1601,95	2,40	55,09	0,00	0,00	2,16	49,68	3,67	84,41
233	An5	25/08/00	0,15	0,03	x	85,17	2555,10	42,58	1277,40	1,74	52,05	2,07	62,10	0,31	9,30	7,02	210,60
209	An5	28/08/00	0,96	0,1944	x	28,03	5449,03	1,69	328,92	0,08	14,77	2,82	548,21	0,30	58,32	0,11	21,38
234	An5	22/09/00	0,13	0,027	x	37,95	1024,65	22,42	605,34	0,67	18,20	1,56	42,12	0,30	8,10	2,65	71,55
274	An5	08/11/00	0,5	0,1008	x	59,76	6023,81	7,41	747,13	2,72	274,58	3,42	344,74	1,71	172,37	3,40	342,72
			LR	VR	pH	K	MP (K)	Ca	MP (Ca)	Mg	MP (Mg)	P2O5	MP(P2O5)	NH3	MP (NH3)	NO3	MP (NO3)
1999	An5	Total (mg)	22,61	4,57	x	50,70	115753	21,90	49999,89	0,01	13,70	0,00	0,00	4,60	10502,26	0,00	0,00
2000	Moy A(mg/l)	Moy P(mg/l)	x	x	x	25,35	25,35	10,95	10,95	0,00	0,003	0,00	0,00	2,30	2,30	0,00	0,00
	An5	Total (mg)	1,96	0,40	0,00	282,19	16692	153,24	4779,01	8,65	438,63	9,87	997,16	6,05	326,98	16,85	730,66
	Moy A(mg/l)	Moy P(mg/l)	x	x	x	47,03	41,9187	25,54	12,00	1,44	1,10	1,65	2,50	1,01	0,82	2,81	1,83
1999+2000	An5	Total (mg)	24,57	4,96	x	332,89	132445	175,14	54778,90	8,65	452,33	9,87	997,16	10,65	10829,24	16,85	730,66
	Moy A(mg/l)	Moy P(mg/l)	x	x	x	41,61	26,68	21,89	11,03	1,08	0,09	1,23	0,20	1,33	2,18	2,11	0,15
	Total VR :		24,65	4,98	x	x	28,60	x	11,00	x	0,09	x	0,20	x	2,17	x	0,15

Annexe 9

ANALYSE DES EAUX DRAINEES ET RUISSELEES DURANT LES DEUX ANNEES 1999 ET 2000.

Tableau AE012 - Teneur des éléments chimiques (mg/l) dans les eaux de ruissellement de l' "

N° éch.	Nature éch.	Date	LR (mm)	VR (m3)	pH	K (mg/l)	MP (K) (mg)	Ca (mg/l)	MP (Ca) (mg)	Mg (mg/l)	MP (Mg) (mg)	P2O5 (mg/l)	MP(P2O5) (mg)	NH3 (mg/l)	MP (NH3) (mg)	NO3 (mg/l)	MP (NO3) (mg)
77	An6	16/06/99	2,03	0,4104	6,44	14,61	5995,94	5,57	2283,88	1,35	554,86	0,08	32,83	1,19	488,79	6,52	2674,17
85	An6	02/07/99	0,14	0,03	6,25	17,03	510,90	9,14	274,14	3,13	93,90	0,34	10,20	1,72	51,45	8,58	257,37
86	An6	08/07/99	7,1	1,4338	6,54	19,67	28202,85	9,64	13826,13	3,40	4869,18	0,06	86,03	2,37	3398,11	10,82	15509,41
87	An6	09/07/99	3,91	0,7897	5,87	16,93	13369,62	8,43	6655,59	2,90	2291,71	0,67	527,52	1,72	1358,28	8,58	6774,84
92	An6	13/07/99	5,47	1,1042	6,61	13,74	15171,71	5,86	6469,51	1,28	1413,38	0,08	88,34	0,99	1093,16	5,60	6178,00
126	An6	19/07/99	2,83	0,5717	6,56	12,97	7414,95	6,23	3562,26	1,89	1082,80	0,03	17,15	0,33	188,66	5,60	3198,66
78	An6	30/07/99	1	0,2016	6,38	15,01	3026,02	9,35	1884,15	1,62	327,00	0,08	16,13	1,31	263,29	5,10	1027,35
88	An6	02/08/99	5,15	1,0403	6,23	11,53	11994,66	4,39	4563,80	1,11	1150,57	0,09	93,63	0,24	249,67	6,34	6596,54
90	An6	16/08/99	1,78	0,3586	6,27	12,84	4604,42	8,59	3078,58	1,06	379,76	0,08	28,69	0,26	93,24	4,85	1738,85
91	An6	18/08/99	5,27	1,0635	6,66	9,58	10191,52	5,03	5349,41	0,59	629,59	0,07	74,45	0,08	85,08	3,73	3966,86
93	An6	30/08/99	0,39	0,0792	7,43	29,47	2334,02	29,09	2303,93	1,73	137,17	0,56	44,35	1,23	97,02	13,06	1033,96
94	An6	01/09/99	0,01	0,0023	6,73	24,90	57,27	28,38	65,27	0,96	2,20	0,30	0,68	0,15	0,33	7,83	18,02
79	An6	08/09/99	1,05	0,2124	6,57	12,32	2616,77	4,72	1002,95	0,78	164,61	0,26	55,22	0,32	66,91	4,10	871,48
80	An6	27/09/99	0,33	0,0662	6,76	32,88	2176,66	17,76	1175,71	1,82	107,05	0,58	38,51	1,16	76,46	6,71	444,47
81	An6	01/10/99	0,73	0,1476	6,61	17,64	2603,66	9,40	1387,44	1,06	155,72	0,26	38,13	0,07	9,59	4,48	660,66
96	An6	04/10/99	4,6	0,9301	6,92	9,58	8913,15	6,77	6293,06	0,68	631,54	0,07	65,11	0,05	41,85	2,24	2081,56
127+193	An6	21/10/99	7,38	1,4899	6,65	5,49	8184,77	3,47	5166,97	0,75	1116,68	0,00	0,00	0,33	495,39	2,23	3320,99
82	An6	01/11/99	2,32	0,468	6,99	13,22	6186,96	6,22	2911,90	0,74	347,72	0,09	42,12	0,49	229,32	1,12	523,69
83	An6	08/11/99	0,72	0,146	7,04	10,94	1597,24	8,19	1196,32	0,65	94,61	0,26	37,96	0,68	99,28	1,49	217,83
101	An6	12/11/99	3,74	0,7562	6,95	25,94	19615,83	5,20	3933,75	1,12	843,92	1,32	998,18	0,47	355,41	2,61	1974,44
128	An6	15/11/99	1,55	0,3132	6,77	6,77	2120,99	5,02	1572,58	0,99	310,69	0,10	32,36	0,05	15,66	0,75	233,65
98	An6	18/11/99	3,53	0,7128	6,89	5,50	3921,83	4,64	3310,24	0,00	0,00	0,09	64,15	0,00	0,00	1,12	797,62
99	An6	22/11/99	5,97	1,2054	7,06	5,70	6864,75	6,07	7313,16	0,00	0,00	0,61	735,29	0,01	12,05	1,12	1348,84
97+10+129	An6	29/11/99	63,77	12,881	6,80	13,21	17012,4	10,6157	136740	2,27	29192,64	1,57	20266,11	0,07	837,27	4,35	56053,82
102+109	An6	05/12/99	3,24	0,6552	6,54	8,17	5353,97	3,7825	2478,29	0,75	489,11	0,17	110,29	0,00	0,00	0,75	488,78
130	An6	06/01/00	3,39	0,684	6,81	5,79	3958,31	6,794	4647,1	1,12	764,03	0,14	96,90	0,03	17,10	0,75	510,26
84	An6	10/01/00	2,42	0,4896	6,57	4,15	2032,82	3,63	1778,72	0,26	125,83	0,09	44,06	0,00	0,00	0,37	182,62
111	An6	13/01/00	0,09	0,0175	6,32	8,07	141,14	10,50	183,75	0,54	9,52	0,49	8,52	0,00	0,00	1,49	26,11
112	An6	14/01/00	0,09	0,0175	7,45	6,83	119,49	6,86	119,98	0,45	7,86	0,36	6,30	0,00	0,00	0,75	13,06
104	An6	17/01/00	6,92	1,398	6,05	3,72	5194,97	2,89	4037,42	0,25	342,51	0,30	419,40	0,01	6,99	0,75	1042,91
113	An6	27/01/00	0,32	0,0648	7,21	7,02	454,70	5,07	328,73	0,52	33,76	0,77	49,90	0,08	4,86	1,12	72,51
114	An6	02/02/00	0,87	0,1764	7,25	5,76	1016,77	4,14	730,47	0,53	92,61	0,67	118,19	0,04	6,17	0,75	131,59
115	An6	16/02/00	1,76	0,355	7,13	8,17	2901,42	6,33	2246,80	0,59	209,45	0,30	106,50	0,31	110,05	1,12	397,25
116	An6	21/02/00	3,9	0,7877	7,06	6,24	4917,61	6,04	4757,71	0,49	384,40	0,14	106,34	0,06	47,26	1,12	881,44
118	An6	09/03/00	1,53	0,3096	6,29	3,85	1193,20	3,14	973,07	0,27	84,83	0,38	116,10	0,00	0,00	0,37	115,48
117	An6	10/03/00	0,21	0,042	6,81	6,82	286,48	8,81	369,98	0,37	15,41	0,50	20,79	0,00	0,00	0,75	31,33
119	An6	20/03/00	2,42	0,49	7,25	7,88	3862,18	14,35	7031,50	0,73	359,17	0,36	176,40	0,23	110,25	0,75	365,54
120	An6	27/03/00	0,45	0,09	6,69	4,81	432,63	3,09	277,83	0,50	44,64	0,27	24,30	0,03	2,70	0,37	33,57
132	An6	10/04/00	0,21	0,04	x	17,56	702,40	37,66	1506,40	0,63	25,24	2,02	80,80	0,67	26,80	12,53	501,20
171+210	An6	13/04/00	0,7	0,1404	x	25,63	3598,45	10,40	1460,44	0,00	0,00	0,00	0,00	2,74	383,99	1,79	251,32
136+172	An6	18/04/00	5,72	1,1548	x	1,55	1784,17	4,00	4617,47	0,00	0,00	0,16	184,77	0,59	681,33	1,53	1761,07
173	An6	29/05/00	4,06	0,8211	x	5,64	4627,72	1,56	1283,38	0,00	0,00	0,00	0,00	1,07	878,58	3,51	2882,06
174+211	An6	13/06/00	1,05	0,2124	x	16,17	3434,51	11,87	2478,18	0,62	132,54	0,00	0,00	0,72	152,93	3,07	651,01
268	An6	14/06/00	1,05	0,2124	x	15,27	3243,35	27,32	5802,77	0,33	70,30	0,00	0,00	0,69	146,56	7,03	1493,17
176	An6	20/07/00	1,6	0,324	x	4,05	1310,58	5,80	1879,20	0,49	157,46	0,00	0,00	0,35	113,40	0,01	3,24
177	An6	24/07/00	6,06	1,2239	x	0,00	0,00	0,46	558,10	0,18	217,85	0,00	0,00	0,29	354,93	0,00	0,00
178	An6	26/07/00	0,11	0,022	x	4,49	98,82	7,43	163,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	8,80	0,73	16,06
212	An6	31/07/00	8,46	1,7084	x	0,00	0,00	4,08	6966,86	0,00	0,00	0,00	0,00	0,49	837,12	0,39	666,28
180	An6	03/08/00	0,39	0,0792	x	26,19	2074,25	22,15	1754,28	0,90	71,28	0,00	0,00	0,53	41,98	0,00	0,00
213	An6	16/08/00	6,8	1,3734	x	6,27	8612,59	8,44	11594,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,53	727,90	1,44	1977,70

Annexe 9

ANALYSE DES EAUX DRAINEES ET RUISSELEES DURANT LES DEUX ANNEES 1999 ET 2000.

181	An6	21/08/00	4,13	0,8333	x	147,50	122912	12,49	10407,9	13,85	11541,21	1,79	1491,61	21,92	18265,94	1,25	1041,63
182	An6	22/08/00	1,96	0,396	x	76,39	30250,4	7,937	3143,05	7,27	2877,34	1,38	546,48	14,34	5678,64	0,78	308,88
214	An6	23/08/00	5,11	1,0332	x	31,75	32804,1	9,736	10059,2	2,39	2464,18	1,42	1467,14	3,50	3616,20	1,47	1518,80
183	An6	24/08/00	1,25	0,252	x	26,35	6640,2	2,896	729,792	1,43	361,37	1,20	302,40	1,52	383,04	1,66	418,32
184	An6	25/08/00	28,79	5,816	x	15,81	91951	1,67	9712,72	1,39	8101,69	1,08	6281,28	2,40	13958,40	2,64	15354,24
185	An6	28/08/00	42,61	8,6067	x	12,35	106293	9,34	80386,6	1,70	14648,60	0,64	5508,29	1,13	9725,57	5,05	43463,84
215	An6	05/09/00	2,71	0,5472	x	17,32	9477,5	9,683	5298,54	1,16	634,20	0,33	180,58	0,30	164,16	6,12	3348,86
216	An6	11/09/00	7,87	1,5907	x	10,95	17418,2	8,729	13885,2	0,76	1202,57	0,21	334,05	0,28	445,40	5,43	8637,50
281	An6	18/09/00	2,39	0,4824	x	15,39	7424,14	14,3	6898,32	2,08	1003,87	0,00	0,00	0,40	192,96	7,03	3391,27
235	An6	19/09/00	17,71	3,577	x	3,30	11818,41	15,63	55908,51	0,10	339,82	0,00	0,00	0,30	1073,10	2,29	8191,33
217bis	An6	20/09/00	1,07	0,216	x	8,93	1929,10	3,06	661,82	0,44	95,26	0,20	43,20	0,52	112,32	1,63	352,08
237	An6	22/09/00	35,96	7,2635	x	7,01	50880,82	14,10	102415	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	2905,40	0,50	3631,75
236	An6	25/09/00	0,12	0,025	x	5,08	126,98	45,93	1148,25	0,39	9,78	0,00	0,00	0,31	7,75	0,48	12,00
238	An6	02/10/00	6,79	1,3722	x	5,09	6977,64	7,57	10387,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,27	370,49	0,35	480,27
217	An6	03/10/00	4,05	0,8176	x	5,09	4159,95	1,79	1460,23	0,11	89,94	0,09	73,58	0,50	408,80	0,35	286,16
218	An6	05/10/00	4,05	0,8176	x	8,43	6894,00	4,09	3344,80	0,04	31,07	0,19	155,34	0,49	400,62	2,01	1643,38
219	An6	09/10/00	47,99	9,6937	x	0,00	0,00	3,61	34984,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	2908,11	0,22	2132,61
220	An6	17/10/00	4,04	0,8166	x	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,47	383,80	0,00	0,00
221	An6	23/10/00	0,39	0,0792	x	0,40	31,68	11,26	891,79	0,00	0,00	0,00	0,00	0,57	45,14	1,50	118,80
222	An6	24/10/00	0,36	0,072	x	0,00	0,00	6,50	468,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,29	20,88	0,71	51,12
223	An6	27/10/00	0,93	0,1872	x	2,94	549,81	6,78	1269,78	1,49	278,37	0,00	0,00	0,64	119,81	1,35	252,72
282	An6	30/10/00	0,3	0,06	x	7,86	471,66	22,57	1354,20	0,44	26,16	0,00	0,00	0,40	24,00	3,12	187,20
262	An6	03/11/00	4,6	0,9294	x	0,00	0,00	4,54	4223,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,45	418,23	-0,05	-46,47
265	An6	06/11/00	0,23	0,047	x	7,06	331,87	18,70	878,90	0,28	13,02	0,00	0,00	0,41	19,27	1,03	48,41
275	An6	08/11/00	28,61	5,7791	x	3,90	22515,37	1,66	9570,19	0,00	0,00	0,31	1791,52	0,58	3351,88	0,00	0,00
303	An6	10/11/00	2,78	0,5616	x	1,48	831,17	8,80	4942,64	0,00	0,00	0,32	179,71	0,51	286,42	1,01	567,22
309	An6	13/11/00	10,1	2,0398	x	1,29	2635,42	5,39	10990,44	0,01	24,48	0,31	632,34	0,52	1060,70	0,07	142,79
313	An6	14/11/00	3,84	0,7751	x	0,72	554,97	0,07	53,48	0,00	0,00	0,39	302,29	0,48	372,05	0,00	0,00
323	An6	20/11/00	2,92	0,5904	x	5,90	3480,41	3,35	1976,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,53	312,91	0,26	153,50
338	An6	22/11/00	3,82	0,7721	x	3,07	2368,80	1,07	823,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	386,05	0,19	146,70
327	An6	23/11/00	4,57	0,9228	x	2,87	2652,13	1,78	1640,74	0,81	744,70	0,00	0,00	0,46	424,49	0,00	0,00
339	An6	24/11/00	2,6	0,5256	x	2,97	1559,46	1,18	618,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,45	236,52	0,00	0,00
350	An6	27/11/00	1,43	0,288	x	5,67	1633,54	5,39	1552,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,43	123,84	0,00	0,00
359	An6	30/11/00	4,14	0,8371	x	4,05	3391,93	0,78	650,43	0,00	0,00	0,02	16,74	2,97	2486,19	0,00	0,00
			LR	VR	pH	K	MP (K)	Ca	MP (Ca)	Mg	MP (Mg)	P2O5	MP (P2O5)	NH3	MP (NH3)	NO3	MP (NO3)
1999	An6	Total (mg)	134,01	27,07	x	365,65	343154	221,546	224799	32,41	46386,41	7,82	23503,43	15,25	9606,28	119,65	117991,85
		Moy A(mg/l) Moy P(mg/l)	x	x	x	14,63	12,6769	8,86185	8,30459	1,30	1,71	0,31	0,87	0,61	0,35	4,79	4,36
2000	An6	Total (mg)	350,80	70,86	88,88	648,82	606964	494,985	460284	45,88	47636,30	16,81	20865,81	69,37	75348,77	90,91	109841,67
		Moy A(mg/l) Moy P(mg/l)	x	x	x	11,00	8,56601	8,38958	6,49595	0,78	0,67	0,28	0,29	1,18	1,06	1,54	1,55
1999+2000	An6	Total (mg)	484,81	97,93	x	1014,47	950118	716,531	685084	78,29	94022,71	24,63	44369,25	84,62	84955,04	210,56	227833,52
		Moy A(mg/l) Moy P(mg/l)	x	x	x	12,08	9,70236	8,53013	6,9959	0,93	0,96	0,29	0,45	1,01	0,87	2,51	2,33
		Total VR :	513,50	103,79	x	x	9,15	x	6,60	x	0,91	x	0,43	x	0,82	x	2,20

CONROLE : Résultats exprimés en mg / l -

N° éch.	Nature éch.	Date	K	Ca	Mg	P2O5	NH3	NO3
	Cristalline (St- Léger		19,06	61,47	28,47	0,00	0,49	0,00
	Témoin		20	60	23			<2

Annexe 10

ANALYSES CHIMIQUES DES TERRES ERODEES (terre de fond) DES PARCELLES SENSIBLES A L'EROSION (CAMPAGNES 1999 ET 2000).

Echantillon Parcelle	50 An6	51 An6	51 bis An6	52 An6	53 An6	54 An6	55 An6	56 An6	57 An6	58 An6	59 An6	60 An6	61 An6	62 An6	63 An6	64 An6	65 An6	66 An6	67 An6
Date	06/06/99	16/06/99	02/07/99	19/07/99	30/07/99	02/08/99	16/08/99	23/08/99	30/08/99	08/09/99	13/09/99	27/09/99	04/10/99	21/10/99	01/11/99	12/11/99	18/11/99	22/11/99	29/11/99
Acidité pH eau	7,63	6,96	7,76	5,82	6,74	6,18	5,73	7,07	6,29	5,71	5,60	6,47	5,39	5,2	5,71	5,4	5,66	5,5	5,31
Extraction des B.E.	Acétate	Acétate	Acétate	Acétate	Acétate	Acétate	Acétate	Acétate	Acétate	Acétate	Acétate	Acétate	Acétate	Acétate	Acétate	Acétate	Acétate	Acétate	Acétate
Potassium éch. mé % g	3,14	3,26	3,66	2,62	2,97	2,75	2,46	2,80	2,44	2,36	2,51	3,03	1,97	2,00	1,77	2,06	2,16	1,81	1,81
Calcium éch.mé % g	21,63	15,13	27,10	5,80	11,65	7,20	6,78	13,20	10,03	6,30	5,72	11,17	5,20	4,98	8,31	5,52	7,01	6,51	5,23
Magnésium éch.mé % g	2,75	2,23	2,48	1,97	2,03	3,19	2,61	2,64	2,31	2,76	3,01	2,90	2,90	1,72	1,08	1,55	1,47	1,21	1,35
Phosphore ass. ppm (méthode Truog)	16,48	14,56	11,84	19,80	20,16	21,64	18,76	18,32	21,56	22,28	21,00	23,48	22,72	19,04	16,80	18,64	17,56	19,04	17,52
Azote N total g % g	0,17	0,16	0,19	0,16	0,15	0,19	0,16	0,18	0,16	0,17	0,20	0,19	0,18	0,16	0,15	0,18	0,17	0,16	0,12
Humidité % de 70°C à 105°C	5,68	6,19	8,43	9,01	9,42	9,69	12,80	9,11	5,77	6,76	6,19	7,43	6,229	5,002	5,002	4,917	4,917	4,925	5,35

Echantillon Parcelle	68 An6	69 An6	70 An6	71 An6	72 An6	76 An6	77 An6	78 An6	79 An6	80 An6	81 An6	82 An6	83 An6	84 An6	MOY An6	écart-type	CV %
Date	10/01/00	17/01/00	02/02/00	27/03/00	18/04/00	31/07/00	16/08/00	21/08/00	23/08/00	28/08/00	11/09/00	18/09/00	19/09/00	22/09/00			
Acidité pH eau	6,58	6,6	7,44	6,81	6,39	5,77	6,78	6,81	6,63	6,19	5,99	6,08	5,41	5,52	6,20	0,71	11,43
Extraction des B.E.	Acétate																
Potassium éch. mé % g	2,23	2,07	2,81	2,19	2,33	1,96	2,77	5,96	3,67	3,10	3,31	3,60	3,45	3,15	2,75	0,82	29,95
Calcium éch.mé % g	13,50	11,90	25,70	23,12	14,27	10,82	15,18	13,51	11,25	6,65	11,61	12,18	4,86	5,70	10,98	6,13	55,88
Magnésium éch.mé % g	1,36	1,44	2,06	1,33	1,06	0,82	1,42	4,86	3,58	3,51	2,82	3,47	4,03	3,75	2,38	0,99	41,57
Phosphore ass. ppm (méthode Truog)	18,68	20,04	14,12	19,08	27,56	27,00	24,76	119,20	102,88	59,76	58,64	100,04	78,32	70,20	33,84	29,14	86,11
Azote N total g % g	0,17	0,17	0,16	0,2	0,22	0,14	0,22	0,31	0,27	0,19	0,22	0,24	0,15	0,16	0,18	0,04	21,04
Humidité % de 70°C à 105°C	14,528	7,78	5,407	4,718	4,706	3,181	4,68	3,521	3,305	3,112	2,634	2,049	2,781	2,601	5,73	2,47	43,19

N B Résultats exprimés pour 100g de sol séché à 70°C

Annexe 10

ANALYSES CHIMIQUES DES TERRES ERODEES (terre de fond) DES PARCELLES SENSIBLES A L'EROSION (CAMPAGNES 1999 ET 2000).

Echantillon	3	6	9	12	15	18	MOY	écart-type	CV
Parcelle	Nu9		%						
Date	21/10/99	18/11/99	29/11/99	17/01/00	29/05/00	22/09/00			
Acidité pH eau	5,16	5,57	5,52	5,49	7,26	4,61	5,60	0,89	15,86
Extraction des B.E.	Acétate	Acétate	Acétate	Acétate	Acétate	Acétate			
Potassium éch. mé % g	1,30	1,42	1,33	1,06	2,80	1,28	1,53	0,63	41,26
Calcium éch.mé % g	4,96	6,39	5,73	5,70	15,17	3,33	6,88	4,19	60,96
Magnésium éch.mé % g	1,19	1,23	1,30	1,56	1,23	0,63	1,19	0,31	25,83
Phosphore ass. Ppm (méthode Truog)	56,40	59,87	60,76	35,40	52,97	28,80	49,03	13,56	27,66
Azote N total %	0,18	0,17	0,22	0,18	0,19	0,16	0,18	0,02	11,27
Humidité % de 70°C à 105°C	4,85	4,80	5,27	5,19	4,07	2,65	4,47	0,99	22,10

N B Résultats exprimés pour 100g de sol séché à 70°C

Echantillon	25	26	27	28	29	30	31	32	33	35	36	37	MOY	écart-type	CV
Parcelle	Ba3		%												
Date	08/07/99	30/08/99	21/10/99	12/11/99	29/11/99	17/01/00	22/02/00	18/04/00	31/07/00	28/08/00	11/09/00	02/10/00			
Acidité pH eau	8,09		7,64	7,84	7,64	7,29	7,57	7,51	6,74	6,85	6,23	6,51	7,26	0,59	8,18
Extraction des B.E.	Acétate														
Potassium éch. mé % g	4,65	5,88	4,40	3,61	3,88	4,20	4,21	3,66	3,84	3,52	4,23	3,49	4,13	0,66	16,10
Calcium éch.mé % g	46,08	15,81	36,96	38,76	25,17	14,23	33,57	28,55	16,12	11,74	10,68	10,45	24,01	12,52	52,13
Magnésium éch.mé % g	1,87	4,84	2,73	1,91	2,14	8,24	8,93	4,76	3,73	3,43	4,30	3,70	4,21	2,29	54,29
Phosphore ass. ppm (méthode Truog)	19,64		23,64	22,28	16,12	21,52	20,80	15,88	42,40	26,76	52,08	31,00	26,56	11,31	42,57
Azote N total g % g	0,13		0,44	0,13	0,34	0,28	0,27	0,22	0,30	0,22	0,27	0,24	0,26	0,09	34,29
Humidité % de 70°C à 105°C	4,37		7,49	4,85	6,08	4,89	1,89	4,07	4,18	3,65	1,76	2,21	4,13	1,76	42,49

N B Résultats exprimés pour 100g de sol séché à 70°C

Echantillon	38	39	40	41	42	43	44	45	47	48	49	MOY	écart-type	CV
Parcelle	Ba4		%											
Date	09/07/99	13/09/99	12/11/99	22/11/99	29/11/99	17/01/00	22/02/00	18/04/00	31/07/00	28/08/00	22/09/00			
Acidité pH eau	8,25	7,33	7,41	6,60	6,33	7,40	7,41	7,31	6,19	6,68	6,21	7,01	0,65	9,30
Extraction des B.E.	Acétate													
Potassium éch. mé % g	5,86	5,14	3,99	3,83	3,43	4,90	4,54	4,40	3,77	4,01	3,97	4,35	0,71	16,41
Calcium éch.mé % g	34,92	12,73	18,31	10,24	8,18	15,19	19,92	16,97	11,66	9,51	9,45	15,19	7,63	50,22
Magnésium éch.mé % g	2,28	2,08	2,11	2,12	2,31	5,37	7,68	4,79	9,68	5,59	3,22	4,29	2,59	60,34
Phosphore ass. ppm (méthode Truog)	14,60	17,00	22,08	26,39	32,56	22,64	20,96	22,28	27,20	27,28	34,40	24,31	6,02	24,76
Azote N total g % g	0,14	0,18	0,23	0,15	0,22	0,27	0,24	0,24	0,18	0,20	0,22	0,21	0,04	19,54
Humidité % de 70°C à 105°C	8,87	6,40	5,44	5,27	5,74	4,89	4,42	4,64	2,97	3,80	2,15	4,96	1,78	35,96

N B Résultats exprimés pour 100g de sol séché à 70°C

Annexe 10

ANALYSES CHIMIQUES DES SUSPENSIONS ERODEES DES 10 PARCELLES (CAMPAGNES 1999 ET 2000).

Traitement Parcelle	Sol nu			Bananeraie		Ananas		Canne	
	Nu1	Nu7	Nu9	Ba3	Ba4	An5	An6	Ca2	Ca8+Ca10
N° CIRAD FLHOR	958	959	960	961	962	963	964	965	966
Echantillon	85	86	87	88	89	90	91	92	93
Extraction des B.E.	Acétate	Acétate	Acétate	Acétate	Acétate	Acétate	Acétate	Acétate	Acétate
Potassium éch. mé % g	0,93	1,02	0,82	3,39	3,84	1,91	17,03	8,30	2,11
Calcium éch.mé % g	1,35	2,11	0,71	2,92	9,47	3,32	6,58	11,61	18,34
Magnésium éch.mé % g	0,36	0,31	0,26	1,05	1,24	1,12	2,80	2,49	0,78
Phosphore ass. ppm (méthode Truog)	40,30	33,29	36,79	50,81	42,05	47,30	x	33,29	18,40

N.B Résultats exprimés pour 100g de sol séché à 70°C

ANALYSES CHIMIQUES DES TERRES ERODEES (terre de fond) DES PARCELLES SENSIBLES A L'EROSION (CAMPAGNES 1999 ET 2000).

Echantillon Parcelle	1	4	7	10	13	16	MOY Nu1	écart-type	CV %
Date	21/10/99	18/11/99	29/11/99	17/01/00	29/05/00	22/09/00			
Acidité pH eau	4,62	4,88	4,96	5,29	5,73	4,70			
Extraction des B.E.	Acétate	Acétate	Acétate	Acétate	Acétate	Acétate			
Potassium éch. mé % g	1,43	1,71	1,44	1,31	2,38	1,96	1,70	0,40	23,77
Calcium éch.mé % g	3,20	3,96	3,23	4,88	8,65	3,18	4,51	2,13	47,25
Magnésium éch.mé % g	0,90	0,97	0,94	1,20	0,89	0,56	0,91	0,21	22,73
Phosphore ass. Ppm (méthode Truog)	18,35	19,96	19,96	27,62	16,10	17,00	19,83	4,12	20,77
Azote N total %	0,15	0,15	0,15	0,16	0,15	0,13	0,15	0,01	6,63
Humidité % de 70°C à 105°C	5,76	5,91	6,14	4,93	5,07	2,88	5,12	1,19	23,35

N.B Résultats exprimés pour 100g de sol séché à 70°C

Echantillon Parcelle	2	5	8	11	14	17	MOY Nu7	écart-type	CV %
Date	21/10/99	18/11/99	29/11/99	17/01/00	29/05/00	22/09/00			
Acidité pH eau	5,03	5,20	5,21	5,46	6,47	4,40			
Extraction des B.E.	Acétate	Acétate	Acétate	Acétate	Acétate	Acétate			
Potassium éch. mé % g	0,99	1,39	1,34	0,87	2,57	1,03	1,36	0,63	45,83
Calcium éch.mé % g	3,90	4,98	4,95	5,46	9,27	2,79	5,22	2,20	42,14
Magnésium éch.mé % g	1,16	1,19	1,19	1,42	1,24	0,74	1,16	0,23	19,58
Phosphore ass. Ppm (méthode Truog)	26,46	33,49	51,00	43,13	37,43	22,37	35,65	10,59	29,69
Azote N total %	0,14	0,16	0,19	0,15	0,18	0,14	0,16	0,02	13,11
Humidité % de 70°C à 105°C	4,54	5,08	5,74	5,08	3,50	2,15	4,35	1,31	30,15

N.B Résultats exprimés pour 100g de sol séché à 70°C