**Institut de Recherche pour le Développement IRD**

**Parc Naturel Régional de Martinique PNRM**

# Expérimentations sur la lutte antiérosive et la revégétalisation assistée d'un versant décapé de la Réserve Naturelle de la Caravelle en Martinique.

## Rapport 4 :Synthèse et perspectives.

**Convention PNRM-IRD**
Mission Roose du 9 au 17/11/2004

**par**

**Eric.Roose*,**

**avec la collaboration de**
**N. Vénumière, P. Laune,**
**J. Louri **, R. Rovela et P. Martial**

Parc Naturel Régional de Martinique, BP 437 Fort-de-France, Martinique, 97200, France,
courriel : MSP-PNRM@wanadoo.fr
*IRD, Laboratoire MOST, BP 64501, F34394 Montpellier,France ; courriel : roose@mpl.ird.fr
**IRD-PRAM,, BP 8006, Fort de France 97259 : courriel : representant@ird-mq.fr

Fort de France, le 18-11- 2004

# Introduction

En vue de réduire l'érosion sur les versants dénudés situés sur la presqu'île de la Caravelle et les risques de sédimentation dans la baie du Trésor, une première série de travaux a été confiée à l'Office National des Forêts (ONF) en 1998-99 pour ralentir le ruissellement et l'érosion à l'aide de palmes de cocotier ou de dosses de Mahogany et pour revégétaliser les sédiments piégés sur les versants et les ravins.

Une expertise a montré qu'une fois les pièges remplis de sédiments, l'érosion continue de plus belle, le ruissellement étant concentré en rigoles par les planches. De plus les plantations restent chétives du fait des carences en azote et phosphore des sédiments et des altérites sous-jacentes (Roose, 2000).

Une convention entre le Parc (PNRM) et l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD) a été signée le 16 mai 2001 qui prévoit en deux ans :

*la mise en place de 5 parcelles expérimentales de mesure du ruissellement et de l'érosion,

*l'aménagement de ces parcelles pour optimiser le traitement de lutte antiérosive à l'aide d'un paillage de cinq doses de bagasse de canne à sucre ,

*la plantation dans des cuvettes (adaptation de la méthode africaine « ZAÏ ») de 4 espèces d'arbustes locaux, avec 3 niveaux d'apport de nutriments,

*l'implantation d'un parcours pédagogique comprenant cinq panneaux expliquant l'origine des sols, le paysage de la baie du Trésor, la diversité des processus d'érosion, la lutte antiérosive adaptée et la restauration assistée de la végétation locale.

D'un point de vue plus général, il s'agit de mettre en place un exemple d'une nouvelle approche de gestion des ressources naturelles qui tente de tirer profit des eaux de surface pour augmenter la production de biomasse, au lieu de s'opposer aux forces naturelles destructrices des eaux de ruissellement par des obstacles physiques.

**Dans ce quatrième rapport, il s'agit de restituer la synthèse des résultats des observations réalisées durant quatre campagnes de mesures. Une série de propositions clôture ce document final.**

**Nous remercions vivement** l'Union Européenne d'avoir financé cette opération, M. Malbourough de la sucrerie du Gallion de nous avoir livré gratuitement la bagasse à proximité immédiate des parcelles, le personnel de la Réserve qui a protégé le site et effectué les observations, et la station Météo-France de nous avoir fourni les données du poste de la Trinité Spoutourne, le plus proche de la Réserve Naturelle de la Caravelle.

## 1. Le milieu

La Réserve Naturelle de la presqu'île de la Caravelle est située au centre de la Martinique, à l'extrémité de la presqu'île de la Caravelle, après le village de TARTANE. Le relief de la Réserve est très varié avec ses nombreuses collines, ses ravins, ses côtes découpées, ses falaises et ses baies. Le point culminant (148 m) est occupé par un phare depuis 1861.

Les précipitations, concentrées de juillet à décembre, n'atteignent que 1500 mm en moyenne mais des averses peuvent se produire toute l'année. La hauteur des pluies journalières peut dépasser 150 à 250 mm/jour durant la période des cyclones et tempêtes tropicales. Les intensités sont alors très élevées. Ces pluies très abondantes provoquent des ruissellements intenses aboutissant au décapage de la couverture pédologique et au ravinement. La végétation souffre de sécheresse de février à mai. Le vent est important en

bordure de l'océan Atlantique et les embruns marins renforcent encore le stress hydrique.

La roche mère est vulcano-sédimentaire : tuffites légers riches en cendres et minéraux ferro-magnésiens ou coulées andésitique (orgues). Son altération donne naissance à des sols jeunes caillouteux ou localement à des sols fersiallitiques argileux rouges ou ocres (Colmet Daage, 1988). L'érosion est très active sur les pentes (jusqu'à 40%) dès que les sols sont dénudés; le colluvionnement a accumulé localement en bas des pentes des sols riches et profonds (PNRM, 1995).

L'hétérogénéité du milieu physique aurait pu déterminer la diversité des formations végétales, mais sur les versants de la Caravelle, la diversité est liée aux différents stades de recolonisation des espaces dégradés par les cultures, le pâturage et l'exploitation sélective des essences forestières. La forêt semi-décidue primitive a totalement disparu, mais on trouve aujourd'hui des stades dégradés de savane, de fourrés et de forêt sèche plus ou moins ouverte, en particulier en bas des pentes, sur les colluvions épaisses (PNRM, 1995).

## 2. Le dispositif mis en place dans la réserve de la Caravelle

Sans perturber le splendide paysage de la baie du Trésor, il s'agit d'évaluer les risques actuels de ruissellement et d'érosion, de tester une nouvelle approche biologique de stabilisation des versants dénudés à l'aide d'une litière de bagasse de canne à sucre et d'adapter une technique traditionnelle africaine de restauration des terres dégradées, le Zaï. Enfin quelques nouveaux panneaux expliqueront au grand public se promenant sur deux petits sentiers éducatifs le mode de formation des sols, la diversité des processus d'érosion et les moyens de protéger ce versant en aidant la végétation naturelle à recouvrir les terrains dégradés par les activités humaines des siècles précédants.
Les dispositifs suivant ont été mis en place progressivement :

**2.1. Cinq pièges à sédiments.** En juillet 2001, cinq fosses bétonnées de $1m^3$ (2 x 1 x 0.5 m) servant de pièges pour les eaux de ruissellement, les particules fines en suspension (susceptibles d'envaser les fonds marins) et les sables grossiers, ont été construites à l'aval de petits ravineaux d'une surface variant de 83 à 146 m². Leur délimitation naturelle a été renforcée localement par des planches (dosses de mahogany) et cailloux. Vu la grande hétérogénéité de la surface topographique, des roches volcaniques, de l'épaisseur de sol et de la nature de la végétation, il a été décidé de laisser pendant une année les ravineaux à l'état naturel (avec les dosses datant des expérimentations précédentes) pour évaluer la diversité de l'érodabilité des ravineaux : sans cette précaution, il eut été impossible de dissocier l'effet de l'hétérogénéité du milieu de l'influence des traitements.

A titre de démonstration la parcelle 5 a reçu le 17/8/2001 un épandage d'environ 15t/ha de bagasse partiellement séchée et décomposée : l'aspect de la surface a été profondément modifiée par la couleur brune de l'humus naissant et par la croissance spontanée d'un tapis d'herbes pionnières.

Le 17 juillet 2002, les parcelles 1, 3 et 4 ont reçu un paillage de bagasse plus ou moins évoluée correspondant à 72, 36 et 18 t/ha respectivement (matière humide=~50%). La parcelle 2 est restée nue comme témoin.

**2.2. La revégétalisation assistée.** En octobre 2001, l'équipe technique du Parc a creusé 121 cuvettes de 40x40x40 cm et planté quatre espèces d'arbres localement présents : le Zikak (*Chrisobalanus ikako*), le Poirier (*Tabebuia heterophilla*), le Courbaril (*Hymenea courbaril*), et des boutures vigoureuses de *Gliricidia sepium* (légumineuse arbustive très fréquente dans les haies des campagnes martiniquaises) introduite temporairement pour

améliorer la litière en fixant l'azote). Chaque espèce d'arbre a été plantée dans des cuvettes sous trois niveaux d'enrichissement chimique :
- (To), le témoin sans apport chimique autre que les matières dissoutes dans les eaux de ruissellement, en haut des parcelles,
- (Tc), enrichi en compost (1 seau de DIAGO= tourbe enrichie en carbonates, à pH 5.5);
- (Tc+e) enrichi en compost et engrais chimiques (50 g/cuvette. de $N_{12}$, $P_{14}$, $K_{24}$).

Le travail du sol, profond mais localisé dans les cuvettes, a réduit temporairement les écoulements d'eau et de terre. Les pluies étant abondantes en fin d'année ont permis une bonne reprise, mais les plants de pépinière sont souvent trop vieux (tiges trop longues, racines déformées) et devront être recépés ou remplacés par des semis. Pour ne pas polluer les cuvettes en contrebas, on a décidé de placer les cuvettes ne recevant aucun amendement (T0) en position de sommet du ravineau (pas forcément sur les meilleurs sols) tandis que les cuvettes recevant du compost et des engrais (Tc+e) ont été situées en bas de pente, pour éviter toute pollution par l'érosion : de ce fait, elles pourraient recevoir plus d'eau de ruissellement que les témoins. La distance entre les plants n'est pas totalement régulière pour tenir compte des pointements rocheux et cailloux peu propices aux plantations, mais les jeunes plants disposent d'environ 4 m² d'impluvium. Les rares plantes préexistantes ont été respectées et de nouveaux plants se sont développés naturellement (*Chamaecrista glandulosa* (appelé ici cassia) et l'*anacardier* (Cajou). Le compost DIAGO de « HydroAgriFrance » est un compost de tourbe blonde et brune enrichi de 1.5kg/$m^3$ de $N_{12}$, $P_{14}$, $K_{24}$ : son pH est relevé à 5,5 à l'aide 7 kg/$m^3$ de carbonate de chaux et de magnésie.

Le 23 janvier 2003, l'équipe technique de la Réserve a dégagé les plants d'arbustes et réaménagé les cuvettes (recreusement à l'amont et disposition de ces sédiments en demi-lune à l'aval des plants pour mieux retenir les eaux de ruissellement), en prenant soin de ne pas déranger les jeunes racines.

Des mesures du couvert arbustif ont été réalisées en septembre 2002, en janvier 2003 et novembre 2004 par Nadine Venumière (hauteur max. ainsi que surface couverte par les arbustes, soit longueur maximale des touffes + largeur perpendiculaire/2= le rayon d'une circonférence hypothétique).

**2.3**. **Evolution de la biodiversité végétale et animale.** M.Vennetier (du CEMAGREF de AIX en Provence) est chargé de suivre l'évolution des populations végétales et de leur biodiversité par des missions en fin de saison des pluies. Par ailleurs, l'observation rapide des activités de la macrofaune par Eric Blanchart (IRD, UR SEQC), a montré la pauvreté de la faune sur les parcelles 1 à 4 non aménagées et la présence discrète de petites fourmis et termites liée à l'apport de bagasse sur la parcelle 5, le 14/3/2002.

Le 23/1/03, des fourmis ont été observées 5 fois à proximité des anciennes planches mais uniquement dans la parcelle 5. Il faudrait vérifier que leur présence n'est pas liée à l'apport des dosses de bois tropical mais bien à l'apport de litière de bagasse. Le 11/11/2004, fourmis, termites et vers de terre ont été aperçus dans le sol des parcelles qui ont reçu de la bagasse.

**2.4. La mesure des pluies.** Les orages étant très localisés, nous avons disposé à 1 mètre du sol, trois pluviomètres à lecture directe (d'une contenance maximale de 180 mm) permettant d'évaluer les précipitations à trois niveaux du versant traité. Au poste de la météo nationale de la Trinité Spoutourne, un pluviographe enregistre les hauteurs de pluies cumulées toutes les six minutes. Ce pluviographe nous sera utile pour évaluer les courbes « intensités x durées » à l'échelle régionale.

La hauteur de pluie retenue dans ce rapport correspond à la plus forte hauteur observée sur

l'un des trois pluviomètres (P2 en milieu de pente), considérant que la pluie a été interceptée le plus correctement à l'abri du vent. Les petites pluies fines et sans énergie n'ayant pas provoqué de ruissellement, ont été cumulées avec la suivante (ou évaporées).

Le 28/1/2003 deux pluviomètres cumulatifs (tubes verticaux en PVC basse pression) capables d'accumuler 1500 à 2500 mm de pluie ont été placés en R5 et R2 sous la savane en défens, au milieu de la zone des parcelles, mais à l'abri des regards des visiteurs circulant sur la route : il suffira de les vidanger en juillet (avant la saison des cyclones) pour faire face aux pluies les plus importantes observées dans cette région. Leur objectif est d'obtenir une évaluation fiable de la hauteur des pluies journalières juste à l'endroit des parcelles d'érosion, en particulier lors des grosses averses tropicales.
Le pluviomètre cumulatif du ravineau 5 a disparu en juillet 2004.

**2.5. L'état nutritionnel des sédiments et altérites.** Pour mieux cerner l'hétérogénéité des qualités nutritives de la terre où sont replantés les arbustes, nous avons prélevé dans chaque ravineau des échantillons moyens de terre dans 5 cuvettes (0-30 cm) et un profil complet en amont de la séquence, à l'abri d'un vieil arbuste : les analyses de texture, pH, phosphore assimilable, bases échangeables et matières organiques ont été réalisées au laboratoire d'analyses du Cirad à Fort de France : nous les remercions pour leur coopération.
Les résultats d'analyses confirment la pauvreté en nutriments (C, N, P) et la forte acidité des sédiments et des altérites par rapport aux horizons humifères originaux décapés. Ceci explique la lenteur de la croissance des arbustes plantés sans apport d'engrais minéral. Un autre prélèvement de terre a été effectué le 11/11/ 2004 en surface (sur 5 cm) sur la diagonale de chaque ravineau pour estimer l'influence de doses de bagasse sur les matières organiques (MOS) de la surface du sol. De même 6 échantillons de sédiments accumulés dans les cuves de juillet à novembre 2004 ont été échantillonnés et séchés à l'étuve à 50 °C.

**2.6. Les indicateurs des états de surface.** Nous avons procédé en fin de saison des pluies (le 14/3/2002, le 23/1/2003 et le 11/11/2004) à la description des états de surface des cinq ravineaux selon la méthode bien connue des points quadrats, tout au long d'une diagonale partant du piège à sédiment et remontant jusqu'au sommet opposé (Roose, 1996). Tous les 20 cm, deux observations ont été réalisées sur *un indicateur de risque de ruissellement* (**Surface fermée** = % des points recouverts d'une croûte de sédimentation, d'un cailloux inclus dans la matrice ou d'une surface tassée, ralentissant l'infiltration) et sur un *indicateur de risque d'érosion* (**Surface couverte** = % des points recouverts de litière, de cailloux, d'herbes ou d'arbustes). Plus la surface du sol est couverte, moins les gouttes de pluie et l'énergie du ruissellement ont de prise sur le sol pour détruire les agrégats et transporter des particules. Par ailleurs, plus la surface du sol est tassée, couverte de croûtes ou de cailloux inclus dans la masse du sol, moins nombreux seront les pores disponibles pour infiltrer les eaux de pluie et plus les risques de ruissellement et d'érosion sont élevés.

Ceci se traduit sur le terrain par les traces laissées par le ruissellement et les divers types d'érosion :
*traînées de matières légères flottantes ==> faible ruissellement et érosion en nappe ;
*griffes de quelques centimètres de profondeur ==> le ruissellement est plus abondant et commence à développer une énergie décapante à l'origine de l'érosion linéaire ;
*rigoles de > 10 cm évoluant en ravines de > 30 cm : fort ruissellement et grave danger d'érosion en ravine, avec transport abondant de sable et de cailloux;
*glissement de terrain soit sur les berges des ravines, soit sur les versants des collines ===> terrain gravement instable ;
*disparition de la couverture pédologique observable sur quelques reliques protégées par des

arbustes ===> nécessité de stabiliser la surface du sol et d'aider les plantes à se réinstaller...

Chacun de ces cas est présent sur le versant expérimental étudié au Parc de la Caravelle et fait l'objet d'étude pour la mise au point d'une méthode simple de réhabilitation assistée de la végétation naturelle.

**2.7. Traitement antiérosif : 5 doses de bagasse et cuvettes Zaï.** Il était prévu en 2002 que les ravineaux soient recouverts de 5 doses de bagasse de canne à sucre fraîche (0, 6, 12, 18 ou 24 t/ha de matières sèches) en fonction des risques d'érosion de chacune d'elle, la plus érodable recevant le paillage le plus épais. Etant donnée la vitesse de minéralisation de la bagasse (environ deux campagnes), l'objectif poursuivi n'est plus de rechercher la dose minimale de bagasse capable de maîtriser l'érosion, mais d'optimiser les coûts d'aménagement, étant entendu que la bagasse est gratuite, que le transport par camion jusqu'à la piste du parc est bien meilleur marché (350 €uros) que le transport manuel en cuvette (7000 €/ha) et l'épandage du paillage sur les surfaces dénudées souvent très pentues. Il faut donc rechercher la dose qui permettrait de stabiliser le versant jusqu'à ce que les végétaux naturels et plantés assurent le recouvrement du sol. Les plantations d'arbustes ont été réalisées durant le mois de décembre 2001. Les arbustes et herbes croissant antérieurement ont été laissés en place sans fertilisation.

La parcelle 5 a été recouverte de bagasse partiellement compostée le 17/8/2001, à une dose voisine de 15 t/ha en poids humide (soit 10 t/ha de matières sèches).

Le 17 juillet 2002, les parcelles 1, 3 et 4 ont été couvertes de bagasse partiellement décomposée (encore très fibreuse) à raison de 145, 72 et 50 t/ha de matière humide, soit 72, 36 et 18 t/ha de matière sèche si l'humidité est estimée à 50%. L'ensemble des parcelles paillées ont été couvertes de 65 à à 72% par la litière, sur une épaisseur variant de 0.5 à 3 cm, voir localement 5 cm. On peut craindre que l'épaisseur du paillage ait une influence sur la présence des adventices : passé un certain seuil d'épaisseur, le paillage peut empêcher les graines des graminées de germer ou de percer la couche de bagasse. Un excès de bagasse combiné à des pluies très abondantes pourraient avoir un effet sur la mortalité des plants arbustifs déjà âgés.

La technique de récupération des terres dégradées (cuvettes Zaï) a aussi un rôle antiérosif dans la mesure où ces cuvettes piègent pas mal d'eau de ruissellement et de sédiments et permettent la croissance d'un couvert végétal pérenne, pourvu qu'on lui fournisse assez de nutriments assimilables.

## 3. Les résultats des observations en 2001 à novembre 2004.

### 3.1. Les pluies (Tableau 1)

| Année | Pluies observées aux ravineaux | pluies à Trinité Spoutourne |
|---|---|---|
| 2001 | 864 | 1523 mm |
| 2002 | 747 | 1822 mm |
| 2003 | 390 | 1833 mm |
| 2004* | 335 | 2580 mm |

* Les observations ont été interrompues en juillet à septembre et s'arrêtent le 12 novembre 2004.

- Un certain nombre de pluies ont été observées chaque année, mais pas toutes :

certaines observations ont cumulé plusieurs pluies, en fonction de la disponibilité des employés de la Réserve : cependant la comparaison des traitements reste possible .

- Chaque année, on a observé des pluies très agressives de 100 à > 200 mm en 1 à 2 jours .
- Cependant on n'a pas subi de cyclone de plein fouet.
- Le potentiel d'agressivité des pluies est donc très élevé.
- Du point de vue de la croissance des plantes, les pluies de 2001 ont été tardives mais favorables au démarrage des jeunes plantations. 2002 et 2003 ont été relativement arides durant les saisons chaudes (Carêmes) : les arbustes ont souffert à la fois de la sécheresse suite au manque de vrai sol, et de l'engorgement ou du manque d'oxygène lors de périodes très humides (voir les courbes de mortalité des plants les années très humides).

En conclusion, seules les averses de plus de 30 mm ont donné lieu à du ruissellement et des pertes en terre sur les parcelles nues initiales.

## 3.2. Les états de surface et les indicateurs de risque de ruissellement et d'érosion

**Tableau 2. Les états de surface du sol le 23/1/2003.**

| RAVINEAU<br>Bagasse | R1<br>72 t/ha | R3<br>36 t/ha | R4<br>18t/ha | R5<br>15t/ha | R2<br>nu* | Moy<br>paillé 2002 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Surf.Cailloux % | 04 | 21 | 23 | 08 | 48/49 | 14% |
| S.litière % | 67 | 70 | 65 | 72* | 00/0 | 69 % |
| S.herbes % | 12 | 01 | 05 | 72* | 07/5 | 06 % |
| S.arbres % | 15 | 08 | 06 | 12 | 02/1 | 11 % |
| S.couverte % | 98 | 100 | 100 | 92 | 57/55 | 98 % |
| Surface nue | 02 | 0 | 00 | 08 | 43/45 | 02 % |
| S.ouverte % | 73 | 62 | 50 | 59 | 51/50 | 62 % |
| S.fermée % | 27 | 38 | 50 | 41 | 49/50 | 38 % |
| S.cailloux inclus | 01 | 13 | 17 | 17 | 29/31 | 12 % |
| S.tassée % | 21 | 25 | 33 | 24 | 20/19 | 26 % |
| Cailloux posés % | 05 | 0 | 10 | 08 | 11/11 | 06 % |

*Pour évaluer l'évolution des observations à une année de distance par la même personne, nous avons accolé, pour la parcelle nue témoin (R2), les observations du 14/3/02 et celle du 23/1/03 (début de saison sèche). Il apparaît que les écarts sont raisonnables (2 points soit <5%) : la méthode semble donc fiable.

*Six mois après l'épandage de 18 à 72 t/ha de bagasse humide, la surface couverte par la litière atteint 65 à 70 % sans relation avec le poids de bagasse répandue car l'épaisseur varie de 0.5 à 5 cm selon les emplacements et les traitements. On risque donc de ne pas pouvoir mettre en évidence d'effet dose de bagasse sur l'érosion.

***La surface couverte par les cailloux** est tombée de 50% (au stade initial) à 21-23 % sur les parcelles 3 et 4 du bas de pente (les plus rocailleuses), et 4 à 8% sur les parcelles 1 et 5 du haut de la toposéquence.

***La surface couverte par les herbes** a faiblement progressé (de 4 à 6%) durant cette année sèche alors que les herbes ont envahi la parcelle 5 (72%) l'année précédante, beaucoup plus humide. On peut noter qu'en P5 ces herbes sont aussi nombreuses et drues que la campagne précédante, malgré une saison sèche très marquée.

***La surface couverte par les arbustes** a peu progressé pour la même raison (5-6 à 6-12%) mais la végétation de bas de parcelle (avec NPK) semble nettement plus vigoureuse que celle des hauts de pente. Les arbustes plantés ne couvrent que 1 à 4.3 m² après 18 mois de plantation : leur croissance a été très modeste malgré les apports de compost.
En résumé la surface couverte n'a beaucoup progressé que par la litière : la surface nue est passée de 41% en moyenne avant paillage à moins de 2% après une saison des pluies et 8% après deux saisons des pluies (R5) : les risques d'érosion sont donc très faibles après ce traitement, quelle que soit la dose de bagasse (15 à 72 t/ha en sec).

***La surface fermée du sol** (bon indicateur de risque de ruissellement) est estimée à partir des observations du taux de roches et cailloux inclus (les cailloux posés sont souvent entourés d'amas de petits cailloux perméables) et des surfaces tassées : elle diminue de 73% avant paillage à 13-41% sur parcelles paillées. En R5, couverte depuis 2 campagnes, la surface couverte a encore progressé de 20% grâce à l'extension très rapide des herbes en 2001. Si le paillage a été emporté par l'érosion sur les sentiers empruntés par les surfeurs et le ruissellement concentré, le paillage a fondu sur place en modifiant la terre sous-jacente (humification d'un mince horizon de surface de teinte brunâtre). On n'a pas observé de pellicule de battance ni de croûte de sédimentation. Il semble que le taux de cailloux posés a fort diminué en faveur des cailloux inclus. Par contre le taux de surface tassée a diminué sous litière de bagasse (gain d'humidité et de matières organiques).

### 3.3. Les terres de fond captées dans les pièges à sédiments

Le principe des pièges à sédiments (capteur de volume trop réduit pour stocker toutes les eaux de ruissellement lors des grosses averses, mais suffisant pour stocker les sédiments grossiers) développés jadis par les géomorphologues (Gerlach), c'est de récupérer les sédiments grossiers qui vont servir de témoins de la dynamique d'une portion de versant. Si la pluie est inférieure à la pluie d'imbibition, il n'y aura pas de trace de ruissellement dans le piège. Si le piège ne déborde pas, on peut estimer le coefficient de ruissellement pour une tranche donnée de pluies. Mais si le piège déborde, les sédiments de fond piégés sont trop lourds pour déborder avec le ruissellement : ils permettent souvent une estimation du volume ruisselé.

Sur le versant expérimental du Parc de la Caravelle, nous n'avons installé dans un premier temps qu'une fosse de 1 $m^3$ par parcelle, beaucoup trop petite pour stocker le ruissellement de bassins d'une centaine de m²: 10 mm de ruissellement sur 100 m² équivalent déjà à 1000 litres. Or on peut s'attendre à des pluies cycloniques de 400 mm et plus ...On va donc tenter d'estimer les terres de fond captées par les cuves lorsqu'elles n'ont pas débordé, puis estimer le débordement en fonction des terres de fonds captées, ou plus directement en fonction des hauteurs de pluie.

Au préalable il nous faut expliquer comment traduire le poids de terre sèche à partir de la mesure du poids de terre humide ramassée au fond des cuves après les pluies déposées dans un volume constant (par ex un seau de dix litres). Nous avons pesé le seau rempli d'eau soit 10,8 kg, équivalent de 10 litres d'eau (densité apparente de 1) et du poids du seau vide. Ensuite nous avons versé avec précaution un kg de terre de surface sèche dans le seau plein

d'eau. Une partie de l'eau a débordé, mais la terre ayant une densité apparente comprise entre 1 et 2.6, le poids du seau plein de cette boue dépasse 10.8 kg , soit 11,1kg observé. Nous avons répété l'opération 5 fois pour obtenir une droite donnant en ordonnée le poids de terre humide dans le seau et en abscisse le poids de terre sèche.

A la figure 2 du rapport de campagne 2001, vous pouvez constater que l'exercice fait avec des terres légères (densité apparente dapp = 0.8 à Rivière Lézarde avec un sol brun rouille à halloysite) a donné une droite parallèle mais plus basse (Khamsouk, 2001) qu'avec les altérites ferrugineuses du versant étudié sur la Caravelle.

En tenant compte de cette droite obtenue expérimentalement avec la terre de surface du versant de la Caravelle, nous avons transformé toutes les mesures de terre érodée humide en terre sèche, sans devoir passer par une étuve (d'où un fort gain de temps et de précision).

**Voir en annexe 4 : Terre sèche en fonction du poids des seau + sédiments humides**

**Tableau 3 . Erosion totale (t/ha) captées en aval de chaque ravine .**

| Ravineau | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 |
|---|---|---|---|---|---|
| Surface ($m^2$) | 133.5 | 92.4 | 83.0 | 88.7 | 146.1 $m^2$ |
| 2001 | 30.7 | 20.8 | 38.0 | 38.6 | 0 |
| 2002, avant paillis | 11.7* | 14.7* | 27.2* | 32.0* | 0.09 t/ha |
| 2002 après paillis | 0 | - | 0 | 0 | 0 |
| 2003 après « | 0,01 | 1.8 | 1.0 | 1.0 | 0.01 |
| 2004 fin effet paillis | 5.3 | 19.9 | 24.1 | 17.6 | 3.7** |

***mesuré avant le paillage.**
**** érosion due à un sentier formé par les touristes à travers la parcelle**

L'érosion totale (en t/ha) comprend la terre de fond (Tdf) pesée directement sur le terrain avec une balance dynamométrique (portée de 30 kg , précision à 100 g) et les matières en suspensions (MES). La MES est le produit du volume ruisselé par la turbidité (charge en suspension mesurée dans une bouteille en plastique de 1,5 l prélevée dans les cuves, à mi profondeur , sans remuer les dépôts). La bouteille est pesée, les suspensions floculées puis séchées à l'étuve avant leur pesée au mg près.

L'érosion sur les ravines nues varie de 20 à 39 t/ha la première année. Mais dès que le paillis de bagasse a été répandu couvrant > 90 % de la surface des ravineaux, l'érosion est tombée à 0.
Après deux années sur les zones rocheuses, (juillet 2004) l'érosion redémarre (4 à 24 t/ha). Par contre en Parcelle 5, mieux pourvue en sol, l'érosion reste faible pendant plus de 3 ans…En effet, le couvert des graminées nombreuses couvre le sol à plus de 80% dès la première année.
Cependant l'érosion du sentier creusé par les touristes dans le bas de la parcelle a ravivé le ruissellement et l'érosion en ravine : d'où une forte migration de sables.

**La turbidité** mesurée dans ces conditions est très modeste
Sous parcelle nue témoin, la turbidité varie de 250 à 450 mg/litre, vu la forte charge en pierres de la surface du sol (50%). Elle est encore plus faible sous paillis (T~60 mg/litre) soit 1/5 à 1/8 de la charge en suspension fine initiale qui menace la faune de la baie du Trésor. Là aussi le paillage a été très efficace.

## 3.4. Evaluation du ruissellement

Le volume ruisselé est estimé par différence de la hauteur d'eau dans les cuves (en mm) moins la hauteur de pluie (puisque les cuves ne sont pas couvertes), tant que le ruissellement n'a pas débordé .
Mais dès que la cote de 50 cm a été atteinte (sur l'une des trois mesures), on peut tenter d'estimer le ruissellement :
- soit à partir des terres de fond , en considérant que c'est le ruissellement qui déplace les

terres de fond ...Cependant, l'analyse des graphiques Ruis = f(Tdf) a montré que les liaisons sont très lâches, étant donnés les travaux de plantation et les délais probables entre le détachement et le transport des particules sableuses..

- soit à partir des graphiques Ruissellement = f(Pluie)

**Figure 1. Evaluation du ruissellement en fonction des pluies unitaires .**

```
RUISSELLEMENT
(1000 litres)              ------      -----    ----     -débordement de la cuve
        !                  /
        !                /
        !              /
        !            /
        !          /
        !        /
        !<------->/-----------------------------------------------------------
        Pluie
        d'imbibition                          hauteur pluie (mm)
```

* Si la pluie n'atteint pas la pluie d'imbibition, le ruissellement reste nul. C'est le cas pour des pluies variant de 5 mm en période pluvieuse (<1 jour sans pluie) à 11 mm en période sèche (>4 jours sans pluie).

* Lorsque la pluie dépasse ces valeurs, le ruissellement augmente régulièrement avec la hauteur de pluie et on peut calculer une régression Ruiss = f(Pluie)

* Enfin la cuve déborde, mais on peut raisonnablement estimer que le ruissellement continue sa croissance à peu près au même rythme.

**c/ Depuis 2002, on s'est appuyé sur les régressions Lame Ruis. = f (H pluie) pour chaque parcelle**

**LR1 = 18,89 X.-89.15 / 133,5 m²**
**LR2 = 19,15.X.-140,42 / 92,4 m²**
**LR3 = 20,80.X -90,28 / 83,0m²**
**LR4 = 17,33.X -146,77 / 88,7 m²**
**LR5 = 23,75.X -350 / 146,1 m²**

**Tableau 4 . Coefficient de ruissellement moyen annuel (Cram%) et coefficient de ruissellement maximum pour une forte averse (CrMax = % d'une averse) estimé en aval de chaque ravineau en 2001-04.**

| Ravineau | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 |
|---|---|---|---|---|---|
| Surface (m²) | 133.5 | 92.4 | 83.0 | 88.7 | 146.1m² |
| Cram 2001 | 32% | 15% | 20% | 14% | 4% |
| 2002 | 8 | 11 | 14 | 11 | 8 |
| 2003 | 10 | 16 | 20 | 14 | 8 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **2004** | **14** | **14** | **23** | **30** | **3** |
| **Crmax 2001** | **48%** | **16%** | **33%** | **20%** | **12%** |
| **2002** | **14** | **21** | **24** | **18** | **14** |
| **2003** | **14** | **20** | **23** | **21** | **14** |
| **2004** | **29** | **29** | **37** | **33** | **24** |

On remarque au tableau 4 que le coefficient de ruissellement annuel moyen varie beaucoup d'une année à l'autre en fonction de la répartition des pluies et des traitements.

---

Le ruissellement moyen varie de 11 à 32% sur ravineau naturel et de 3 à 14% lors qu'ils sont paillés. (gain d'infiltration de 60%) .

Le coefficient de ruissellement maximum pour une grosse averse varie de 20 à 48% sur ravineaux dénudés et de 12 à 23% s'ils sont paillés : même lors des fortes averses, le paillage permet de gagner 50% d'infiltration.
On peut s'attendre à des volumes considérables de ruissellement… et de ravinement sur les terrains à l'aval lors des tempêtes tropicales et des cyclones.

En 2001, la pluie d'imbibition a varié de 11 mm sur ravineau décapé lorsque l'averse tombe sur sol sec depuis plus de 4 jours, à 5 mm lorsque l'averse tombe sur un sol détrempé la veille. En 2002 , on n'a pas observé de ruissellement ni d'érosion significative pour des averses de moins de 30 mm tombant sur sol sec.
Le ruissellement ne commence donc qu'après avoir saturé certaines zones tassées peu perméables mais ne couvre pas l'ensemble de la surface, à peine 12 à 24% des ravineaux (théorie « Aires contributives saturées »: Cosandey & Robinson, 2000).

Le recouvrement de ces altérites décapées par une mince couche de litière n'arrête pas tout le ruissellement (Cr=4 à 8%), mais il le ralentit et bloque les transports solides : seules quelques particules fines en suspension traversent le tapis de résidus de cannes.
On peut comprendre qu'une litière déposée sur une couche de béton arrête l'érosion, mais pas le ruissellement, lequel sera retardé par la friction avec les fibres de bagasses. Si le ruissellement transporte peu de solide, par contre il est chargé en matières organiques et coloré en jaune thé. On aurait pu craindre que la bagasse soit emporté par les premières pluies sur ces pentes fortes et rocailleuses : il semble au contraire que ces matériaux fibreux se soient bien accrochés aux surfaces rocheuses ou pédologiques sur 40% de pente, mais cela pourrait arriver lors de cyclones où les vents jouent un grand rôle dans le déplacement des litières.

### 3.5. Développement de la végétation plantée

La hauteur et la surface couverte par la canopée des 121 arbustes plantés en 2001 ont été suivies jusqu'en novembre 2004.

***Ajouter les commentaires des 4 figures présentées à la table ronde…N.Vénumière…***

**Le nombre de plants morts est important dès la première année, diminue en année sèche pour croître bcp en 2004 année très humide. IL semble donc que les plantations souffrent au moins autant de l'excès de pluie que de la sécheresse. Si les cuvettes du Zaï captent le ruissellement durant les pluies et nourrit ainsi les jeunes plants, on ignore si le drainage est suffisant ou si**

**les racines ne souffrent pas d'engorgement.**
**L'année de l'épandage de la bagasse est aussi celle où on perd le plus de plants . On peut se demander si l'apport massif de bagasse n'a pas eu une influence négative sur la reprise et la croissance des plants arbustifs.**
**On commence à mieux connaître les espèces d'arbustes et de herbacées qu'il conviendrait de planter**
**++ Zikak, cassia, graminées**
**+ Gliricidia pousse très vite s'il trouve une fissure et une poche de terre**
**Poirier et …Courmaril ne semblent pas bien adapté à cette première phase : il faudrait trouver les graines de plantes bien adaptées (rampantes) et les semer généreusement sur les zones de sédimentation+ herbes + Bagasse pourrait fournir un tapis herbacé très efficace pour surveiller et orienter le mode d'exploitatu**
**Améliorer le drainage des eaux de surface par siphonage des eaux dans les cuvettes régionales**

## 4. Conclusions

Le PNRM a signé en mai 2001 une convention avec l'IRD pour lutter contre l'érosion, restaurer la végétation naturelle d'un versant décapé de la baie du Trésor et installer un sentier pédagogique sur la formation, la conservation et la restauration des couvertures pédologiques et forestières : les dispositifs de mesure sont en place depuis 2001 et les sentiers pédagogiques n'attendent plus que l'accord du conseil scientifique.

Cette étude, réalisée avec très peu de moyens, a exigé le développement de méthodes simplifiées pour mesurer l'érosion sur un versant : des pluviomètres cumulatifs, des pièges à sédiments et le suivi des états de surface du sol et de la croissance des végétaux.

Ce dispositif a permis de répondre à trois questions pratiques.
-Quels sont les risques d'érosion après le premier aménagement (mécanique) ?...(20 à 39 t/ha/an)
-Quelle est l'efficacité d'un paillage de bagasse de canne à sucre ? (totale pendant 2 à 3 années, ensuite il faut recommencer ou passer le relais à des plantes de couverture)
-Quelle est l'efficacité du Zaï et des apports de compost et NPK sur la restauration de la végétation arbustive ? Cette technique a nettement amélioré le recouvrement du terrain décapé , mais il faudra poursuivre cet aspect en tenant compte de nos observations (voir perspectives).
Ces essais ont confirmé d'une façon plus générale la grande efficacité d'un paillis (quelque soit sa nature) pour réduire le ruissellement (de 2/3 à ½) et l'érosion de (4/5 à 7/8), même lors d'événements pluvieux de plus de 200 mm en deux jours sur des pentes de plus de 40%..
La bagasse étant surabondante en Martinique, la matière première ne coûte rien. Par contre le transport d'un camion de la sucrerie du Gallion à la Réserve de la Caravelle a été évalué à 250 € et l'épandage à 7000 € à l'hectare. Rappelons qu'il y aurait l'équivalent de deux ha de pentes décapées à restaurer à la Caravelle …mais des milliers d'ha de cultures diverses à protéger lors de leur installation pour réduire la pollution observée lors des récentes averses qui ont inondé le François (12/11/04) et créé bien des dégâts des eaux, de glissements de

terrains, de ravinement et de pollution des bords de mer.

Le système de paillis a des effets positifs sur la restauration du sol et de la végétation à court et moyen terme. Mais il a aussi ses limites : durée de 2 à 4 ans en fonction de la vitesse d'altération des roches (ici 2 mm/an) et du pouvoir de régénération des sols (résilience) . (P5 meilleure résilience que les autres).

Le problème du dosage de la bagasse a été peu détaillé. Or un excès de MO peut entraîner la mort des jeunes plants par manque d'oxygène…Il vaut mieux prévoir deux petites doses réparties astucieusement dans le temps et dans l'espace, qu'une grosse dose la première année : elle minéralisera très vite et empêche la levée des graines stockées sur le sol.

Il reste à tirer les conclusions sur le choix des espèces végétales qui nous ont été imposées :
-le Zikak (planté) et le « cassia » (semis naturels) ont bien rempli leur fonction en s'étalant à la surface des sédiments ou dans les fissures de la roche pourrie et en piégeant les sables et les MO : on les retrouve en bon état sur toutes les parcelles ;
-les Poiriers et Courmaril à port dressé ont beaucoup de mal à survivre : ils sont facilement étouffés par la Cassythe (parasite végétal peu étudié= « vermicel ») et les autres herbacées. La majorité des plants sont morts ou stagnants..
-le Gliricidia a beaucoup de pieds morts, mais lorsque les boutures trouvent une fissure dans la roche pourrie ou une poche de sol, ils grandissent plus vite que les autres et produisent les plus longues perches (3,5 m). Cependant, du fait de leur port dressé et de leur couronne déséquilibrée, ils couvrent peu le sol mais favorisent l'installation d'un sous-étage de cassia et diverses herbes protectrices.
-il serait souhaitable de ne pas vouloir planter directement les arbres définitifs de la forêt voisine, mais bien un sous-étage temporaire de plantes rampantes
(Hipomaea, ou des légumineuses) qui accumuleront des sédiments, de la MO et minérale préparatoire à l'introduction des essences « nobles » définitives ;
-les graminées pérennes ne se sont développées que dans les poches de sédiments. Par contre en P5 un tapis de graminées annuelles ont profité du paillage de bagasse en 2001 pour envahir toute la surface et lancer une dynamique très positive du couvert végétal au point de nécessiter le désherbage autour des jeunes plants arbustifs…
-les Cassythes sont très envahissantes : ils participent à la protection du sol mais étouffent les jeunes arbustes : ils mériteraient une étude biologique de leur mode de reproduction(recherche de parasites naturels)et de leur extension sur le sommet des canopées (transportés par les oiseaux ?)

Se rappeler que les plantes ont non seulement besoin d'eau mais aussi de nutriments et de lumière. Il serait donc souhaitable d'associer dans un site (Zaï ou potet) bien préparé ( où la terre –roche a été travaillée et mélangée avec du compost /fumier et un apport NPK+ oligo-éléments) des espèces végétales rampantes et dressées complémentaires.

## Perspectives.

1. La convention entre le PNRM et l'IRD a pris fin en mai 2004. Elle a permis d'estimer les risques d'érosion, l'efficacité des techniques antiérosives du paillage avec la bagasse et de la restauration de la végétation par le Zaï enrichi de compost et d'engrais minéral.

2. Il serait souhaitable de prolonger jusqu'en juillet 2005 les mesures d'érosion pour tenter d'observer la fin de l'efficacité du paillage avec la bagasse. Il faudrait au moins relever la pluviosité, les suspensions et les terres de fond, une fois par mois en période peu agressive et après chaque événement important de plus de 70 mm.

3. Par la suite, il serait souhaitable de tester l'adaptabilité de diverses plantes face à l'aridité des périodes sèches, à l'engorgement en période humide, à l'acidité et la toxicité des métaux lourds. En même temps il serait possible de tester des associations de plantes capables de s'enraciner dans un milieu confiné amélioré (ex potet ou Zaï) et d'envahir les terrains incultes voisins.

Le problème de la dose d'engrais n'a pas été abordé : or un excès ou le placement trop proche peut brûler les racines et un manque de nutriments ne permet pas une croissance satisfaisante . Malgré tout l'apport de NPK a augmenté significativement le couvert végétal dans tous les ravineaux .

## 5. Liste des recommandations

## 6. Eléments de bibliographie


Colmet Daage E., 1988. Carte des sols de la Martinique au 1/20 000.

Cosandey Cl.& M Robinson, 2000. Hydrologie continentale.Edit. Armand Colin Paris , 360p.

Edouard J.A., Laune P., 1995. Réserve naturelle de la presqu'île de la Caravelle: entre terre et mer. PNRM, Min. Environnement et Fond Européen de développement régional.58 p.

France-Antilles 2002. « La Réserve de la Caravelle sous haute surveillance : le PNRM et l'IRD se sont alliés pour mesurer l'érosion sur versant et restaurer la végétation forestière. »

Khamsouk B., 2001. Impact de la culture bananière sur l'environnement. Influence des systèmes de culture bananière sur l'érosion, le bilan hydrique et les pertes en nutriments sur un sol volcanique en Martinique. Thèse ENSAT, Montpellier, 257 p.

Roose E., 1994. Introduction à la Gestion Conservatoire des Eaux et de la fertilité des Sols.(GCES). Bull.FAO des Sols , Rome, n° 70 , 428 p.

Roose E., 1996. Méthodes de mesure des états de surface du sol, de la rugosité et des autres caractéristiques qui peuvent aider au diagnostic de terrain des risques de ruissellement et d'érosion , en particulier sur les versants cultivés en montagne.
Bulletin Réseau Erosion, ORSTOM , Montpellier,16 : 87-97.

Roose E., 1999. La maîtise de l'érosion sur les pentes raides de la Réserve Naturelle de la Caravelle en Martinique. Rapport d'expertise. IRD-PNRM, Montpellier, 17 p.

Roose E., 2001. Erosion et restauration assistée de la végétation naturelle sur les versants dégradés de la Réserve de la Caravelle en Martinique : Convention PNRM-IRD. C. R de la première mission du 18 au 22 juin 2001. Rapport IRD Montpellier , 6 p.

Roose E., Brithmer R., Laune P., Venumière N., Louri J. et Rovela R., 2002. Expérimentation sur la LAE et la revégétalisation assistée d'un versant décapé du Parc Naturel Régional de la Caravelle en Martinique. Rapport 2 : Résultats de la première campagne 2001.Propositions d'amélioration du dispositif et des panneaux pédagogiques., Convention PNRM-IRD, Montpellier, 23 p.

# Annexe 1

## Mesure des hauteurs des arbustes plantés en cuvette
## en fonction de trois traitements : témoin, compost et compost +NPK.
## en septembre 2002

**<u>Mesure des hauteurs des arbustes plantés en cuvette</u>**
**en fonction de trois traitements : témoin, compost et compost +NPK.**
**en janvier 2003**

# Annexe 2. Terre de fond journalière à la Caravelle (t/ha) en 2002.

| Date | Pluie(mm) | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 9/4/02 | >100 | 6742 | 5498 | 10 458 | 8393 | 0 |
| 16/5/02 | 55 | 4884 | 5931 | 7205 | 9651 | 0 |
| 19/6/02 | 86 | 8045 | 7262 | 9313 | 13687 | 0 |
| mise en place de la bagasse vers le 15 juillet 2002 | | | | | | |
| 3/9/02 | 31 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 16/9/02 | 92 | 0 | 2987 | 0 | 0 | 0 |
| 6/11/02 | 100 | 0 | 76 | 0 | 0 | 0 |
| 20/11/02 | 31 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TOTAL AVANT | | 11626 | 11429 | 26976 | 31733 | 0 |
| Total après | | 0 | 3063 | 0 | 0 | 0 |
| Total annuel : 747 mm | | 11.6 | 14.5 | 27.0 | 31.7 | 0 |

# Annexe 3. Ruissellement évalué en 2002 en fonction des pluies.

## Cas 1 : les cuves n'ont pas débordé:

500 mm cuve = 1000 litres ; 1 mm de pluie sur 1m² = 1 litre --sur un ha==> 10 m3
soustraire la H de pluie en mm(1mm pluie = 1 litre/m²)
diviser par la surface de la parcelle impluvium ==>litres/m² = lame ruiss.en mm
diviser la LR en mm par la H pluie en mm ==> Coefficient de ruissellement (exprimé en CR%)

## Cas 2 : les cuves ont débordé :

Lame ruisselée = équation LR= f(Pluie)- Pluie d'imbibition voir schéma1

| | | |
|---|---|---|
| Pour R1 : | LR1 = 18;89 X -89.15 | $r^2$=0.683 |
| R2 : | LR2 = 19.15 X - 140.42 | $r^2$=0.858 |
| R3 : | LR3 = 20 80 X - 90.28 | $r^2$= 0.780 |
| R4 : | LR4 = 17.33 X - 146.77 | $r^2$= 0.684 |
| R5 : | LR5 = 23.75 X - 350 | $r^2$= 0.654 |

## Tableau .. Lame ruisselée (MM) et coefficient de ruissellement (en %)

| Date | P | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Surfaces ravins m² | | 133,5 | 92.4 | 83.0 | 88.7 | 146.1 |
| 9/4/02 | 100 | 14.15 | 20.73 | 23.97 | 17.88 | 13.86 |
| % | | 14% | 21% | 24% | 18% | 14% |
| 16/5/02 | 55 | 7.11 | 9.88 | 12,70 | 9.09 | 6.55 |
| % | | 13% | 18% | 23% | 17% | 12% |
| 19/6/02 | 86 | 11.50 | 16.30 | 20,46 | 15,15 | 11,58 |
| % | | 13% | 19% | 24% | 18% | 13% |
| 3/9/02 | 31 | 2,08 | 1,71 | 3,11 | 2.68 | 0.12 |
| % | | 7% | 6% | 10% | 9% | 0,4% |
| 16/9/02 | 92 | 12,35 | 17.55 | 21,97 | 16,32 | 12.56 |
| % | | 13% | 19% | 24% | 18% | 14% |
| 6/11/02 | 100 | 13,48 | 19.20 | 23,97 | 17.88 | 13,86 |
| % | | 13% | 19% | 24% | 18% | 14% |
| 20/11/02 | 31 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| % | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **TOTAL : 747mm** | | **60,67** | **85,37** | **106,18** | **79,00** | **58,53mm** |
| **CRAM%** | | **8.1%** | **11.4%** | **14.2%** | **10,6%** | **7.8%** |
| **Crmax %** | | **14%** | **21%** | **24%** | **18%** | **14%** |

Hcuve (en mm) -hpluie (en mm) = lame ruisselée de la parcelle x 10000/surface parcelle en m²

## Annexe 4. Terre de fond : rapport poids sec = f (poids humide)

| Poids humide ===> | Poids sec | Poids humide ===> | Poids sec |
|---|---|---|---|
| 10.6 | 0.1 kg | 19.0 | 15.2 kg |
| 10.8 | 0.5 | 19.2 | 15.6 |
| 11.0 | 0.9 | 19.4 | 16.0 |
| 11,2 | 1.2 | 19.6 | 16.3 |
| 11.4 | 1.6 | 19.8 | 16.7 |
| 11.6 | 1.9 | 20.0 | 17.0 |
| 11.8 | 2.3 | 20.2 | 17.4 |
| 12,0 | 2.6 | 20.4 | 17.8 |
| 12.2 | 3.0 | 20.6 | 18.1 |
| 12.4 | 3.4 | | |
| 12.6 | 3.7 | | |
| 12.8 | 4.1 | | |
| 13.0 | 4.4 | | |
| 13.2 | 4.8 | | |
| 13.4 | 5.2 | | |
| 13.6 | 5.5 | | |
| 13.8 | 5.9 | | |
| 14.0 | 6.2 | | |
| 14.2 | 6.6 | | |
| 14.4 | 6.9 | | |
| 14.6 | 7.3 | | |
| 14.8 | 7.7 | | |
| 15.0 | 8.0 | | |
| 15.2 | 8.4 | | |
| 15.4 | 8.8 | | |
| 15.6 | 9.1 | | |
| 15.8 | 9.5 | | |
| 16.0 | 9.8 | | |
| 16.2 | 10.2 | | |
| 16.4 | 10.5 | | |
| 16.6 | 10.9 | | |
| 16.8 | 11.3 | | |
| 17.0 | 11.6 | | |
| 17.2 | 12.0 | | |
| 17.4 | 12.3 | | |
| 17.6 | 12.7 | | |
| 17.8 | 13.1 | | |
| 18.0 | 13.4 | | |
| 18.2 | 13.8 | | |
| 18.4 | 14.1 | | |
| 18.6 | 14.5 | | |
| 18.8 | 14.9 | | |

# Annexe 5. Turbidités (mg/l)

| date | R1 | R2* | R3 | R4 | R5 |
|---|---|---|---|---|---|
| 3/1/02 | 286 | 498* | 375 | 364 | 099 |
| 8/1/02 | 397 | 91* | 217 | 335 | 64 |
| 9/4/02 | 163 | 179* | 199 | 292 | 142 |
| 16/4 | 306 | 230* | 163 | 393 | --- |
| 12/5/02 | 180 | 98* | 129 | 134 | 168 |
| 16/5/02 | 355 | 340* | 356 | 340 | 241 |
| 19/6 | 120 | 226* | 97 | 205 | 91 |
| ==========paillage | | | | | |
| 28/8 | 66 | 322* | 42 | 78 | 119 |
| 8/10 | 26 | 195* | 22 | 83 | 120 |
| 3/9?? | 332 | 805* | 221 | 256 | 423!!! |
| 16 ou 25/9 | 39 | 154* | 43 | 125 | 90 |
| 6/11 | 35 | 120* | 63 | 29 | 78 |
| 26/11 | 88 | 421* | 165 | 101 | 140 |
| Moyenne avant paillage | 258 | 237* | 229 | 295 | 134 |
| Moyenne après | 51 | 237* | 67 | 83 | 109 |
| médiane après | 39 | 230* | 53 | 83 | 120 |

* R2 est le témoin non paillé
R5 a été paillé fin juillet 2001 et les autres le 16/7 2002.

**Annexe 6 . Précipitations journalières (en mm) à la station Météo France de la Caravelle, Martinique : année 2002.**

## Annexe 7. Plan des parcelles d'érosion de la Caravelle