

## LISTE DES ABREVIATIONS

BIT : Bureau International du Travail  
BTP : Bâtiment et Travaux Publics  
BV : Bassin Versant  
°C : degré Celsius  
CIRAD : Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement  
CEMAGREF : Centre National du Machinisme Agricole, du Génie Rural, des Eaux et des Forêts  
CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique  
DAF : Direction de l'Agriculture et de la Forêt  
DOM : Département d'Outre Mer  
EER : Espace Européen de la Recherche  
EPIC : Etablissement Public à caractère Industriel et Commercial  
FAO : Food and Agriculture Organization  
G: gramme (unité de poids)  
GCRAI : Groupe Consultatif de la Recherche Agricole Internationale  
H : heure (unité de distance)  
Ha : hectare  
Hab. : habitant  
Hab./km<sup>2</sup> : indicateur de densité en habitants par kilomètre carré  
IEDOM : Institut Economique des Départements d'Outre Mer  
IFREMER : Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer  
INRA : Institut National de la Recherche Agronomique  
INSEE : Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques  
IRD : Institut de Recherche pour le Développement  
Km : kilomètre (unité de distance)  
Km<sup>2</sup> : kilomètre carré (unité de distance)  
Ksat : taux de saturation : taux d'infiltration  
M : mètre  
Mm : millimètre  
OCM : Organisation Commune de Marché  
OCMB : Organisation Commune des Marchés de la Banane  
ODEADOM : Office de Développement de l'Economie Agricole en Département Outre-mer  
ONG : Organisation Non Gouvernementale  
PIB : Produit Intérieur Brut  
PIBR : Produit Intérieur Brut Régional  
PME : Petites et Moyennes Entreprises  
PMI : Petites et Moyennes Industries  
RAD : Recherche Agricole pour le Développement  
RUP : Région Ultra Périphérique  
SAU : Surface Agricole Utile  
T : Tonne  
UE : Union Européenne

# SOMMAIRE

Remerciements.....	p 02
Résumés.....	p 03
Liste des abréviations.....	p 04
Sommaire.....	p 05
Introduction.....	p 08

## **PARTIE I : Présentation de l'environnement général du projet.....p 09**

<b>1. Milieu physique.....</b>	<b>p 09</b>
1.1. Situation géographique.....	p 09
1.1.1. Un archipel situé au cœur de l'arc antillais.....	p 09
1.1.2. Relief et hydrographie.....	p 10
1.2. Le climat.....	p 11
1.3. Milieux naturels composant la Guadeloupe.....	p 11
<b>2. Contexte historique de la Guadeloupe.....</b>	<b>p 12</b>
<b>3. Les caractéristiques humaines.....</b>	<b>p 14</b>
3.1. Un rythme de progression de la population qui se ralentit.....	p 14
3.2. Une répartition très inégale sur le territoire.....	p 14
3.3. Une société guadeloupéenne plurielle.....	p 14
<b>4. Le contexte économique.....</b>	<b>p 15</b>
4.1. L'agriculture.....	p 16
4.1.1. Présentation générale de l'agriculture.....	p 16
4.1.1.1. La filière banane guadeloupéenne.....	p 16
4.1.1.2. La filière canne-sucre.....	p 17
4.1.1.3. Le rhum.....	p 18
4.1.1.4. Les productions de diversification.....	p 18
4.1.1.5. L'élevage.....	p 18
4.1.2. Les principales faiblesses de l'agriculture guadeloupéenne.....	p 19
4.1.2.1. Des structures encore inadaptées.....	p 19
4.1.2.2. Une fragilité des filières traditionnelles.....	p 19
4.1.2.3. Un potentiel sous-exploité des filières de diversification ...	p 19
4.1.2.4. Des difficultés liées à la ressource en eau.....	p 20
4.1.3. Les orientations de la politique régionale agricole.....	p 20
4.2. La filière maritime.....	p 20
4.3. Industrie et artisanat.....	p 21
4.3.1. L'industrie.....	p 21
4.3.1.1. Les caractéristiques de l'industrie guadeloupéenne.....	p 21
4.3.1.2. Les perspectives de l'industrie guadeloupéenne.....	p 22
4.3.2. L'artisanat.....	p 22
4.4. Le tourisme.....	p 22
4.4.1. Présentation du tourisme.....	p 22
4.4.2. Politique régionale du tourisme.....	p 23
4.5. Le BTP.....	p 23
4.6. L'emploi et l'insertion.....	p 23

## **PARTIE II : PRESENTATION DU CIRAD.....p 25**

<b>1. Mission et stratégie du CIRAD.....</b>	<b>p 25</b>
<b>2. Organisation au sein du CIRAD.....</b>	<b>p 25</b>

<b>3. Partenariat.....</b>	<b>p 26</b>
<b>4. Le Cirad dans le monde.....</b>	<b>p 27</b>
<b>5. Le Cirad Guadeloupe.....</b>	<b>p 27</b>

**PARTIE III : L'ACTIVITE REALISEE PAR LE STAGIAIRE..... p 29**

**Introduction : Présentation du contexte de l'étude.....p 29**

**Préambule : Activité réalisée au sein du projet.....p 30**

**1. Quelques éléments bibliographiques concernant le projet.....p 32**

1.1. Les Andosols.....p 32

1.2. Infiltration, ruissellement et phénomènes érosifs en bananeraie.....p 32

1.2.1. Définition et principes de l'infiltration.....p 32

1.2.2. Le ruissellement et le transport de sol et de solutés en bananeraie...p 33

1.2.3. L'interception et la redistribution de l'eau par la canopée.....p 33

1.2.4. Etats de surface et sensibilité des sols à l'érosion.....p 34

**2. Présentation du Bassin Versant de Féfé : principales caractéristiques et arguments en faveur du choix de ce site.....p 35**

2.1. Rappel de l'objectif.....p 35

2.2. Définition d'un bassin versant.....p 35

2.3. Présentation de la zone d'étude.....p 35

2.3.1. Caractéristiques géomorphologiques du Bassin Versant.....p 35

2.3.2. Le climat.....p 36

2.3.3. Contexte géologique : les andosols.....p 37

2.3.4. Occupation du sol sur le bassin versant.....p 37

2.4. Arguments en faveur du choix du site de Féfé.....p 37

**3. Méthode et matériel utilisés.....p 38**

3.1. Protocole de mesure de l'infiltration par ordre chronologique des différentes opérations.....p 39

3.1.1. Choix et description du site.....p 39

3.1.2. Réalisation du profil d'humidité pondérale, humidité du sol.....p 41

3.1.3. Réalisation de l'infiltration.....p 42

3.1.3.1. Mise à saturation du site 24 heures au préalable.....p 42

3.1.3.2. Réalisation de l'infiltration.....p 43

3.1.4. Ressuyage.....p 44

3.1.5. Description du profil.....p 44

3.1.6. Mesure des densités apparentes sur cylindre.....p 46

3.1.7. Mesure des indices d'eau renseignés au potentiel.....p 46

3.1.8. Analyses physico-chimique.....p 50

3.2. Matériel utilisé.....p 50

**4. Analyse des résultats.....p 50**

4.1. La description par horizon.....p 51

4.2. L'analyse spatiale.....p 55

4.2.1. Réalisation de cartes.....p 55

4.2.2. Réalisation d'histogrammes.....p 56

4.2.3. Réalisation de tableaux de contingence.....p 58

4.3. Recherche des déterminants de l'infiltration.....p 59

4.3.1. Analyse par graphiques.....p 59

4.3.2. Analyse par la méthode des régressions linéaires.....p 61

**5. Conclusion de l'ensemble de l'étude.....p 62**

**Conclusion.....p 64**

**Bibliographie.....**p 65  
**Liste des illustrations.....**p 68  
**Table des annexes.....**p 70

## INTRODUCTION

Dans un contexte économique difficile dû aux nombreuses difficultés que traverse actuellement le secteur agricole en Guadeloupe, la filière banane est d'autant plus montrée du doigt en raison de ses pratiques culturales polluantes, non respectueuses de l'environnement et particulièrement préoccupantes en milieu souterrain.

En effet, la monoculture bananière pratiquée aux Antilles Françaises nécessite des quantités importantes d'engrais et de pesticides. Or, en climat tropical insulaire, la pluviosité est particulièrement agressive et élevée et le ruissellement ainsi que le drainage représentent alors des vecteurs de transfert solides / solubles.

Les répercussions éventuelles sur l'environnement sont d'autant plus grandes que les bananeraies sont situées à proximité des sources d'eau.

Cependant, peu d'études ont estimé jusqu'à présent l'importance des phénomènes de ruissellement, d'infiltration de l'eau dans le sol et de transfert des pesticides à l'échelle de la parcelle et du bassin versant.

Suite à la découverte, en 2000, de résidus de pesticides (utilisés en bananeraie) dans les captages d'eaux destinées à la consommation humaine, des études ont été entreprises par les organismes de recherche présents en Guadeloupe.

Ainsi, durant la même année, un projet initié par le CIRAD FLHOR avec la collaboration de l'INRA, prévu pour une durée de six ans, a vu le jour.

Il se propose dans un premier temps de quantifier et modéliser les transferts de produits phytosanitaires et d'azote utilisés en bananeraie et dans un second temps de proposer des solutions alternatives à l'utilisation quasi-systématique de ces produits.

Cette opération se situe à l'échelle du bassin versant de la rivière Pérou dans la zone de Capesterre. Ce bassin fut choisi en raison de sa position la plus en amont de cette rivière et de son alimentation permanente en eaux par plusieurs sources naturelles qui rendent alors possible l'étude de la contamination de la ravine par les eaux de ruissellement des bananeraies.

C'est dans ce contexte global que mon projet de stage est venu s'appuyer. Plus précisément, il s'agissait de déterminer, grâce à une approche terrain mais aussi pratique, la variabilité spatiale des processus d'écoulement sur un petit bassin versant au relief hétérogène et au milieu souterrain complexe. L'objectif étant de comprendre comment et à quelle vitesse les produits pesticides épandus en parcelle vont contaminer ce système hydrologique. Ainsi, nous nous sommes intéressés concrètement à la connaissance des déterminants du partage ruissellement / infiltration et les conséquences en terme de variabilité des infiltrations à l'échelle du bassin versant.

Après avoir restitué le cadre dans lequel ce projet s'est inscrit, il s'agira de présenter brièvement l'organisme de recherche qu'est le CIRAD afin de mieux cerner ses politiques d'action et enfin, mon projet de stage sera développé en dernière partie.

# **PARTIE I : Présentation de l'environnement général du projet**

## **1. Milieu physique**

### **1.1. Situation géographique**

1.1.1. Un archipel situé au cœur de l'arc antillais dans la Mer des Caraïbes

Située dans l'hémisphère Nord, entre l'Equateur et le Tropique du Cancer, baignée à l'Ouest par la mer des Caraïbes et à l'Est par l'Océan Atlantique, la Guadeloupe fait partie de l'Archipel des Antilles qui compte deux îles principales : Grande Terre et Basse Terre séparées par un étroit chenal, la Rivière Salée, et six autres îles : Les Saintes, Marie Galante, la Désirade, les îles de la Petite Terre, Saint Barthélemy et une partie de l'île Saint Martin (l'autre partie étant hollandaise).

La superficie totale de l'archipel est équivalente à 1780 km<sup>2</sup>.

Cette structure spatiale éclatée est l'une des principales originalités de la Guadeloupe. Les îles proches et lointaines rattachées à la Guadeloupe connaissent des difficultés particulières liées à leur situation de double insularité, par rapport à la métropole et par rapport à la « Guadeloupe continentale », ce qui entraîne un certain isolement.

La Guadeloupe se situe à une centaine de kilomètres de la Martinique, à 600 km du Venezuela, à un peu plus de 2000 km de la Floride et à 6700 km de la France hexagonale. La France dispose avec la Guadeloupe d'une zone économique exclusive de 100 000 km<sup>2</sup>.



**Carte 1** : Carte de la Guadeloupe (*Source : Encyclopedia, 2004*)

### 1.1.2. Relief et hydrographie

Du fait de sa situation d'archipel, la Guadeloupe présente des types de relief et des régimes hydrographiques variés. Globalement, l'archipel est formé d'îles volcaniques et d'îles calcaires d'origine récifale qui reposent sur un substratum volcanique ancien et qui présentent des reliefs émoussés.

D'une superficie de 590 km<sup>2</sup> et située au Nord Est, Grande Terre présente un paysage de plaines sèches dominées par des collines peu élevées et un sommet culminant à 177m au dessus du niveau de la mer. Le Sud et l'Ouest de la Grande Terre sont constitués par la plaine argileuse des Abymes où l'on retrouve par endroits des bornes calcaires. Cette plaine débouche sur la Basse Terre par une zone marécageuse recouverte d'une végétation tropicale nommée « Mangrove ».

Au Sud Ouest, Basse Terre (848 km<sup>2</sup>) est une île volcanique et montagneuse dont la partie centrale est restée largement inhabitée. Elle est dominée au Sud par le volcan de la Soufrière qui culmine à 1467m mais représente également un espace de végétation tropicale dense incluant le 7<sup>ème</sup> parc national français avec 17 300 ha de forêts.

Au centre de ce massif difficilement pénétrable, la traversée n'est possible qu'au col des Mamelles (585m).

Le réseau hydrographique est composé en grande partie de ravines à fortes pentes. La Guadeloupe a été surnommée « Karukera », l'île aux belles eaux, par ses premiers habitants, les Amérindiens du fait de l'existence de nombreuses chutes (Chutes des Carbets), de cascades (Cascade des Ecrevisses) et de rivières, en particulier à Basse-Terre. Les eaux souterraines de Grande-Terre constituent le principal aquifère de l'archipel guadeloupéen.

## 1.2. Le climat

La Guadeloupe bénéficie d'un climat tropical tempéré par les influences maritimes ainsi que les vents Alizés.

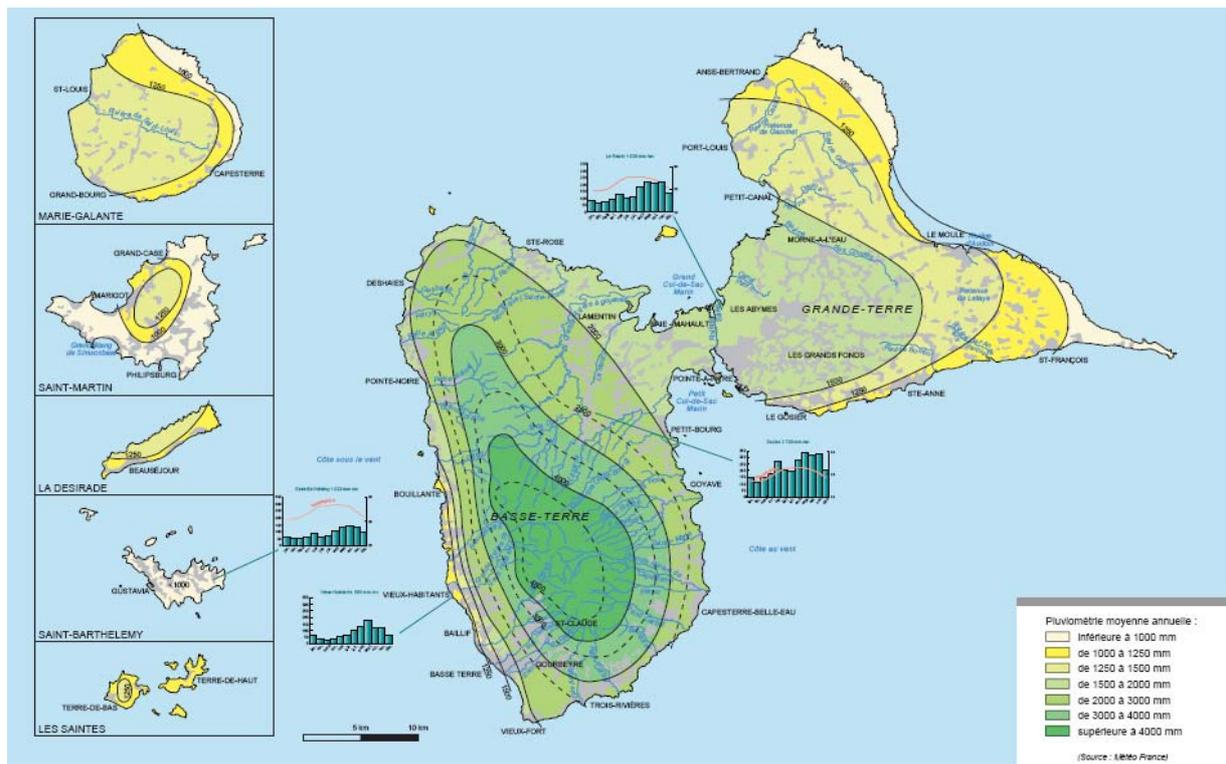
Généralement, la température de la mer des Caraïbes, ainsi que celle de l'Océan Atlantique est d'environ 27°C et culmine à 28/29°C l'été tandis que la température de l'air est approximativement équivalente à 27°C, pouvant parfois monter à 32°C.

Il existe deux saisons avec des transitions plus ou moins marquées :

- une saison sèche appelée Carême de Décembre à Mai.  
L'air est plus sec, les températures agréables et les averses sont peu fréquentes.
- une saison humide appelée « hivernage » de Juillet à Octobre.  
Les pluies sont très fréquentes et intenses. La saison des dépressions tropicales et des cyclones débute. Les cyclones peuvent se former sur l'Atlantique.

Cependant, la principale caractéristique de ce climat est son extrême variabilité dans le temps et dans l'espace en raison de la morphologie des îles, l'échelle et la fréquence des perturbations atmosphériques.

Ainsi, la Grande-Terre et les îles de l'archipel peuvent connaître de sévères sécheresses. Sur la Basse-Terre, le relief, perpendiculaire au flux des Alizés, régule le régime des pluies. La pluviométrie y varie de 1500 mm à plus de 4000 mm en altitude tandis qu'elle varie de 1100 mm à 1400 mm sur la Grande-Terre.

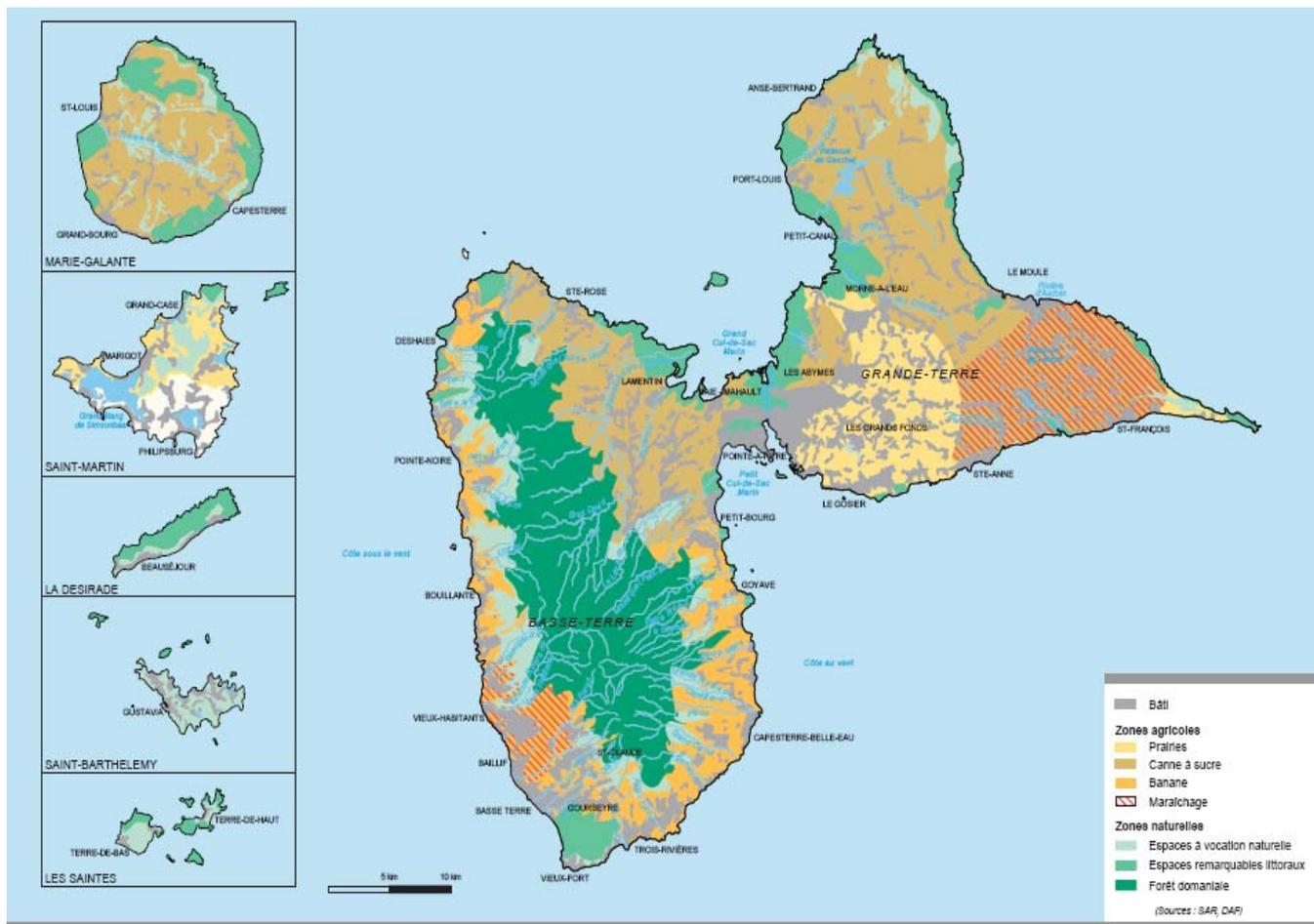


**Carte 2 :** Carte représentant la pluviométrie de la Guadeloupe (*Source : Météo France, 2004*)

### **1.3. Milieux naturels composant la Guadeloupe**

Les nuances climatiques conjuguées avec la diversité des sols (sols volcaniques récents, sols squelettiques, sols calcaires, sols marécageux, alluvions), des reliefs et des îles sont à l'origine d'une grande diversité d'écosystèmes caractéristiques de la Caraïbe mais propre également à l'archipel guadeloupéen. Celui-ci offre une très grande diversité de milieux naturels et de paysages qu'il est rare de trouver sur un espace insulaire aussi réduit.

- En altitude, au dessus de 1000-1100 mètres, où la température est en moyenne égale ou inférieure à 20°C, la pluviométrie de 8 à 10 m par an et la nébulosité quasi permanente, on trouve des savanes, des fourrés d'altitude, des tourbières composés d'une végétation particulière de broméliacées, d'ananas-montagne, etc.
- Entre 500 et 1000 mètres, on trouve une forêt primaire dense humide considérée comme remarquable (52 % de la surface boisée). Située dans le massif montagneux humide de Basse-Terre, cette forêt exubérante présente des espèces telles que le gommier blanc, des châtaignés, des palétuviers jaunes, des lianes, des fougères arborescentes, etc.
- En dessous de 500 mètres, les forêts sont sèches constituées d'essences héliophiles.
- La mangrove de mangles et palétuviers se développe sur 3000 ha sur les rivages du Grand et du Petit Cul-de-Sac Marin et dans certains estuaires.



**Carte 3** : Représentation de l'occupation du sol (zones agricoles et naturelles) de la Guadeloupe (*Source* : DAF, 2004).

## 2. Contexte historique de la Guadeloupe

L'histoire de la Guadeloupe est liée à celle des Antilles, donc à la colonisation européenne et à l'esclavage pratiqué durant trois siècles par les Espagnols, les Anglais, les Français et les Hollandais.

Au terme de son second voyage, en novembre 1493, Christophe Colomb aborda l'archipel de la Guadeloupe à la tête d'une imposante armada de 17 caravelles et de 1500 hommes. Après avoir découvert La Désirade, Colomb débarqua à l'île Marie-Galante, puis le lendemain à l'île de Karukéra (« île aux belles eaux », ancien nom attribué à la Guadeloupe par les Caraïbes, ancien peuple amérindien habitant l'île et décimé dans les vingt premières années de la colonisation française de la Guadeloupe) qu'il appela aussitôt Sainte-Marie-de-la-Guadeloupe, en hommage à un monastère de la province espagnole d'Estrémadure.

Au XVII<sup>e</sup> siècle, le cardinal de Richelieu autorisa la Compagnie des Isles d'Amérique à coloniser les Antilles. Le 28 juin 1635, deux Français, Liénard de L'Olive et Duplessis d'Ossoville, débarquèrent à la Guadeloupe et en prirent possession. Ils livrèrent aussitôt une guerre sans merci aux Caraïbes, qui dura 4 années. L'incessante guerre d'embuscade avec les

Français mais aussi la famine ainsi que les maladies décimèrent pratiquement la colonie indigène. Les survivants se réfugièrent à l'île Marie-Galante et aux Saintes.

De 1643 à 1664, Charles Houël fut nommé gouverneur de la Guadeloupe, fonda la ville de Basse-Terre et devint propriétaire de l'archipel. Il continua l'extermination des Caraïbes de Marie-Galante et des Saintes. C'est vers 1644 que se dessina la vocation économique de la Guadeloupe avec la culture de la canne à sucre. Cette culture nécessitant une importante main-d'œuvre, les Français importèrent des cargaisons d'esclaves noirs originaires d'Afrique. En 1656, le nombre d'esclaves avoisinait les 3000 pour une population totale de 15 000 habitants. Ce trafic d'esclaves durera près de 200 ans.

En 1664, la Guadeloupe passa sous la tutelle de la Compagnie des Indes Occidentales, mais finit par être rattachée au domaine royal en 1674 tout en étant soumise à la tutelle martiniquaise. Au cours du siècle suivant, se développe une économie basée sur le sucre et l'esclavage. En 1685, est proclamé le Code Noir, chargé de régir l'esclavage dans les colonies françaises en précisant les devoirs des maîtres et des esclaves. Le XVIII<sup>e</sup> siècle fut marqué par les rivalités franco-britanniques pour la conquête des îles caribéennes et qui modifièrent le caractère politique et économique de la Guadeloupe qui fut tantôt française, tantôt anglaise. C'est le traité de Paris de 1763 qui mit fin à la guerre des Sept Ans avec l'Angleterre (1756-1763) et restitua la Guadeloupe (et la Martinique) à la France.

En 1775, l'île obtint son autonomie vis à vis de la Martinique.

La période révolutionnaire sera, pour la Guadeloupe, une époque agitée : pour des raisons économiques, sous la pression des colons de la Martinique, et au mépris des populations, l'île est occupée en 1794 par les Anglais mais aussitôt reprise par l'énergique commissaire de la Convention, Victor Hugues, qui proclame l'abolition de l'esclavage. En 1802, le général Richepance vient, sur ordre de Bonaparte, rétablir l'esclavage et réprimer le soulèvement du chef de bataillon Delgrès. Par décret du 27 avril 1848, sur proposition de Victor Schoelcher, l'esclavage est définitivement aboli. Depuis 1871, sans interruption, la Guadeloupe est représentée au Parlement Français.

De plus, étant donné que la suppression de l'esclavage ne pouvait que nuire à l'économie de plantation de la Guadeloupe, le gouvernement français décida d'importer des immigrants indiens « libres » (les coolies) provenant des comptoirs de l'Inde. Réputés dociles, ils furent 45 000 « coolies » à venir travailler en Guadeloupe et en Martinique pour une durée de cinq ans. Beaucoup d'entre eux restèrent sur place à la fin de leur contrat, fondèrent une famille et devinrent bientôt des Guadeloupéens à part entière, tout en conservant leur religion et leurs habitudes culinaires, mais perdirent leur langue pour adopter le créole guadeloupéen.

Victor Schoelcher fut ensuite élu député de la Guadeloupe et de la Martinique, puis, en 1849, à l'Assemblée législative de la Seconde République. Il revendiqua également l'application du droit commun et de la départementalisation pour les quatre colonies (Martinique, Guadeloupe, Réunion et Guyane) mais il échoua. Les quatre colonies ne deviendront des départements qu'en 1946. Ainsi, l'archipel de la Guadeloupe devint un département français d'outre-mer (DOM). Ce nouveau statut apporta une certaine richesse économique, mais la situation sociale ne s'améliora que progressivement, à travers une succession de nombreux conflits sociaux.

Actuellement, le département de la Guadeloupe est représenté au Parlement Français par quatre députés et deux sénateurs, ainsi qu'un conseiller au Conseil économique et social.

### **3. Les caractéristiques humaines**

#### **3.1. Un rythme de progression de la population qui se ralentit**

En 2003, l'archipel guadeloupéen comptait près de 440 000 habitants, soit une augmentation de 4 500 habitants par rapport à l'année 2002 et depuis 1990, un taux d'accroissement démographique annuel établi à + 1 %. C'est deux fois moins qu'entre 1982 et 1990 mais la croissance naturelle reste très élevée (taux de natalité de 17‰) tandis que le solde migratoire est négatif du fait des départs des jeunes (- 0,3 % par an). La pyramide des âges a évolué ces dernières années : si la population reste encore jeune, elle tend à vieillir puisque les jeunes représentent 40% de la population en 2003 contre 45% en 1990.

#### **3.2. Une répartition très inégale sur le territoire**

La population est inégalement répartie dans l'archipel. En effet, la Guadeloupe continentale concentre 87,4% de la population, dont près des deux tiers habitent la Grande-Terre. La densité de population, en moyenne de 250 hab./km<sup>2</sup>, varie ainsi fortement d'une île à l'autre, allant de 547 hab./km<sup>2</sup> à Saint Martin à 80 hab./km<sup>2</sup> à Marie-Galante. Sur la Grande-Terre, l'île la plus peuplée, la densité est de 335 hab./km<sup>2</sup>.

Le schéma d'aménagement régional de la Guadeloupe identifie trois « bassins » principaux :

- Le « Bassin vert » (Basse-Terre), avec deux grandes zones, le nord Basse-Terre et le sud Basse-Terre, qui accueille le chef lieu politique et administratif de la région.
- Le « Bassin saléen » (Grande-Terre), avec trois zones : le pôle économique de Pointe-à-Pitre et des Abymes (134 000 hab. soit un tiers de la population totale), à forte concentration de population et d'activités économiques ; le pôle de la Riviera, au sud, à vocation touristique ; le Nord Grande-Terre, moins développé.
- Le « Bassin des îles » qui se décompose en deux sous-ensembles : les îles proches marquées par un certain déclin démographique et un faible développement économique (tourisme, pêche, activité sucrière et distilleries de rhum) et les îles éloignées du Nord.

#### **3.3. Une société guadeloupéenne plurielle**

La pluralité des origines ethniques est encore perceptible dans les îles de la Guadeloupe : Caraïbes, Normands, Bretons, Anglais, Africains, Espagnols, Indiens, ont marqué de leurs empreintes l'archipel guadeloupéen. La caractère archipélagique, les différences de développement et la diversité géographique ont conduit parfois à des replis sur soi et à des évolutions différenciées.

Aujourd'hui, la Guadeloupe est formée majoritairement de populations métis et noire (93%) (historiquement, descendants d'esclaves et, plus récemment, immigrants haïtiens et dominicains), suivies par des Indiens d'origine asiatique (4%) et des populations blanches (3%). Ces derniers se partagent entre, d'une part, les « Blancs Békés<sup>1</sup> » et, d'autre part, les « métropolitains » de France Hexagonale résidant, le plus souvent, temporairement en Guadeloupe. Les Békés ont conservé la suprématie du pouvoir économique et possèderaient près de la moitié des richesses de l'archipel. Les communautés libanaises et syriennes sont également présentes depuis plusieurs générations.

---

<sup>1</sup> Descendants des premiers colons français, très majoritaires à Saint Barthélemy

En dehors des « métropolitains », la majorité de la population parle le créole comme langue maternelle et le français comme langue seconde. Par contre, Saint-Martin a la particularité d'être l'une des îles les plus cosmopolites et les plus multilingues des Petites Antilles : avec 60% d'étrangers dans la population, il y a plus de 40 nationalités et diverses langues y sont représentées (français, créole, anglais, papiamentu, néerlandais, espagnol, etc.). L'anglais est devenu la langue véhiculaire.

Il existe certaines tensions entre les différentes communautés, des problèmes de sauvegarde et de valorisation des identités, notamment linguistiques. La communauté guadeloupéenne en France Hexagonale est estimée à 165 000 personnes.

#### **4. Le contexte économique**

Le produit intérieur brut régional (PIBR) est de l'ordre de 5 milliards d'euros, soit environ 12 000 euros par habitant. Ce revenu, vraisemblablement sous-évalué compte tenu de l'économie informelle (très présente en Guadeloupe), est inférieur de 44% à celui observé pour la France entière. En 1980, il était inférieur de 66% (IEDOM, 2002).

Sa richesse est essentiellement constituée des services et du commerce (79% de la valeur ajoutée totale de l'économie du département, contre 72% au niveau national), du fait de l'importance de l'administration et du développement du tourisme.

Le secteur agricole, lui, perd du poids tandis que l'industrie ne se développe guère.

Largement dépendante des transferts publics et des aides européennes, l'économie de la Guadeloupe reste une économie de consommation : si leur revenu moyen est inférieur à celui de la métropole, le taux d'épargne des ménages guadeloupéens se situe bien en dessous du niveau national.

Cette économie peu dynamique crée peu d'emplois, aussi le chômage et la précarité se développent davantage qu'en métropole. Ainsi, le taux de chômage estimé par le BIT se situe à 26,9%, même s'il convient de pondérer ce chiffre par le poids des activités non déclarées, qui occupent une place non négligeable. De même, malgré un niveau de vie plus élevé que celui de certaines îles de la Caraïbe, un guadeloupéen sur six vit en dessous du seuil de pauvreté, soit 68 500 personnes. Les plus touchés sont les femmes et les jeunes de moins de 30 ans.

Ainsi, le malaise social s'accroît en Guadeloupe ce qui se traduit, notamment, par la fréquence des conflits sociaux, qui touchent de plus en plus de secteurs. De nouveaux problèmes sont apparus comme la délinquance, l'insécurité et la drogue qui résultent en partie de ce malaise et de l'exclusion d'une fraction de la population.

Les différences structurelles avec le reste de la zone euro sont à l'origine d'une intervention de l'Union Européenne, à la Guadeloupe comme des autres RUP (autres DOM, Açores, Madère et Canaries), au travers des fonds structurels.

Le département relève des mêmes lois que la métropole mais bénéficie de dispositions particulières, notamment fiscales (permettant de protéger les produits locaux là ou ailleurs dans l'Union Européenne, la règle consiste justement à supprimer les droits de douane afin de favoriser la concurrence), qu'il conserve dans le cadre de l'Union Européenne en tant que région ultra périphérique (RUP).

La Guadeloupe rencontre dans son économie plusieurs handicaps dus à son statut de RUP :

- Son éloignement et son isolement augmentent le coût des transports et donc des importations et exportations et limitent l'accès au marché européen et aux services publics,
- Sa petite taille et sa faible population ne lui permettent pas d'avoir un bassin de consommation suffisant pour soutenir sa production locale,
- Ses ressources naturelles limitées et sa dépendance à un petit nombre de produits (banane, canne à sucre, tourisme) permettent de comprendre pourquoi les RUP font partie des 10 régions les plus pauvres de l'UE avec un PIB égal à 60% du PIB européen moyen et un taux de chômage avoisinant les 30%.

Même si l'île dispose de nombreux atouts, elle rencontre plusieurs difficultés économiques, notamment :

- Un déséquilibre des échanges aussi bien avec la métropole qu'avec l'étranger, se traduisant par un déficit important de la balance commerciale de plus d'1,5 milliard d'euros.
- Une architecture économique fondée essentiellement sur deux piliers : le tourisme, secteur à fort potentiel de développement (sa contribution à l'économie de l'île est évalué à 11%), et l'agriculture.

	Guadeloupe		France
	1999	2000	2000
Valeur ajoutée brute totale	4 923	5 177	1 252 766
Agriculture et pêche (en %)	4,1	4,1	2,8
Industrie (en %)	6,8	6,5	20,9
Construction (en %)	9,1	8,7	4,5
Tertiaire marchand (en %)	50,6	49,8	51,6
Services administrés (en %)	29,4	30,9	20,1

**Tableau 1** : Tableau des valeurs ajoutées brutes par secteur (*Source* : INSEE, 2004)

#### **4.1. L'agriculture**

##### 4.1.1. Présentation générale de l'agriculture

Le climat, les sols fertiles et l'absence de minerais ont conféré à la Guadeloupe sa vocation agricole que l'époque coloniale a voulu d'abord sucrière, voire caféière.

L'agriculture guadeloupéenne, employant 7% de la population active, repose sur deux productions : la banane et la canne à sucre.

##### 4.1.1.1. La filière banane guadeloupéenne

La banane, premier produit d'exportation en volume depuis de nombreuses années, demeure un des piliers de l'économie agricole locale.

Cette filière est aussi la principale source d'emplois (12 000 emplois directs et indirects) et de revenus agricoles du département, mais qui parvient à peine à maintenir un potentiel de production (120 000 à 140 000 T sur près de 6 000 ha) proche du quota offert par l'Organisation Commune de Marché (OCM) (150 000 T).

La protection des planteurs qui devrait résulter de la nouvelle OCM nécessite le maintien de l'aide aux investissements afin de rendre compétitive la banane guadeloupéenne, en particulier sur des créneaux de qualité et de valorisation de l'origine.

<b>Exportation de bananes</b>	<b>2003</b>
Quantités (tonnes)	87 966
Valeur (1000 euros)	40 483

**Tableau 2** : Mise en évidence des exportations de banane en quantités et en valeur  
(Source : Douanes CERDOC, 2003)

Après avoir connu une forte baisse du niveau de ses prix en 2002, le secteur de la banane guadeloupéenne connaît de nouvelles difficultés en 2003.

Avec 88 000 T, les exportations de banane chutent de 10% par rapport à l'année 2002. La baisse est moindre pour les expéditions de la variété Extra (-6,3%) qui représente 86% des exports contre 83% en 2002. Malgré cette baisse, les exportations se situent à leur niveau moyen depuis 15 ans mais bien en dessous du quota de 150 000 T. Le sur-approvisionnement du marché européen par la banane dollar explique les difficultés que connaissent les producteurs antillais.

La filière banane rencontre de grandes difficultés : niveau d'endettement élevé des planteurs, tendance à la disparition des petites exploitations, fin programmée des quotas et tarifs préférentiels, maîtrise technique inégale, fortes craintes environnementales liées aux pesticides et engrais (utilisés en grande quantité), pollutions des eaux de captage de plus en plus médiatisées, successions monoculturelles, ... Non seulement ces difficultés posent des problèmes au niveau de l'insertion de l'agriculture dans la société, mais de plus en plus, associées à des rendements très moyens (18 à 20 T/ha pour un potentiel de 50 à 60 T/ha) elles limitent fortement la viabilité économique et la transmissibilité des exploitations (Dulcite, Cattan, 2002).

Les prix aux producteurs sont en baisse : 0,38 €/kg en 2001 contre 0,30 €/kg en 2002, ils s'élèvent à 0,25 €/kg. L'aide directe est également en baisse, passant de 33,8 millions en 2002 à 30 millions en 2003. Face à l'ensemble de ces résultats, les producteurs de bananes se retrouvent dans des situations financières compliquées, une cinquantaine ayant arrêté leur production en 2003.

#### 4.1.1.2. La filière canne-sucre

La canne à sucre se maintient sur une superficie de 14 300 ha et concerne presque 5000 planteurs, soit 15 000 emplois directs ou indirects, produisant 572 310 tonnes en 2003, dont près de 95% destinées aux deux unités sucrières issues de la restructuration industrielle. Elle demeure la production la mieux adaptée aux conditions locales (sécheresse, cyclones) et offre les meilleures garanties de revenus et de débouchés. Elle contribue au maintien des espaces ouverts verts qui font partie du patrimoine de la Guadeloupe.

Cependant, on note un déclin continu depuis 1970 de la filière canne-sucre en raison de multiples raisons telles qu'une forte diminution des surfaces cultivées, une urbanisation des terres agricoles, une atomisation des exploitations, de mauvaises conditions climatiques, un vieillissement des planteurs, un manque d'encadrement et d'améliorations techniques, une irrigation insuffisante, ...

<b>Industrie Cannes</b>	<b>2002</b>	<b>2002</b>	<b>Variation sur un an</b>
Cannes manipulées	657 767	572 310	- 13,0 %
Production de sucre	51 726	63 555	22,9 %
Rendement industriel	7,8 %	11,1 %	3,3 %

**Tableau 3** : Résultats de la filière canne-sucre pour deux années consécutives  
(Source : Douanes, IEDOM, 2003)

#### 4.1.1.3. Le rhum

Le rhum est le troisième spiritueux consommé dans le monde (11% du marché) et le cinquième en Europe (7% du marché). La filière canne-sucre-rhum constitue un pôle d'activités traditionnelles dans les DOM. Le rhum fournit l'élément de valorisation à l'ensemble de l'activité cannière et lui permet d'atteindre la rentabilité, mais dans un contexte de soutiens publics, soit d'ordre financier (subventions et exonérations), soit d'ordre législatif ou réglementaire.

Le principal débouché de la production locale reste la métropole.

Afin d'être compétitif face aux rhums importés des pays tiers, le rhum traditionnel vendu dans l'hexagone sous contingent bénéficie d'une protection fiscale. Les rhums des DOM ne paient le droit d'accise qu'à un taux minoré dans la limite d'un contingent. Le système de contingentement permet la régulation du marché grâce à des débloques par tranches successives sur l'année, en fonction des besoins du marché. Pour les producteurs de rhum, ce système constitue un véritable outil de régulation du marché.

#### 4.1.1.4. Les productions de diversification

Les productions végétales autres que la banane et la canne représentent près de 40% de la valeur de la production agricole. Essentiellement destinées au marché local dont elles ne couvrent pourtant qu'une partie des besoins, elles doivent accomplir des efforts importants en qualité et en régularité de l'offre.

Le melon (troisième produit agricole exporté, 550 T commercialisées dont 62% sont dirigés vers l'exportation et récoltées sur 410 ha en 2003) et les productions florales sont les seuls produits de diversification ayant pu conquérir des débouchés à l'exportation.

#### 4.1.1.5. L'élevage

L'élevage connaît une crise profonde, à l'exception du secteur des œufs, avec l'échec des organisations de producteurs et la situation des abattoirs dont la modernisation a pris du retard. Pour autant, la consommation locale offre un potentiel important pour des produits frais de qualité.

Deux formes d'élevage sont pratiquées dans l'île : un élevage traditionnel de type familial (bovins, cabris, porcs, volailles) et une production semi-industrielle (porcs, volailles et poules pondeuses).

En ce qui concerne le cheptel, le troupeau bovin se situe au premier rang avec 90 000 têtes dont 25 000 sont élevées hors exploitation agricoles. Vient ensuite le troupeau caprin qui connaît un certain essor avec 47 000 têtes (dont près de 14 000 estimés hors exploitation). Le troupeau porcin arrive à près de 30 000 porcs et le troupeau ovin se situe en dessous des 4 000 têtes.

L'élevage des volailles connaît un certain essor avec 484 000 têtes. Les professionnels de la volaille s'organisent pour faire face à la concurrence des produits d'importation et répondent à 60% de la demande locale en œufs de consommation. L'émergence d'organisation d'éleveurs rend envisageable une relance de ce secteur qui dispose de possibilités réelles de conquête de part de marché local.

#### 4.1.2. Les principales faiblesses de l'agriculture guadeloupéenne

##### 4.1.2.1. Des structures encore inadaptées

Les superficies agricoles utilisées régressent et se stabilisent autour de 41 600 ha contre 46 740 en 1989. Les terres agricoles abandonnées sont parfois rapidement gagnées par l'urbanisation.

La main d'œuvre des exploitations agricoles ne cesse de diminuer, cette baisse affectant toutes les catégories (exploitants, salariés,...). Plus d'un tiers des exploitants sont pluriactifs, et le nombre d'installations de jeunes reste faible (25 à 30 par an).

Les exploitations sont « atomisées » : la taille moyenne des exploitations est de 3,4 ha, 71% des exploitations ont une taille située entre 1 et 9 ha, et elles représentent en tout 64% de la Surface Agricole Utile (SAU). On dénombre moins de 1000 comptabilités tenues régulièrement. La faible taille des exploitations limite les possibilités de rotation culturale ou de diversification des produits.

Les investissements sont le plus souvent financés par la trésorerie, et les structures économiques demeurent fragiles. Dans le secteur bananier, par exemple, l'endettement des producteurs pose problème et est l'objet d'aides spécifiques (Banadif).

##### 4.1.2.2. Une fragilité des filières traditionnelles

Parallèlement aux grandes difficultés que peuvent connaître les filières banane et canne à sucre, les phénomènes climatique de cette dernière décennie ne les ont pas épargné, avec notamment des sécheresses et des cyclones qui se sont succédés avec un impact plus ou moins fort. Ainsi, nous constatons qu'entre 1989 et 2003, les soles bananières et cannière ont diminué respectivement de 32 et 16%.

Cependant, malgré ces problèmes existant, la canne à sucre et la banane demeurent les deux piliers de l'économie agricole du département, et leurs marges de progression en terme de productivité restent importantes.

##### 4.1.2.3. Un potentiel sous-exploité des filières de diversification

L'élevage, à l'exception du secteur avicole, est en situation de crise profonde en raison de l'échec des organisations de producteurs et la situation des abattoirs dont la modernisation a pris du retard.

Le développement des cultures de diversification est entravé par l'âge relativement élevé des agriculteurs (l'âge moyen des chefs d'exploitation est de 51 ans, et les plus de 60 ans représentent 29% des exploitants), le faible degré d'organisation des filières, l'absence d'encadrement technique, de fortes contraintes climatiques et sanitaires, des coûts de production élevés et un marché local exigu (les filières subissent de plein fouet la concurrence des pays de la Caraïbe et de l'Europe).

Le secteur de la transformation utilise quant à lui peu de produits issus de l'agriculture locale, en raison de prix élevés par rapport à la concurrence extérieure et d'une offre faible.

#### 4.1.2.4. Des difficultés liées à la ressource en eau

Les niveaux actuels des équipements d'irrigation freinent les possibilités de développement de nouvelles cultures de diversification.

Les principales cultures irriguées sont en premier lieu la canne (1 724 ha), puis la banane (1377 ha) et les prairies naturelles (1 029 ha).

#### 4.1.3. Les orientations de la politique régionale agricole

➤ **Améliorer et aménager le potentiel foncier agricole**

Ceci par des actions foncières destinées à accroître la superficie des exploitations et à faciliter l'installation de jeunes agriculteurs.

➤ **Développer une économie de l'entreprise rurale et de l'exploitation agricole**

Il s'agit d'améliorer l'efficacité des structures agricoles (aides à l'équipement pour les agriculteurs installés, aides à l'installation des jeunes agriculteurs (prêts bonifiés,...)).

➤ **Former les agriculteurs et soutenir la gestion des exploitations**

Il s'agit de favoriser la formation professionnelle des agriculteurs, appliquée à un projet d'installation, de modernisation ou de diversification ainsi que le soutien à la gestion des exploitations et la mise en place d'outils de coordination, de connaissance et de contrôle de l'économie agricole.

➤ **Le conditionnement et la transformation de produits agricoles**

Il s'agit d'aider les investissements concernant les actions suivantes :

- mise aux normes européennes d'abattoirs privés
- unités de fabrication de jus de fruits
- unités de transformation de fruits et légumes
- unités d'extraction de farine de tubercules produites localement
- ..etc.

## 4.2. La filière maritime

Cette filière est progression avec ses deux activités phares : la pêche, une activité traditionnelle et l'aquaculture, une activité prometteuse.

La pêche est une activité économique qui conserve des marges encore importantes puisqu'elle fournit seulement 60% de la consommation locale. Le secteur est en pleine mutation (modernisation, restructuration, organisation de la commercialisation, etc.).

La flottille est majoritairement composée de petites unités et les techniques de pêche ont peu évolué depuis leur introduction en Guadeloupe. Situation pouvant paraître paradoxale pour une île dont la consommation moyenne par habitant (environ 33 kg) se situe parmi les plus fortes du monde mais les différentes tentatives de structuration de la filière se heurtent aux habitudes des pêcheurs et à une commercialisation inadaptée aux circuits modernes de distribution.

La structuration de la filière s'avère difficile en raison notamment du poids important des pêcheurs clandestins. Cette concurrence déloyale est source de conflits à l'intérieur de la profession et nuit à l'organisation et au professionnalisme du secteur.

La production locale est relativement stable, elle est estimée à 10 000 tonnes, dont plus de 94% de poissons, et ne couvre que les deux-tiers de la consommation locale.

L'offre locale est partiellement concurrencée par les importations de produits congelés. La Guadeloupe importe une grande quantité de poissons (5 000 tonnes par an) d'Europe, du Venezuela, de Guyane ainsi que des îles voisines de la Caraïbe.

Dans un contexte où les zones de pêche sont limitées et où la ressource en poisson de fond se raréfie, les perspectives pour les années à venir sont liées aux possibilités d'accès à la ressource des Etats voisins. Des négociations doivent avoir lieu afin de délimiter des frontières maritimes et de conclure des accords de pêche.

L'avenir de la filière pêche passe par l'organisation de la commercialisation, la poursuite de la modernisation des équipements, ainsi que la protection et le développement de l'espace maritime.

De plus, l'aquaculture, activité encore jeune, se développera de plus en plus, parallèlement à la pêche régionale. Elle contribue à l'effort de développement durable et économique engagé dans cette région.

### **4.3. Industrie et artisanat**

#### 4.3.1. L'industrie

Les notions « d'entreprise industrielle » et « d'entreprise artisanale » sont difficiles à cerner en Guadeloupe.

Selon les travaux de l'INSEE, la Guadeloupe dénombrerait 405 entreprises industrielles (hors BTP) et entre 11 000 et 13 142 entreprises artisanales.

Sur un marché exigu mais diversifié, de plus en plus exigeant en terme de qualité et de performances, l'industrie guadeloupéenne s'est développée et modernisée en particulier grâce à la loi de défiscalisation et à la création de zones franches portuaires comme celle de Jarry. La Guadeloupe bénéficie d'une position privilégiée, mais malheureusement insuffisamment exploitée, pour jouer le rôle de plate-forme d'échanges entre les Amériques, la Caraïbe et l'Europe.

Bien que perturbée par des conflits sociaux en 2000, le secteur industriel a globalement connu une tendance à la hausse de son niveau d'activité.

Selon l'INSEE, l'industrie guadeloupéenne, hors construction, compte près de 44 entreprises dont 22% ont plus de 19 salariés. Les entreprises industrielles de la Guadeloupe sont relativement peu endettées. Leur taux d'endettement s'établissait en 2000 à 16,2% contre 38,8% pour les PME industrielles de métropole. En revanche, la part des crédits bancaires courants dans les endettements financiers reste importante : 30,5%.

##### 4.3.1.1. Les caractéristiques de l'industrie guadeloupéenne

Les entreprises industrielles de la Guadeloupe sont de création récente, même dans les branches traditionnelles telles que le sucre et le rhum. De ce fait, il s'agit d'un secteur atomisé. Bien qu'il existe quelques filiales de groupes métropolitains, leur capital est détenu majoritairement par des investisseurs locaux. En nombre d'entreprises, le secteur de l'industrie des biens de consommation reste la principale composante de l'industrie guadeloupéenne.

Le site de Jarry, sur la commune de Baie-Mahault, est la principale zone d'activité industrielle. Elle concentre la plupart des activités présentes en Guadeloupe. Son expansion s'est faite de manière plus ou moins bien maîtrisée, comme en témoigne l'état des infrastructures. En raison du risque de saturation et dans un souci de rééquilibrage, de nouvelles zones d'activité à vocation industrielle, au moins partielles, ont vu le jour.

L'industrie locale bénéficie de l'appui de plusieurs organismes de fonds régionaux, nationaux et européens.

#### 4.3.1.2. Les perspectives de l'industrie guadeloupéenne

En dépit du coût relativement élevé de la main-d'œuvre, la Guadeloupe offre aux investisseurs des avantages concurrentiels sur les autres pays de la Caraïbe en matière de qualité et de technicité.

Les PMI sont appelées à participer à l'évolution de la Guadeloupe vers une image plus moderne et plus respectueuse de l'environnement. Sa vocation touristique conduit à privilégier les activités nouvelles à faible impact paysager, peu consommatrices d'espaces et non polluantes.

#### 4.3.2. L'artisanat

L'artisanat constitue un secteur d'activité important et dynamique dans l'économie guadeloupéenne. Il représente environ une entreprise sur trois. L'entreprise artisanale guadeloupéenne demeure encore une structure fragile par sa taille mais également par le manque de formation des artisans. En effet, certaines personnes à la recherche d'un emploi, créent leur entreprise sans réelles compétences ni connaissances du marché.

La densité artisanale est estimée à 25,6 artisans pour 1 000 habitants.

Le secteur demeure encore très marqué par la prépondérance du bâtiment qui rassemble 37% des entreprises artisanales guadeloupéennes.

### 4.4. Le tourisme

#### 4.4.1. Présentation du tourisme

Le tourisme est un secteur d'activité jeune dont le développement a commencé il y a une vingtaine d'années. Depuis 1986, il a connu un net regain d'activité lié à la baisse des tarifs aériens mais aussi à l'expansion du parc d'hébergement, grâce à la défiscalisation.

Appréciés sur les dix dernières années, les indicateurs de résultat de l'activité touristique en Guadeloupe, en termes d'accroissement du nombre de touristes et de croisiéristes accueillis, d'augmentation et de diversification des capacités d'hébergement et de produits, de créations d'activités et d'emplois supplémentaires, sont à la fois contestables et positifs. En 2000, le nombre de visiteurs s'est élevé à 700 000 personnes, auxquelles s'ajoutent les 457 000 touristes de croisière. La fréquentation a progressé de 140% en 12 ans.

Le secteur est devenu essentiel à l'équilibre de l'économie locale en termes de valeur ajoutée et de création d'emplois. Le chiffre d'affaires serait d'environ 430 millions d'euros en 2000.

La capacité hôtelière a fortement progressé depuis 11 ans (+ 80%), toutefois, en 2000, malgré deux ouvertures, la capacité d'accueil des hôtels a largement diminué tandis que les gîtes et les chambres d'hôtes connaissent un développement raide et continu (la demande est forte du côté de la clientèle familiale et des amateurs du tourisme vert).

A ces touristes de séjour, il convient d'ajouter les croisiéristes qui ont choisi la Guadeloupe pour la qualité de ses infrastructures portuaires et aéroportuaires, pour la diversité de ses escales, pour ses équipements sanitaires et hospitaliers ou pour son réseau

routier. Conscients de ce potentiel, les différents intervenants financiers ont multiplié les projets d'investissement ces dernières années.

<b>Fréquentation touristique</b>	<b>1999</b>	<b>2000</b>	<b>Variation 1999/2000</b>
Touristes de séjour	692 280	700 000	+ 7720
Touristes de croisière	456 853	457 000	+ 147

**Tableau 4 :** Comparaison de la fréquentation touristique en Guadeloupe pour deux années consécutives (*Source : Délégation Régionale du Tourisme, 2001*)

Provenance des touristes de séjour en 2000 :

- Métropole : 83,3%
- Europe (hors Métropole) : 10,8%
- USA : 3,4%
- Canada : 1,5 %
- Amérique du Sud : 0,4%
- Reste du monde : 0,6%

4.4.2. Politique régionale du tourisme

L'activité touristique est le premier secteur économique de la Guadeloupe. C'est sans conteste une activité, pour demain, porteuse de richesses et créatrice d'emplois. La politique régionale du tourisme se définit à travers 4 axes principaux :

- **L'accompagnement des organismes de promotion et d'animation touristique** (offices du tourisme et syndicats d'initiative).
- **La modernisation de l'industrie hôtelière** permettant à la Guadeloupe de disposer désormais d'un parc d'hébergements plus diversifié et compétitif afin de faire face à la concurrence des autres îles de la Caraïbe.
- **Le soutien à l'aménagement et au développement de l'offre de produits touristiques** par un soutien à l'investissement pour favoriser le développement d'un tourisme durable et intégré.
- **La promotion externe de la destination de la Guadeloupe** grâce à la restructuration de l'Office du Tourisme afin de lui permettre de continuer sa mission de promoteur sur les différents marchés, et de renforcer, ainsi, la notoriété de la destination Guadeloupe à l'étranger.

**4.5. Le BTP**

Le secteur du Bâtiment et des Travaux Publics, troisième secteur d'activité en terme d'effectifs (après les services marchands et le commerce), essentiellement composé d'une multitude de petites entreprises et de quelques sociétés de taille importante, affronte depuis sept ans une conjoncture difficile imputable à la baisse des commandes publiques et à des retards de paiement des collectivités locales qui entraînent des besoins énormes de trésorerie.

**4.6. L'emploi et l'insertion**

En juin 2003, sur la Guadeloupe continentale et Marie-Galante, l'INSEE estime le nombre d'actifs (salariés, non salariés, chômeurs) à environ 163 716 personnes, soit 45% de la population, dont 47% de femmes.

Selon les données d'Eurostat de 2000, la population active se situe majoritairement dans le secteur des services (81,8%). L'industrie ne concerne que 14,6% de l'emploi salarié et l'agriculture, 3,6%. La fonction publique (au sens large) reste le principal employeur en Guadeloupe.

Même si le taux de chômage reste élevé, on note une amélioration de la situation de l'emploi qui permet d'illustrer la reprise économique qui s'est dessinée en Guadeloupe au cours de l'année 2000. 6 413 demandeurs d'emploi en moins ont été recensés par rapport à 1999, contribuant ainsi à l'inflexion de la courbe ascendante du chômage depuis quelques années. Cependant, le travail informel constitue un frein au développement de la lutte contre le chômage et l'exclusion.

L'économie guadeloupéenne a su passer d'une économie de monoculture à une économie plus diversifiée comportant plusieurs points forts tels que l'agriculture, le tourisme, les services. Elle s'appuie sur des infrastructures routières, portuaires et aéroportuaires de qualité.

Nous pouvons affirmer que trois phénomènes marquants ont accompagné la croissance Guadeloupéenne sur la dernière décennie. Le premier est la salarisation de plus en plus forte des revenus. Le second est l'allongement des circuits économiques signe de modernisation qui a accompagné l'expansion économique. Enfin la croissance doit être rapprochée à des gains de productivité appréciable (environ 20% sur la décennie), (*INSEE, 2004*).

L'activité économique souffre néanmoins de certains handicaps, liés à son histoire et à sa géographie, en particulier à l'étroitesse du marché local ainsi qu'à l'insularité.

Dans le court terme, la Guadeloupe doit consolider les forces existantes par la relance de la compétitivité et de la productivité dans le secteur industriel de la transformation, le tourisme et l'agriculture en cherchant à acquérir un statut d'autosuffisance alimentaire pour sa population locale.

De plus, le logement reste avec l'emploi une priorité pour la Guadeloupe où les problèmes de l'habitat se posent en termes de pénurie, de précarité et d'insalubrité. En effet, la croissance démographique est trois fois supérieure à celle de l'hexagone, le taux de chômage avoisine 30%, le parc de logement locatif social reste insuffisant, les coûts de construction sont majorés du fait de conditions techniques extrêmement exigeantes (humidité, cyclones, séismes, sols instables), et certaines collectivités locales ont une situation budgétaire difficile qui limite considérablement leur capacité d'investissement.

## **PARTIE II : PRESENTATION DU CIRAD**

### **1. Mission et stratégie du CIRAD**

« Contribuer au développement rural des pays tropicaux et subtropicaux par des recherches, des réalisations expérimentales, des actions de formation en France et à l'Etranger, l'information scientifique et technique, principalement dans les secteurs agricole, forestier et agroalimentaire »... telle est la mission confiée au CIRAD.

Cette mission est élargie à la prise en compte des enjeux environnementaux et à la gestion des ressources naturelles, qui conduit le CIRAD à participer à l'élaboration de politiques d'aides au développement.

Sa finalité étant de faire de la réduction des inégalités l'un des objectifs prioritaires des rapports internationaux et de favoriser une conception équitable de la mondialisation, par le partage et la coconstruction des savoirs tout en prenant en compte les conséquences économiques et sociales à long terme des processus de transformation des sociétés et des territoires du Sud.

Pour mener à bien sa mission, le CIRAD traite de façon transversale et intégrée, les questions de recherche posées par le développement des systèmes agricoles et alimentaires des régions tropicales. Il développe ainsi une démarche spécifique qui lui permet de proposer une approche globale des situations.

Les champs de recherche couvrent les sciences du vivant et les sciences sociales ; ils s'appliquent à l'agriculture, la forêt, l'élevage, la gestion des ressources naturelles des pays du Sud, à l'agroalimentaire, aux écosystèmes et aux sociétés. Ils concernent les filières de production et les territoires. Ils s'appuient sur les grandes disciplines telles l'économie, l'agronomie, l'amélioration des plantes, la protection des cultures, la modélisation ou la technologie agroalimentaire.

### **2. Organisation au sein du CIRAD**

Le Cirad est un Etablissement Public à caractère Industriel et Commercial (EPIC). Son budget est de 170 millions d'euros. Il rassemble 1850 agents dont 950 cadres.

Il comprend 7 départements ainsi que 60 unités.

Au sein du Cirad, il existe différents Conseils :

- Le Conseil Scientifique présidé par Pierre Stengel
- Le Conseil d'Administration présidé par Patrice Debré
- Le Comité d'Ethique présidé par Alain Ruellan.

Le Directoire est composé de :

- Du Directeur Général : Benoît Lesaffre
- Du Directeur Scientifique : Emmanuel Torquebiau
- Du Directeur de l'innovation et de la Communication : Alain Weil
- Du Directeur des relations européennes et internationales : Gilles St Martin
- Du Secrétaire Général : Hervé Deparrois.

### **3. Partenariat**

La majorité des recherches menées par le Cirad se fait en partenariat. Les programmes que les chercheurs conduisent avec leurs partenaires sont conçus et réalisés en commun. Les partenaires du Cirad sont nombreux et variés : pouvoirs publics, instituts de recherche, universités, entreprises privés, groupements de producteurs, organisations professionnelles paysannes, entreprises du secteur agro-industriel, ONG,...

#### Les différentes formes de partenariat :

Le paysage scientifique national et international est en profonde évolution. L'ampleur des défis planétaires actuels oblige les institutions à mettre en commun leurs moyens financiers et humains. La recherche et l'enseignement supérieur doivent être mis en synergie. De nouveaux acteurs de la société civile (Organisations Non Gouvernementale, associations de producteurs, secteur privé,...) jouent un rôle de plus en plus important.

Autant d'éléments qui amènent le Cirad à ouvrir de nouveaux espaces de coopération pour les scientifiques impliqués dans la recherche pour le développement et à proposer diverses modalités de partenariat, voire des approches innovantes dans ce domaine.

Avec ses partenaires du Sud comme sur le plan national, européen et international, le Cirad met en place des dispositifs adaptés en matière de partenariats scientifiques, de concertation et d'échanges.

#### ➤ **Les partenaires du Sud**

Le Cirad privilégie un partenariat de longue durée au sein même des structures locales de recherche ou d'enseignement avec lesquelles il développe des programmes communs.

Les programmes bilatéraux restent l'outil principal de coopération du Cirad.

#### ➤ **Les Institutions Françaises**

Un système national de la recherche agricole pour le développement se met en place et plusieurs projets, unités de recherche et laboratoires communs traduisent cette dynamique.

Les partenaires français proches du Cirad sont l'**Inra** (Institut National de la Recherche Agronomique), l'**Ird** (Institut de Recherche pour le Développement), le **Cemagref** (Centre National du Machinisme Agricole, du Génie Rural, des Eaux et des Forêts), le **Cnrs** (Centre National de la Recherche Scientifique), l'**Ifremer** (Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer), les universités, l'enseignement supérieur agronomique.

#### ➤ **Les partenaires européens**

Le Cirad participe à de nombreux programmes et projets financés par l'Union Européenne. Il défend la Recherche Agricole pour le Développement (RAD) dans l'Espace Européen de la Recherche en cours de construction.

Avec d'autres organismes européens, le Cirad participe, en tant que partenaire de recherche, à l'élaboration et à l'exécution de projets de développement.

#### ➤ **Les organisations internationales**

Le Cirad a développé de nombreux partenariats scientifiques avec la majorité des centres internationaux de recherche agricole appartenant au GCRAI (Groupe Consultatif de la Recherche Agricole Internationale) et les trois centres internationaux qui y sont reliés.

Il met régulièrement, et depuis de nombreuses années, des agents à disposition ou de position de détachement dans les centres internationaux de recherche agricole. Ainsi en 2002, 28 chercheurs du Cirad ont été mis à la disposition de ces centres et 6 chercheurs y ont été détachés.

Il participe également, avec ses partenaires français, la construction des « programmes pour relever des défis » lancés par le GCRAI. Il s'implique notamment dans les programmes suivants :

- Eau et alimentation
- Biofortification des plantes cultivées pour améliorer la nutrition humaine
- Mettre au service des populations pauvres la diversité des ressources génétiques
- Améliorer les conditions de vie des populations et la gestion des ressources naturelles en Afrique subsaharienne.

#### **4. Le Cirad dans le monde**

Organisme de recherche finalisée au service des pays du sud, le Cirad intervient dans plus de 50 pays du monde.

Tout au long de son histoire, il a noué et entretenu des liens étroits avec les sociétés humaines, les lieux de production agricole, animale et forestière, les milieux physiques et biologiques des pays tropicaux et subtropicaux.

Ses différents objectifs sont de :

- Contribuer au développement économique par l'appui à l'agriculture locale
- Conduire des activités scientifiques à vocation internationale
- Favoriser la coopération régionale et européenne, par la constitution de pôles scientifiques d'excellence.

L'Outre Mer français représente une part importante de l'activité du Cirad. Avec plus de 500 personnes, dont plus d'une centaine de chercheurs, le Cirad développe, avec ses partenaires, un potentiel de recherche agronomique qui constitue les fondements du futur réseau européen d'agronomie tropicale.

#### **5. Le Cirad Guadeloupe**

Le directeur du site Cirad Guadeloupe se nomme Patrice Guillaume.

Par ses recherches, l'appui aux producteurs et la formation, le Cirad œuvre depuis 50 ans en faveur du développement durable de l'agriculture en Guadeloupe. Avec ses partenaires, l'aide des collectivités locales et des services de l'Etat, il contribue au rayonnement scientifique de la Guadeloupe dans la région Caraïbe, dans les domaines de l'agriculture (banane, canne à sucre, ananas, pathologie animale) et de l'environnement.

Ses domaines d'intervention

- **Pour le bananier** : création de variétés résistantes à la maladie des raies noires, systèmes de culture plus respectueux de l'environnement, amélioration de la qualité et de la compétitivité de la filière.

- **Pour les fruits** : diversification de la production fruitière destinée au marché local.
- **Pour la canne à sucre** : création de nouvelles variétés, élaboration d'itinéraires techniques permettant d'améliorer les revenus des agriculteurs.
- **Pour les fleurs** : introduction, multiplication et assainissement de variétés tropicales, principalement d'anthuriums, conservation d'orchidées endémiques de la Guadeloupe.
- **Pour la parasitologie animale** : définition de méthodes de contrôle des pathologies animales liées aux tiques.

#### Ses actions phares

- Participation au pôle biodiversité de Guadeloupe, qui réunit les compétences de l'Inra, de l'université Antilles-Guyane et du Cirad dans les domaines végétal et animal.
- Lutte contre les maladies : maladies à bégomovirus de la tomate, champignons pathogènes du bananier, sélection variétale de cannes résistant à l'échaudure des feuilles.
- Evaluation de la durabilité de la lutte chimique contre la cersosporiose noire du bananier et de la lutte génétique par sélection variétale pour la tomate et la canne à sucre.
- Lutte contre la bactérie responsable de la cowdriose des ruminants, mise au point d'un vaccin.
- Création variétale de bananes et de cannes grâce aux techniques de pointe de la biologie moléculaire et cellulaire, qui améliorent progressivement les résultats obtenus par les techniques d'hybridation classiques.

#### Quelques repères

Sont présents au Cirad Guadeloupe 130 agents dont 31 chercheurs, une dizaine de volontaires civils à l'aide technique et plus de 25 stagiaires par an, localisés dans les sites de Roujol, Neufchâteau, Vieux-Habitants et Duclos.

Il existe :

- A Neufchâteau, un pôle biodiversité regroupant des laboratoires de biologie moléculaire et de radioéléments,
- A Roujol, un pôle de biologie cellulaire et de culture in vitro
- A Duclos, un pôle de santé animale et de biologie des pathogènes.

Enfin, tous les sites possèdent des collections végétales de bananiers, manguiers, caféiers, cannes à sucre et goyaviers.

#### Ses principaux partenaires

Union Européenne, fonds interministériel de coopération Caraïbe-Guyane, Daf (Direction de l'Agriculture et de la Forêt), Conseil Régional, Conseil Général, Chambre d'agriculture, professionnels de la bananes et de la canne à sucre, l'Inra, l'université Antilles-Guyane, la FAO, la Banque Mondiale,...

## **PARTIE III : L'ACTIVITE REALISEE PAR LE STAGIAIRE**

### **INTRODUCTION : Présentation du contexte de l'étude**

Deuxième fruit le plus produit au monde, derrière l'orange, la banane est aussi le fruit le plus échangé à travers le monde.

Fortement impliquée dans l'économie guadeloupéenne, l'activité bananière emploie 10% de la population active pour une production équivalente à 130 000 T en 2003, ce qui en fait la première source d'exportation en volumes pour la Guadeloupe. La surface cultivée en bananes représente actuellement 11% de la SAU, soit 3% du territoire (*INSEE, 2003*) et est présente essentiellement dans la région Sud de la Basse Terre.

Cependant, la profession est actuellement confrontée en Guadeloupe à différents problèmes économiques tels que des coûts de production élevés (poids de la main d'œuvre), et une qualité de fruits irrégulière, ne permettant pas sur du long terme, de garantir des revenus suffisants et fixes, face à un contexte international fortement concurrentiel. D'autre part, la perspective de disparition de l'OCMB (Organisation Commune des Marchés de la Banane), et donc de la fin programmée des aides et l'entrée en concurrence directe avec les autres pays producteurs (tels que ceux de l'Amérique Latine et notamment l'Equateur) constitue une menace supplémentaire importante.

En outre, des pratiques agricoles peu raisonnées notamment concernant l'épandage de pesticides, représentent un réel danger pour la qualité des eaux de surface et de littoral mais aussi pour les eaux potables. La nécessité pour la Guadeloupe de s'inscrire dans une politique d'agriculture bananière durable, lui permettant à la fois de répondre à ses préoccupations environnementales et de mieux valoriser sa production sur un marché fortement demandeur de produits respectueux de l'environnement, a ainsi donné naissance à un programme commun du CIRAD et de l'INRA.

Le programme de recherches, démarré en 2000 pour une durée de 6 ans doit permettre l'analyse et la modélisation de l'impact de cultures bananières intensives sur le flux de matières polluantes associées au ruissellement et au drainage vers les nappes.

Ce projet a pour objectifs :

- D'une part, de proposer des alternatives aux pratiques existantes (analyse de la diversité des pratiques et de leurs justifications / évaluation de techniques minimisant l'impact des pratiques agricoles sur la qualité des eaux / identification des conditions d'adoption des innovations proposées).
- D'autre part, de mieux comprendre les impacts de l'agriculture sur l'environnement (effets des pratiques culturales sur les propriétés hydrodynamiques des sols et les transferts d'eau et de pesticides / quantification des transferts d'eau et de pesticides au sein d'un bassin versant).

Afin d'évaluer les risques de pollution par ces pratiques pesticides, le programme de recherches a été développé dans le but d'estimer les termes d'un bilan pesticides à l'échelle de la parcelle d'une part et du bassin versant d'autre part. A la parcelle, l'objectif est de quantifier les écoulements en drainage et en ruissellement par l'identification des déterminants des deux phénomènes (incidence de tassements localisés, effet du paillage et du sillonnage...). Tandis qu'à l'échelle du bassin versant de 30 ha, il s'agit de mesurer des pollutions effectives issues des pratiques agricoles sur le bassin. L'objectif étant alors de caractériser sur le bassin versant, des situations dont le comportement pourra être simulé à partir des informations recueillies sur la parcelle expérimentale de la station de recherches de Neufchâteau.

## **PREAMBULE : Activité réalisée au sein du projet**

Toujours dans un but de mieux connaître les impacts de l'agriculture sur l'environnement grâce à la quantification des transferts d'eau et de pesticides (superficiels et de profondeur), à l'échelle cette fois-ci du bassin versant expérimental, et d'en déduire une meilleure gestion du milieu par l'agriculture au travers du raisonnement des pratiques agricoles et de l'occupation des sols, ce stage a donc concerné la « **Caractérisation des propriétés hydrodynamiques des andosols sur un bassin versant cultivé en zone tropicale** ». Il s'agit de déterminer les variabilités verticale et spatiale des processus d'écoulement sur un petit bassin versant au relief hétérogène et au milieu souterrain complexe.

Les premières études sur le bassin versant expérimental d'étude montrent que le milieu souterrain est constitué d'une succession de dépôts d'origine volcanique formant un empilement complexe de couches aux propriétés hydrodynamiques différentes. Sur les premiers mètres, une nappe superficielle se développe dans les andosols qui sont les produits de plusieurs phases de projection récentes plus ou moins argilisées au cours du temps. La formation sous-jacente, d'une épaisseur équivalente à 15 mètres est une brèche andésitique abritant l'aquifère principal. La nappe superficielle est drainée par la ravine principale du bassin, alors que le réservoir principal semble déconnecté du réseau d'écoulement de surface.

On cherche alors à comprendre comment et à quelle vitesse les produits pesticides épandus en parcelle vont contaminer ce système hydrologique. Par conséquent, la connaissance des déterminants du partage ruissellement / infiltration et les conséquences en terme de variabilité des infiltrations à l'échelle du bassin versant ainsi que la connaissance de la dynamique de transfert dans le sol apparaissent comme deux points clés de recherche.

Les résultats attendus, permettant ultérieurement de découper le bassin expérimental en unités hydrologiques homogènes, concernent deux domaines :

1. La quantification du ruissellement et la détermination de sa genèse en fonction de l'occupation du sol et ses capacités d'infiltration.

Dans le but de caractériser au mieux la variabilité spatiale du partage ruissellement / infiltration sur les parcelles du bassin versant, une méthode fiable de mesures sur le terrain doit être définie. Les andosols sur un bassin cultivé sont des matériaux hétérogènes et très poreux avec des états de surface très variables spatialement (méthode de culture, couverture végétale, routes, drains, etc.). L'origine du ruissellement sur le bassin n'est pas seulement liée à l'intensité des pluies ou à son état de saturation préalable, mais aussi aux propriétés hydrophobes même des sols qui perturbent les mesures classiques d'infiltrométrie.

L'objectif de l'étude consistera à caractériser la variabilité spatiale de la conductivité hydraulique à saturation par la méthode du double anneau (détaillée plus loin) et d'étudier les relations avec quelques caractéristiques physiques et physico-chimiques des sols par la réalisation d'états de surface, d'état de saturation préalable, de teneur en matière organique, de teneur en eau à pF 4.2...

2. L'évaluation de la variabilité des perméabilités des formations afin d'évaluer les processus de transfert souterrain.

Afin de déterminer les processus d'écoulement souterrain et d'évaluer la capacité des réservoirs à emmagasiner toute l'eau drainée en profondeur, une campagne de mesure de la perméabilité des terrains doit être menée. Ces tests hydrauliques seront conduits sur les 20 piézomètres du bassin car ils caractérisent des horizons de natures différentes. Une méthode

de tests hydrauliques par slug tests et/ou d'injection doit être déterminée en parallèle de l'essai de pompage longue durée effectué sur le puits de pompage du bassin.

*Remarque : Suite à un raccourcissement de la période initiale prévue pour ce stage (de 6 à 4 mois), cette seconde série d'expériences a été supprimée du projet de stage.*

# **1. Quelques éléments bibliographiques concernant le projet**

## **1.1. Les Andosols**

Les sols à allophane ou Andosols sont établis sur des projections andésitiques cendreuses, à éléments vitreux et très perméables, sous climat à précipitation abondante sans saison sèche marquée. L'importance relative de la pluviosité et de l'évaporation détermine de façon importante les caractéristiques du sol, selon une séquence altitudinale caractéristique : on trouve sous des pluviosités inférieures à 2500 mm des sols peu évolués, passant ensuite dans les zones humides ou perhumides (3000 à 6000 mm) à des Andosols dystriques ou perhydratés (typiquement en forêt, en altitude) (Colmet-daage, 1965).

De couleur beige à beige-jaune, les Andosols sont reconnaissables par leur aspect pulvérulent à sec, et leur toucher onctueux à tendance savonneuse quand ils sont humides (texture de pseudo-limon). Il est lié à la présence d'allophanes, complexe amorphe de silicate d'alumine. La structure typique d'un horizon profond (de type B) est décrite comme diffuse et peu dure, mais avec une cohésion nette, les mottes se brisant et s'effritant facilement dans la main, en donnant une sous-structure de petits agrégats, peu anguleux et stables. La porosité est importante, essentiellement composée de micropores constamment saturés en eau (Colmet-daage, 1965).

D'un point de vue physico-chimique, les Andosols sont des sols généralement riches en matière organique, celle-ci semblant pouvoir migrer profondément dans le profil, et des teneurs de 20 g/kg de matière organique à un mètre de profondeur sont fréquentes. La capacité de rétention en eau de ces sols est très importante, dépassant fréquemment les 1000g/kg, et avoisinant parfois les 2000 g/kg, mais celle-ci a tendance à diminuer fortement et de façon irréversible après une période de dessiccation à l'air. Le pH du sol à l'eau est acide, 4,5 à 5 (Colmet-daage, 1965).

Il est nécessaire d'appréhender, aussi bien sur le plan qualitatif que quantitatif les phénomènes de ruissellement, d'érosion et de redistribution de l'eau sur un couvert bananier.

## **1.2. Infiltration, ruissellement et phénomènes érosifs en bananeraie (d'après Hillel, 1988)**

### 1.2.1. Définition et principes de l'infiltration

L'infiltration est le nom donné au processus d'entrée d'eau dans le sol, généralement à travers sa surface, et verticalement vers le bas. Ce processus est d'une grande importance car, associé au régime des pluies, il conditionne d'autres phénomènes, comme l'équilibre hydrique de la plante ou le ruissellement.

Dans un volume de sol homogène et continu (par exemple un horizon), l'infiltration est généralement élevée au départ, et ce d'autant plus que le sol est sec, puis décroît progressivement jusqu'à une limite qui correspond à l'infiltration à saturation,  $K_{sat}$ . La première phase correspond au remplissage des pores par l'eau, l'infiltration est alors une fonction des forces de succion matricielles liées au remplissage des pores, et de l'écoulement gravitaire de l'eau dans le sol.

Lorsque l'alimentation en eau est localisée de façon ponctuelle (ici un sillon d'irrigation, mais le phénomène est le même lors de l'utilisation de l'infiltromètre), cette phase correspond à la création du bulbe d'humectation. La seconde phase correspond à la circulation gravitaire de l'eau dans le sol, les pores étant saturés en eau, et les forces de succion constantes. Il s'agit de l'infiltrabilité permanente à saturation,  $K_{sat}$ .

Trois paramètres physiques du sol sont déterminants dans le processus d'infiltration :

- La porosité du sol. Elle varie en fonction des types de sol, de ses constituants et des liaisons existant entre eux. Elle est affectée par les opérations culturales. La porosité macroporale et son incidence dans les écoulements préférentiels est importante à mesurer en relation avec son incidence dans la mobilisation des éléments polluants.
- La répartition des porosités dans le profil. Elle modifie l'infiltration en surface dans la mesure où le volume moyen est suffisant pour que l'horizon de porosité limitante ait un rôle. Dans ce contexte, les caractéristiques porales de la couche de surface et de l'horizon sous-jacent sont les plus importantes à mesurer.
- La présence de composés hydrophobes (matières organiques notamment) qui sont susceptibles de provoquer des phénomènes de refus à l'infiltration.

### 1.2.2. Le ruissellement et le transport de sol et de solutés en bananeraie

Le ruissellement de surface constitue la part de la pluie qui n'est pas absorbée par le sol, et qui ne s'accumule pas à la surface (dans les micro-dépressions : flaquage) mais qui s'écoule dans le sens de la pente sur une grande surface (ruissellement de type lamellaire) ou se concentre en rigoles et torrents. Il a lieu lorsque l'intensité des pluies dépasse le régime d'infiltration, et lorsque la « capacité de rétention d'eau de surface » est dépassée.

La quantité de sol transportée dépend de l'énergie de ruissellement, et augmente avec elle. L'énergie de ruissellement dépend du volume d'eau ruisselé et de la vitesse de l'eau, donc de la pente, de la longueur de la pente, et des états de surface rencontrés (obstacles à l'écoulement). Lorsque l'énergie de ruissellement est suffisante, il peut y avoir détachement et transport de mini-mottes de sol. Ce type de transport est la forme d'érosion la plus rencontrée en andosols, d'avantage que la destruction des mottes sous l'impact des gouttes de pluie et le transport par dissolution (Dorel, 1993). Il sera d'autant plus important que le sol est finement fragmenté (travail du sol, alternance dessiccation/humectation).

### 1.2.3. L'interception et la redistribution de l'eau par la canopée (d'après A. Nouvellon, 1999)

Sous une bananeraie, la très grande surface développée par les feuilles de bananiers crée un écran à la pluie, et provoque une modification importante de la distribution de l'eau sur la parcelle. L'eau est ainsi collectée par les feuilles, et s'écoule préférentiellement à la pointe des feuilles, et le long du tronc (stemflow).

Le stade de développement du bananier constitue un critère essentiel. En effet, de ce stade dépendent l'index de surface foliaire (LAI ou Leaf Area Index), la surface au sol couverte par les feuilles, et l'angle des feuilles avec le pseudo-tronc, qui sont tous trois des paramètres déterminants du stemflow. L'inclinaison du pseudo-tronc, donnera la direction selon laquelle s'écoulera la plus grande partie du flux le long du pseudo-tronc. De même, l'état de lacération ainsi que la proportion de feuilles inclinées vers le tronc et celles inclinées vers le sol détermineront respectivement la proportion réellement canalisée (elle diminue

lorsque l'état de lacération augmente), et la proportion d'eau s'écoulant le long du tronc par rapport à celle s'écoulant aux extrémités des feuilles.

Le stade « régime engainé » apparaît comme celui bénéficiant de la plus grande influence sur la redistribution de la pluie. A ce stade, le bananier adulte (environ 7 mois), possède une LAI de presque 3.5 qui est le maximum atteint.

Au sol, une zone d'environ 60 cm autour du bananier apparaît alors comme bien protégée de la pluie, dans des proportions variables, et reçoit moins d'eau que la pluie incidente. Cependant, au delà, certaines zones reçoivent l'eau concentrée par les feuilles, et peuvent recevoir jusqu'à 5 fois la pluie incidente. Le flux s'écoulant le long du tronc est également très important, et peut représenter 35 fois la pluie incidente, et des volumes d'eau importants (40% du volume d'eau intercepté par le bananier).

Ces zones de concentration des eaux peuvent représenter des zones de départ de ruissellement, et, de ce fait, un épandage de billes de masse de densité comparable aux minimottes rencontrées à la surface du sol montre qu'il y a lessivage de ces billes, notamment autour du pseudo-tronc.

#### 1.2.4. Etats de surface et sensibilité des sols à l'érosion

Est défini comme état de surface, tout état structural et configuration géométrique à la surface du sol et au-dessus de la surface du sol pouvant influencer sur le transport superficiel d'eau, de solides et de solutés. Ils résultent de l'action conjuguée du travail du sol, des pratiques culturales et du climat. Leur description nécessite le recours à plusieurs échelles d'observation : position topographique, couverture du sol et morphologie de la surface.

A l'échelle de la parcelle, les différentes couvertures de sol peuvent être regroupées en 4 classes :

- Le sol nu : la couverture végétale vivante est détruite à l'herbicide, très rarement par d'autres méthodes (mécaniques par exemple).
- La couverture vivante : les adventices sont laissés, sans autre contrôle qu'un désherbage occasionnel.
- L'andain : il s'agit d'une couverture du sol nu à l'aide des résidus de culture, feuilles, bananier mort, etc. L'andain est organisé afin de laisser les rangs de bananiers dégagés, permettant de faciliter les interventions (traitements, fertilisation, etc.).
- Le mulch : il s'agit d'un andain généralisé, couvrant jusqu'à la base des pseudo-troncs. Il est ici associé à une absence de mécanisation et à une bananeraie pérenne, où les bulbes couvrent une surface importante.

Lors des descriptions des couvertures de sol, un pourcentage de recouvrement du sol est indiqué, ainsi que l'éventuelle mixité avec une autre classe (association andain / couverture herbacée par exemple).

A l'échelle micro-topographique, 3 morphologies sont identifiées :

- Sillon : leur géographie conditionne les écoulements d'eau
- Trou : ce sont des zones potentielles d'accumulation
- Micro-butte : ils représentent des zones de transferts localisées

En intervenant sur la circulation de l'eau et/ou des éléments en suspension (sol et solutés), les états de surface jouent un rôle capital sur les phénomènes de ruissellement. En effet, la couverture au sol protège ce dernier de l'énergie cinétique directe de la pluie (effet

splash) ou de l'eau interceptée et concentrée par le bananier, limitant ainsi les zones de départ de ruissellement potentielles et facilitant l'infiltration. De plus, en se trouvant sur le trajet d'un ruissellement, une couverture de sol, un trou ou un sillon peuvent avoir un effet de frein à l'écoulement, et ainsi au transport d'éléments.

Cependant, les différents états de surface n'ont pas le même comportement, et il est alors possible d'associer à un type d'état de surface un risque vis à vis des phénomènes de ruissellement et de transports de sol et de solutés.

## **2. Présentation du Bassin Versant de Féfé : principales caractéristiques et arguments en faveur du choix de ce site**

### **2.1. Rappel de l'objectif**

L'utilisation de pesticides en agriculture a pour conséquence une importante pollution des sols et de la ressource en eau. Dans un objectif d'évaluer l'impact des épandages liés à l'activité agricole, il est nécessaire d'étudier les transferts des polluants sous l'action de l'eau, notamment à l'échelle d'un bassin versant cultivé dans un contexte volcanique très humide. Au sein de cette unité hydrologique, les flux hydriques sont contrôlés en volume par les pluies et en direction d'écoulement par les propriétés du milieu.

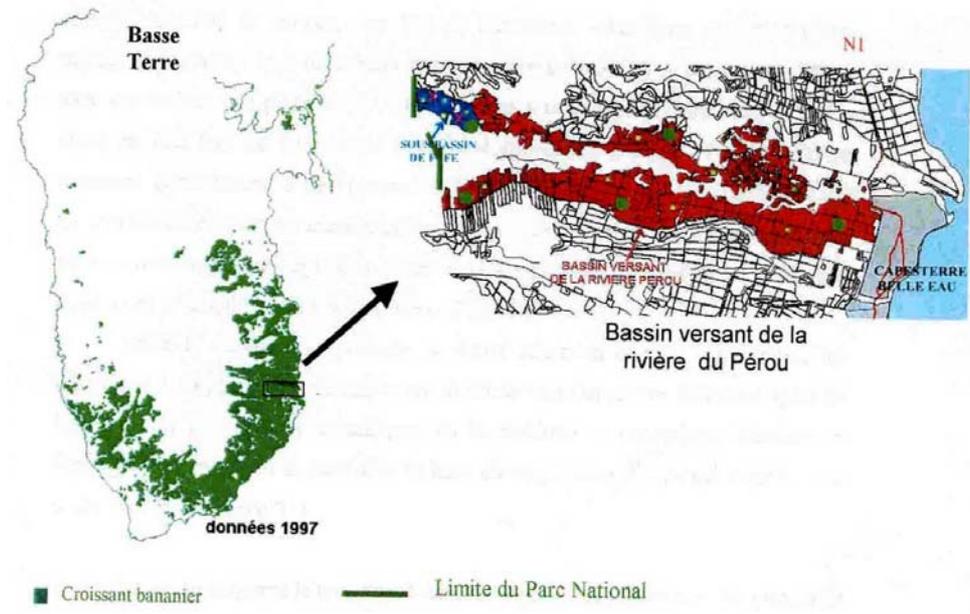
### **2.2. Définition d'un bassin versant**

Le bassin versant représente, en général, une unité géographique sur laquelle se base l'analyse du cycle hydrologique ainsi que ses effets. Plus précisément, le bassin versant qui peut être considéré comme un « système » est une surface élémentaire hydrologiquement close, ce qui signifie qu'aucun écoulement n'y pénètre de l'extérieur et que tous les excédents de précipitations s'évaporent ou s'écoulent par une seule section à l'exutoire. Le bassin versant en une section droite d'un cours d'eau, est donc défini comme la totalité de la surface topographique drainée par ce cours d'eau et ses affluents situés à l'amont de cette section. Il est entièrement caractérisé par son exutoire, à partir duquel nous pouvons tracer le point de départ et d'arrivée de la ligne de partage des eaux qui le délimite. Généralement, la ligne de partage des eaux correspond à la ligne de crête. On parle alors de **bassin versant topographique**.

### **2.3. Présentation de la zone d'étude**

#### 2.3.1. Caractéristiques géomorphologiques du Bassin Versant

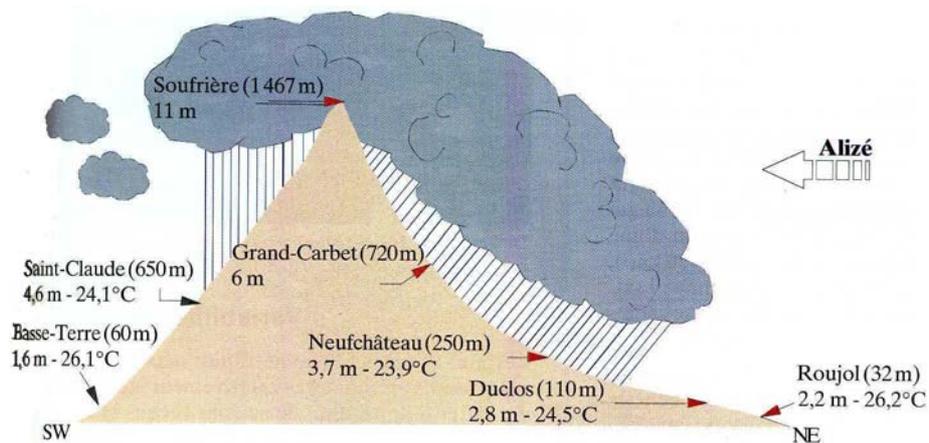
Le bassin versant de Féfé se situe au cœur du « croissant bananier » de la Basse Terre, à 350 m d'altitude sur les hauteurs de Capesterre Belle Eau. D'une superficie estimée à 19,5 ha répartis selon 4 exploitations bananières et 46 parcelles. Il s'agit d'un bassin versant rectangulaire dissymétrique limité au nord par la crête d'un morne et au sud par une falaise surplombant la rivière Pérou. La ravine principale, pérenne, s'écoule au pied du morne dans la longueur du bassin. Ainsi, la rive gauche du bassin est constituée d'une forte pente vers le sud entaillée par quelques ravines secondaires, tandis que la rive droite est quasi-plane avec une très faible pente vers le nord. En amont du bassin, la limite ouest épouse la bordure du parc national permettant alors toute impossibilité de pollution agricole de la ravine et de la nappe sous-jacente.



**Figure 1** : Localisation du bassin versant de Féfé situé au cœur du « croissant bananier » de la Basse Terre (*Source* : J.Labas, 2002).

### 2.3.2. Le climat

Le bassin versant bénéficie d'un climat tropical humide. De part sa localisation sur la côte au vent, au sud-est de la Basse Terre, il est aussi exposé aux alizés qui assurent des précipitations quasi-quotidiennes et un cumul hydrologique pour l'année 2003 s'élevant à 4230 mm. Le climat tropical humide qui caractérise le secteur est marqué par une saison moins humide de février à mai (carême) où les pluies se font moins fréquentes.



**Figure 2** : Illustration du phénomène de Foehn s'appliquant sur le bassin versant de Féfé (*Source* : Comité du bassin, 2000).

La Basse-Terre peut recevoir jusqu'à plus de dix fois la quantité d'eau reçue sur Grande-Terre (plus de 10 m d'eau/an au sommet de la Soufrière), avec une différence très nette entre Côte-sous-le-vent (Côte ouest, commune de Basse-Terre, protégée des alizés) et

Côte-au-vent (Côte est, station de Neufchâteau), cette dernière étant beaucoup plus humide, ce phénomène est appelé effet orographique ou de Foehn.

### 2.3.3. Contexte géologique : les andosols

Au niveau du bassin versant de Féfé, on retrouve un relief très accidenté avec des ravines prononcées. Au niveau de ces altitudes, il existe des andosols. Ces sols, d'origine volcanique, riches en gel organo-minéraux (allophanes) sont caractéristiques des climats sous influence constante de l'humidité. Ils se caractérisent par (Dorel, 1993) :

- Une densité apparente très faible, une perméabilité et une porosité très élevées favorables à la pénétration des racines.
- Une structure d'agrégats fins de la taille des limons à consistance gluante et savonneuse au toucher à l'état humide et pulvérulente à sec.
- Une forte capacité en eau.
- Une capacité d'échange cationique également élevée.

Les andosols qui couvrent la totalité du bassin ont la propriété d'être très infiltrant. D'une porosité voisine de 80% environ avec une structure vacuolaire très perméable, la capacité d'absorption de l'eau précipitée se caractérise par un taux moyen de ruissellement inférieur à 10% à l'échelle d'un cycle cultural pour une parcelle plantée en bananes.

### 2.3.4. Occupation du sol sur le bassin versant

L'ensemble du bassin est déboisé (colonisation récente de la zone), et la couverture végétale est composée exclusivement de bananes. Le bassin versant regroupe 4 exploitations bananières sur lesquelles 55% de la surface du bassin est planté en bananes (variété : *Musa spp.*), 40% est en jachère avec des fleurs, 1% en prairie et 4% qui correspondent au réseau anthropique des routes, des plate-forme et hangars, chemins en tuff, drains, fossés, etc.

## **2.4. Arguments en faveur du choix du site de Féfé**

Il existe plusieurs arguments à ce choix :

- Tout d'abord, cette zone a été choisie du fait de sa position la plus en amont du bassin versant de la rivière Pérou et de son alimentation permanente en eau par plusieurs sources naturelles. Il est alors possible d'étudier la contamination de la ravine par les eaux de ruissellement des bananeraies sachant que toute pollution par des pesticides en amont est exclue (présence du parc national en amont).
- Dans un but d'identifier la dispersion des polluants au sein d'un bassin versant cultivé dans un contexte volcanique très humide, l'étude du petit bassin versant de Féfé apparaît alors très pertinente. En effet, dans un premier temps car le bassin de Féfé, correspond au début de la zone montagneuse et, par conséquent, les volumes d'eau mis en jeu sont très élevés et sont caractérisés par des intensités de pluie dépassant fréquemment la capacité d'infiltration du sol. En général, la pluviométrie à Féfé est supérieure à 4000 mm/an et atteint 7000 mm en 2004).  
Puis dans un second temps car le milieu récepteur volcanique qui s'avère très perméable engendre des écoulements de surface ainsi que des flux de transfert souterrain très intenses pendant les crues.

- Du fait que les andosols couvrent la majeure partie du bassin et de leur grande perméabilité, ces sols sont susceptibles de retenir davantage les organochlorés<sup>2</sup>. Cela permet d'appréhender sur Féfé, la situation la plus alarmante par rapport à une région se caractérisant par moins d'andosols.
- La géomorphologie du bassin permet de distinguer deux zones opposées qui divisent le bassin dans sa longueur en deux parties égales. Ainsi, se distinguent le morne au nord, versant fortement pentu, et une plaine au sud de faible pente. La pente caractérisant le morne va favoriser le ruissellement.
- D'autre part, sur le bassin de Féfé, les méthodes de culture sont spécifiques aux pratiques culturales des bananeraies de montagne, non mécanisées. Etant donné que le labour réduit le ruissellement et augmente l'infiltration, il aurait alors fallu inclure cette variable modifiant le partage ruissellement/infiltration aux expériences réalisées.
- Enfin, le bassin versant étant réparti selon 4 exploitations bananières, il faut l'accord des agriculteurs pour pouvoir réaliser des expériences sur l'ensemble de leurs parcelles (installation de piézomètres, de pluviomètres, etc.) ainsi que pour parler de leurs différentes pratiques culturales.

### **3. Méthode et matériel utilisés**

L'étude réalisée s'appuie essentiellement sur trois critères :

- D'abord sur la caractérisation de la variabilité de l'infiltration spatialement et temporellement pour un même état de surface.
- Ensuite, sur l'étude spatiale de l'infiltration sur andosol et l'identification des déterminants basés sur des mesures physiques pouvant servir ultérieurement d'indicateurs de la capacité d'infiltration des sols. Le système jachère / bananeraie (jeune et âgée) sera particulièrement étudié pour des andosols perhydratés ou non. Ces associations sont susceptibles de faire varier le taux de matière organique des sols ainsi que l'activité biologique (absence ou présence de traitements phytosanitaires) et en conséquence influencer sur l'infiltration.
- Enfin, sur la mise en évidence des phénomènes d'infiltration préférentiels et de refus à l'infiltration à travers le suivi de l'infiltration au cours du temps.

#### **3.1. Protocole de mesure de l'infiltration par ordre chronologique des différentes opérations**

- 1) *Etats de surface* : description des états de surface, du type de sol et photographie du site
- 2) *Humidités pondérales* : avant la mesure, réalisation de 2 profils d'humidité pondérale sur un cercle, à un mètre des anneaux aux profondeurs de 0, 20 et 40 cm. Réalisation ensuite au laboratoire d'agronomie de la pesée humide et pesée en sec.
- 3) *Infiltration* : suivi uniquement du flux permanent.
  - En premier lieu, une saturation au préalable des cylindres 24h avant la mesure est nécessaire.
  - L'évolution de l'infiltration sera ensuite observée sur une durée de 3 heures.

---

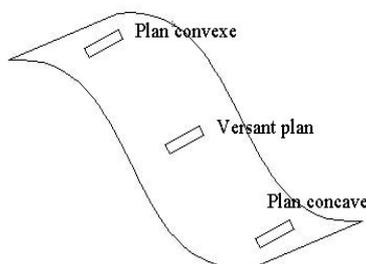
<sup>2</sup> molécules composée de dix atomes de chlore, présentes dans les pesticides, se retrouvant dans les sols ainsi que dans les eaux de surface et de profondeur et non dégradables par l'environnement du fait de ses nombreuses liaisons chlore difficiles à rompre.

- 4) *Ressuyage* : après expérience, couverture des cylindres par une tôle pour ressuyage et amener le profil à la capacité au champ durant 24 heures.
- 5) *Description du profil* : après ressuyage, ouverture d'une fosse de 50 cm de profondeur sur un diamètre du cylindre et description du profil : porosités, discontinuités,...
- 6) *Porosité à la capacité au champ* : sur le profil ouvert, prélèvement de 3 cylindres de densité apparente à chacune des profondeurs 0, 20 et 40 cm ; détermination des teneurs en eau en laboratoire (pesée humide, pesée en sec)
- 7) *Teneur en eau à pF 2 et pF 4.2* : dans la zone saturée au centre du cylindre central, prélèvement de 20 mottes à 10 cm de profondeur pour détermination au laboratoire des teneurs en eau à pF 2 et pF 4.2 (équilibre pF 2, pesée humide de la motte, détermination du volume de la motte par poussée pétrole, séchage et pesée en sec). La moitié des mottes sera réservée pour un traitement ultérieur.
- 8) *Analyses physico-chimiques* : réalisation d'un prélèvement moyen de sol à 10 et 30 cm de profondeur sur 3 profils. Homogénéisation par profondeur et détermination du taux de carbone.

### 3.1.1. Choix et description du site

Dans un premier temps, il est nécessaire de s'interroger sur les raisons de la variabilité des infiltrations sur les sites. Ainsi, le site sur lequel va être effectuée la mesure doit correspondre à un choix judicieux : plusieurs paramètres sont à prendre en compte tels que le cycle de la bananeraie, l'altitude,.... Il s'agit de varier les mesures selon différentes cultures (terrain en jachère, en prairie, en fleurs,...), différents stades (production, abandon, jachère), le type de sol, la topographie (convexe, concave, plan, plaine), mais aussi selon différents niveaux (horizon A, horizon B,...). Il s'agit également de repérer dans les parcelles toutes les sources d'hétérogénéité tels que les critères « tassé / pas tassé », couvert / pas couvert », « sol enherbé / sol nu »,....

Les différents sites de mesure choisis ont donc fait l'objet d'une grande variabilité de critères aussi bien sur la culture concernée (bananeraie jeune et pérenne, terrain en jachère, en prairie et en fleurs), que de la toposéquence relative de la parcelle sur le bassin versant : versant convexe (Haut de Morne), versant plan (Milieu de Morne) et versant concave (Bas de Morne) ou encore du niveau (horizon A et horizon B).



**Figure 3 :** Implantation des profils sur une toposéquence (*Source : J.Labas, 2002*).

En résultante, 30 mesures ont été réalisées selon 27 sites différents, 6 mesures ont concerné des horizons B, tout ceci durant un espace temps d'une dizaine de semaines.

Nombre de mesures réalisées	Bananeraie jeune	Bananeraie pérenne	Prairie	Jachère	Parcelle abandonnée	Zone plaine	Zone morne	Horizon A	Horizon B
30	6 Dont 6 sur sol nu	17 Dont 3 sur sol nu 14 sur sol h	3	1	3	15	15	24	6

**Tableau 5 :** Récapitulatif des mesures selon différentes variable (*Source : A.Cavasino, 2005*).

Le choix du site doit être explicité par une mise en évidence géographique du site grâce au suivi des variables mesurées par J. Labas en 2002 et notamment par la prise de photos de l'environnement de la parcelle et du point de mesure.

En effet, les données recensées par J.Labas ont été établies dans un inventaire permettant de mettre en évidence les différentes caractéristiques au niveau des 46 parcelles du bassin versant susceptibles de déclencher ou de présenter une sensibilité potentielle de ruissellement. (cf. **Annexe 1** : fiche terrain de description du site, *Source : A.Cavasino, 2005*). Toutes ces informations retenues par site et classées suivant une hiérarchie des facteurs de ruissellement, sont réactualisées et enregistrées sur une feuille Excel.



**Photos 1,2 :** Mise en évidence géographique du site XVIII : point de mesure et environnement de la parcelle 30, en bananeraie pérenne sol enherbé situé sur le morne. (*Source : A.Cavasino, 2005*).



**Photos 3,4** : Mise en évidence géographique du site *XXII*, point de mesure et environnement de la parcelle 3, en jachère situé sur la plaine, (*Source* : A.Cavasino, 2005).

### 3.1.2. Réalisation du profil d'humidité pondérale, mesure de l'humidité du sol

L'étude des relations entre l'eau et le sol consiste dans un premier temps à exprimer les proportions de liquide présent dans un échantillon de terre.

Pour mesurer la composition pondérale du matériau, on réalise une mesure pas perte de poids. C'est une méthode classique. En effet, un échantillon de terre prélevé est porté à l'étuve à 105°C durant 48 heures minimum, jusqu'à poids constant.

La quantité d'eau PE (Poids d'Eau) est donnée par la différence entre le poids de terre initial ( $P_t + PE$ ) et le poids  $P_t$  (Poids de terre sèche de l'échantillon) après dessiccation.

L'échantillon initial doit avoir un poids qui varie de 20 à 50g. Cette gamme de poids est un optimum car il est extrêmement difficile d'obtenir assez rapidement un bon équilibre en utilisant une trop grande masse de terre. D'autre part, l'échantillon doit avoir un certain poids car, s'il est de trop petite taille, il est très difficile de le considérer comme représentatif d'un matériau dont la composition est variable.

Il faut chauffer jusqu'à poids constant et ceci pour la raison évidente que l'on cherche à atteindre un équilibre. La température de 105°C prise comme référence est arbitraire. L'idée est qu'en chauffant à une température légèrement supérieure à celle de l'ébullition, on peut considérer l'eau qui s'échappe comme de l'eau « libre », car elle présente des propriétés voisines de la phase liquide continue.

### 3.1.3. Réalisation de l'infiltration

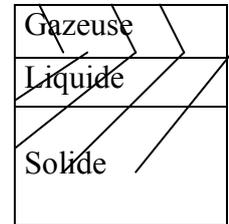
#### 3.1.3.1. Mise à saturation du site 24 heures au préalable

##### ➤ **Principe de la saturation :**

Le sol est constitué de 3 phases (solide, liquide et gazeuse) dont l'agencement permet de gérer la circulation de l'air et l'eau (cf. Schéma ci-contre).

Au fil des temps et des conditions climatiques, la partie solide est toujours stable, mais les parties liquide et gazeuse qui occupent les vides du sol (porosité), occupent des espaces variables en fonction de l'état hydrique et du type de sol. Afin que l'occupation de cette porosité soit toujours la même au moment de la mesure, celle-ci est effectuée en saturation.

Afin d'assurer un débit régulier de l'eau qui va traverser la matrice du sol, il est maintenu une hauteur d'eau constante au dessus de la partie du sol où va s'effectuer la mesure.



##### ➤ **Matériel utilisé pour la saturation :**

- le double anneau (détaillé plus loin)
- le bac d'alimentation en eau : la saturation se réalise grâce à des vases de Mariotte, ce qui permet le suivi automatique de la lame d'eau dans l'anneau centrale. Le bac d'alimentation en eau est relié à l'anneau externe par le biais de deux tuyaux galvanisés, soudés sur le bord du cylindre et assurant le maintien du niveau constant d'eau dans chacun des anneaux. L'orifice d'alimentation en eau est situé à 2 cm au dessus de la surface du sol et la liaison d'entrée d'air est située à 3 cm au dessus du sol. Aussi, le bac d'alimentation en eau doit être fabriqué dans une matière non déformable (en matière plastique dure) afin d'éviter sa déformation au cours de l'appel d'air.



**Photo 5** : Illustration de la mise à saturation, 24h avant la réalisation de la mesure (Source : A.Cavasino, 2005).

Pour la mise en place du dispositif expérimental, on se réfère au tableau ci dessous afin de connaître la capacité en eau à prévoir ainsi que le système d'alimentation adéquat. Notre infiltration se déroulant sur un intervalle de 3 heures, nous nous référeront à la colonne en gras.

Temps	1		<b>3</b>		6		12		24	
infiltr. mm/h	centre extérieur		<b>centre extérieur</b>		centre extérieur		centre Extérieur		centre extérieur	
10	1	2	<b>2</b>	<b>6</b>	4	13	8	25	17	51
50	4	11	<b>11</b>	<b>32</b>	21	64	42	127	85	254
100	7	21	<b>21</b>	<b>64</b>	42	127	85	254	170	509
250	18	53	<b>53</b>	<b>159</b>	106	318	212	636	424	1272
500	35	106	<b>106</b>	<b>318</b>	212	636	424	1272	848	2545
1000	71	212	<b>212</b>	<b>636</b>	424	1272	848	2545	1696	5089
1500	106	318	<b>318</b>	<b>954</b>	636	1909	1272	3817	2545	7634
2000	141	424	<b>424</b>	<b>1272</b>	848	2545	1696	5089	3393	10179

**Tableau 6 :** Quantité d'eau nécessaire ( en litres) dans chaque compartiment pour réaliser l'infiltration à différents temps de mesure (1h à 24h) en fonction des taux d'infiltration, (*Source : P.Cattan, 2005*).

### 3.1.3.2. Réalisation de l'infiltration

Cette série de mesures porte sur une série de parcelles sur andosols. L'unité expérimentale est le site du cylindre.

Le principe de cette mesure est d'obtenir une infiltration à saturation. Il s'agit par conséquent d'obtenir un régime permanent, c'est à dire un écoulement régulier.

Pour juger de l'établissement du régime permanent, il suffit soit d'effectuer un tracé manuel sur du papier millimétré de la courbe de régression afin d'obtenir une pente régulière, ceci en relevant les hauteurs à pas de temps fixe, soit d'utiliser l'ordinateur sous Excel, méthode plus efficace.

### **Mesures d'infiltrabilité in situ dans un sol saturé : la méthode du double anneau de Müntz (Application aux andosols sous bananeraies) ( D'après J. André, Mai 2003)**

Lorsqu'il y a apport d'eau sous forme de pluie ou d'irrigation, nous ne savons trop à quelle vitesse celle-ci s'infiltré dans le sol et par conséquent, quel est son devenir dans les sols et quels peuvent être les conséquences de sa circulation dans ce sol.

Afin de déterminer cette vitesse d'infiltration, nous utilisons la méthode du double anneau. C'est une technique de mesure in situ, qui consiste à relever le temps que met une certaine quantité d'eau, à traverser la couche du sol dont on veut connaître les qualités de filtrabilité.

Dans un objectif final, on veut pouvoir déterminer les risques de lessivage latéral ou vertical.

#### ➤ **Matériel utilisé lors de la mesure d'infiltration : le double anneau**

Constitué de deux anneaux concentriques, ce matériel est fabriqué dans de la tôle galvanisée, chanfreinée à la base (pour obtenir une bonne pénétration dans le sol) et renforcée au sommet, afin de supporter les coups de masse, quand le sol est trop résistant à l'enfoncement.

- L'anneau central sert à effectuer les mesures.

- L'anneau externe sert à maintenir un niveau d'eau constant et équivalent à celui de l'anneau interne et oblige l'écoulement de l'anneau interne à être strictement vertical.

➤ **Réalisation de la mesure**

1) Choix de l'emplacement :

Les mesures sont réalisées en zone de départ (sommet) et en zone d'accumulation (bas de pente). Les différences peuvent dénoter une érosion aux points hauts (valeurs plus basses) et une accumulation aux points bas (valeurs plus élevées).

2) Saturation de la zone de mesure

Afin d'éviter l'effet gonflement du sol s'il y en a, et de favoriser une bonne saturation du milieu concerné, on verse très lentement de l'eau au dessus de la zone choisie. Cette eau s'infiltré et imbibe progressivement le sol.

Afin d'assurer une bonne saturation de la zone de mesure et un bon dégazage de celle-ci, on remplit d'eau l'anneau central. A ce moment, l'écoulement se fera de manière divergente sous cette zone et chassera les bulles d'air du milieu concerné. A partir de ce moment, le cylindre central ne doit pas manquer d'eau.

3) Enfoncement du double anneau

La mise en place du double anneau se fera en l'enfonçant délicatement sur environ 2 cm, afin de ne pas modifier la structure naturelle du sol en place, ce qui aurait des conséquences sur les caractéristiques réelles de l'infiltration. Si le sol est résistant, on place un morceau de bois au travers du cylindre, et on frappe au milieu à l'aide d'un maillet, afin que la répartition du choc soit homogène.

4) Réalisation de la mesure

On mesure, pour un pas de temps donné, variable selon la situation mais identique quand l'écoulement est constant (environ 10 minutes), la quantité d'eau écoulée dans l'anneau central grâce à la graduation notée en cm sur ce cylindre.

Les écoulements sont variables selon les situations :

- rapides dans les sols très filtrants
- faibles à nuls dans les sols peu ou pas filtrants.

5) Résultats

A la fin de la mesure, c'est à dire quand on a obtenu un certain nombre d'intervalles de temps d'écoulements plus ou moins constants, nous pouvons réaliser des calculs permettant de mettre en évidence la vitesse d'infiltration (généralement exprimée en mm/h pour une meilleure comparaison avec les intensités de pluie).

Peut alors se déduire, la capacité de drainage verticale du sol, pour une pluie ou un apport d'eau sous forme d'irrigation.

#### 3.1.4. Ressuyage

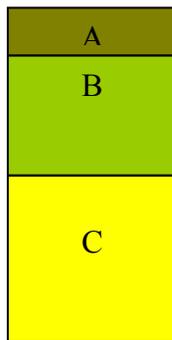
Lors du ressuyage, la terre perd de l'eau. Durant cette phase, le sol est à une humidité différente de l'humidité saturante, mais il évacue son eau dans un milieu où la phase liquide est continue.

#### 3.1.5. Description du profil (D'après C.Perpina, 2001)

Il s'agit d'étudier la variabilité spatiale du profil lié à l'effet des pratiques culturales. Dans le sens vertical, on peut distinguer et délimiter des couches de sol qui correspondent à des caractéristiques et à des différenciations liées à la fois à la pédologie et au travail du sol

(variation brutale de couleur, charge en élément grossier, changement de structure,...). Dans le sens horizontal, le travail du sol est déterminant.

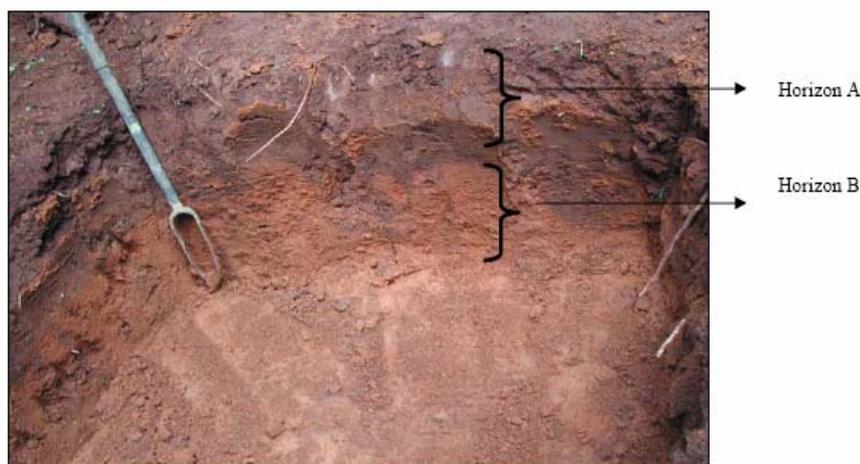
A partir de la méthode de HENIN (1960), décrite par GAUTRONNEAU et MANICHON (1987), on distingue trois niveaux d'organisation structurale dans les horizons anthropiques, le premier décrivant l'état interne des mottes, les deux autres les modes d'agencement de ces mottes selon deux échelles différentes. Ainsi, la nomenclature utilisée pour les horizons a été homogénéisée afin de faciliter les mises en correspondance, et il n'est pas tenu compte de l'origine anthropique ou non de l'horizon (nomenclature de type A, B, C). L'andosol typique pédologique est décrit comme « à structure diffuse mais à cohésion nette, avec des mottes s'effritant facilement dans la main ».



**Figure 4** : Agencement et nomenclature des 3 horizons, en milieu Anthropique. (Source : C.Perpina, 2001).

Lors de la réalisation des mesures et des prélèvements, seuls les horizons A et B ont été visibles. Les descriptions ont permis de différencier par quelques caractéristiques ces deux horizons :

- l'horizon A (de 0 à 30 cm) : possède un aspect grumeleux et friable, très poreux, de couleur foncée.
- l'horizon B (de 30 à 90 cm) : possède un aspect plus argileux, une teneur en eau importante, une couleur plus orangée.



Source : Malaval, 2002

**Figure 5** : Différenciation des horizons A et B dans un profil d'andosol, Parcelle 26, (Source : Malaval, 2002).

### 3.1.6. Mesure des densités apparentes sur cylindre

Les caractéristiques physiques ont été mesurées à l'aide de cylindres métalliques de volume déterminé (100 cm<sup>3</sup>), enfoncés dans le sol (un bord est biseauté afin de faciliter l'enfoncement et limiter le tassement dû aux efforts de pénétration). Les bords du cylindre sont ensuite arasés à l'aide d'un couteau afin d'éliminer le sol dépassant, et de garantir un volume aussi proche que possible du volume théorique.

Les échantillons ainsi prélevés sont alors pesés dans leur cylindre (il s'agit de la masse de sol frais), puis passés à l'étuve à 105°C pendant 48h, et re-pesés (il s'agit alors de la masse de sol sec).

Connaissant le volume de sol frais prélevé, la pesée du sol frais et du sol sec nous a permis de calculer ces différents paramètres qui ont été enregistrés durant le stage sur plusieurs feuilles Excel :

- La densité apparente du sol (sec) :

$$D_{app} = \text{masse du sol sec} / \text{volume du cylindre}$$

Ainsi que son inverse, le volume spécifique (ou volume apparent) :

$$V_{app} = 1 / D_{app}$$

- L'humidité pondérale ou teneur en eau (W) :

$$W = (\text{masse sol frais} - \text{masse sol sec}) / \text{masse sol sec}$$

- L'indice des vides (E) :

$$E = (\text{volume air} + \text{volume eau}) / \text{volume sol sec}$$

ou

$$E = (\text{densité réelle} / \text{densité apparente}) - 1$$

### 3.1.7. Mesure des indices d'eau renseignés au potentiel (D'après J.André, INRA Station Agro Pédo Climatique, Octobre 1998)

Le potentiel du sol est l'énergie avec laquelle ce sol retient l'eau. C'est une mesure qui permet par analogie, selon la loi de Laplace, de connaître la taille des pores dans lesquels l'eau est retenue dans le sol, et selon la loi de Jurin, l'énergie avec laquelle on peut classer cette eau.

pF	Rayon des pores (µm)
1	150
1.5	50
2	15
2.5	5
3	1.5

**Tableau 7 :** Relation entre pF et taille des pores actifs. (Source : INRA, 1998).

Au cours de la mesure, il est nécessaire que les opérations se déroulent de la même manière, afin d'assurer la reproductibilité des résultats et l'assurance qualité. Les mesures ont été effectuées dans le laboratoire agronomique, sur la station de Neufchâteau du CIRAD.

### **Prélèvement du sol**

C'est une étape très importante de la mesure car, de son bon suivi, dépendra la reproductibilité des résultats.

Le prélèvement se fait à partir d'une tranchée aux profondeurs indiquées (10 et 30 cm). Les échantillons récoltés à humidité satisfaisante (afin d'éviter tout effet d'hystérésis lié à une dessiccation du sol trop forte) sont conservés dans des sacs numérotés et hermétiquement fermés, en prenant garde de ne pas modifier leur structure porale naturelle. Les échantillons seront ensuite saturés en eau au moins 48h avant leur mise sous contrainte, afin d'homogénéiser l'humidité initiale, et de travailler en perte d'eau uniquement.

### **Stockage des échantillons**

Les sacs fermés et numérotés sont rangés en un lieu ne subissant pas trop de variations de température et à l'abri d'un ensoleillement direct.

### **Mesures de potentiel du sol : plusieurs étapes**

La mesure du potentiel correspond à l'application d'une pression dont l'énergie exprimée en centimètres d'eau, permet, en extrayant le logarithme de cette hauteur d'eau, d'avoir une valeur de potentiel correspondante ou pF (Potential of Free Energy).

#### **- Préparation du matériel**

La mise sous contrainte s'effectue dans une atmosphère d'air comprimé à pF 2 ( $10^2$  mbar), ce qui correspond à l'eau facilement utilisable par les plantes.

De l'air comprimé est amené à partir d'un compresseur, vers un circuit de distribution, asservi par des régulateurs à fuite permanente, avec des manomètres permettant de fixer avec précision, la pression pour chaque sortie.



**Photo 6** : Illustration de la mise sous contrainte des mottes à pF 2.  
(Source : A.Cavasino, 2005).

Chaque échantillon de sol est placé dans un tube comportant à la base, un bouchon ayant

- Un filtre vyon (plastique), assurant un bon transfert d'eau,
- Un filtre milipore ayant une taille de pore adaptée à la pression appliquée,
- Une pâte de kaolin sur laquelle est déposée l'échantillon de sol, et qui assure une bonne continuité entre l'échantillon de sol et l'eau du récipient dans lequel l'échantillon est placé.



**Photo 7** : Préparation des échantillons pour la mise sous contrainte.

(*Source* : A.Cavasino, 2005)

L'ensemble du tube trempe continuellement dans un fond d'eau afin d'assurer que l'échantillon ne se dessèche pas dans l'air, et ne perde de l'eau que sous effet de la pression exercée.

L'échantillon séjourne 7 jours dans le tube avant d'atteindre son état d'équilibre (durée déterminée expérimentalement).

- Mesures effectuées

Arrivé à l'équilibre, chaque échantillon de sol est sorti de son milieu afin de subir un certain nombre de manipulations qui permettent de déterminer ses caractéristiques hydriques.

- Détermination de la masse humide :

L'échantillon de sol, débarrassé de la pâte de kaolin est pesé dans une coupelle tarée afin d'obtenir son poids humide au moment de son équilibre à un potentiel donné.

- Poussée pétrole :

Afin d'obtenir le volume de l'échantillon de sol à un état d'équilibre donné, il faut le mettre à tremper dans un liquide non molaire, qui imprègne la totalité de l'échantillon, en chassant l'air piégé dans les pores restés vides, ceci sans faire éclater ce dernier ou modifier ses caractéristiques hydriques.

Le temps de trempage est de 2 ou 3 heures pour des échantillons humides.

Ensuite, l'échantillon de sol imbibé de pétrole est mis à ressuyer sur du papier absorbant, jusqu'à ce que son aspect brillant de départ devienne mat, ce qui signifie qu'il n'y a plus de pétrole libre autour et dans l'échantillon de sol.

L'opération « poussée pétrole » permet par le principe de la poussée d'Archimède, en plongeant l'échantillon de sol posé sur une nacelle, dans du pétrole, de connaître le poids de pétrole déplacé par cet échantillon, et en multipliant ce poids par la densité du pétrole, d'obtenir le volume de pétrole déplacé et par conséquent, le volume de l'échantillon de sol.

- Détermination de la masse sèche :

Après avoir effectué la poussée pétrole, l'échantillon est placé dans une étuve à 105°C pendant 48 heures afin d'évaporer l'eau qu'il contient.

Au bout de ce temps, l'échantillon de sol est pesé et le poids est enregistré pour déterminer les paramètres du sol.

- Détermination des paramètres du sol

Avec les différents poids enregistrés, on peut déterminer pour chaque échantillon les paramètres suivants, valables pour un échantillon donné pour certains (volume de l'échantillon) ; représentatifs du type de sol pour d'autres (Dapp, indice des vides : eau et air, teneur en eau).

- Le volume du sol

La valeur enregistrée au moment de la poussée pétrole (P) est utilisée pour calculer le volume de l'échantillon, en divisant cette valeur par la densité du pétrole (0.783).

$$V \text{ sol} = P / 0.783$$

- La teneur en eau

A chaque mesure de potentiel correspond une valeur de la teneur en eau. Cette valeur peut être exprimée selon deux manières :

- soit en exprimant un pourcentage d'eau par rapport à 100 g de sol sec :

$$\text{H}_2\text{O} \% = (\text{poids humide} - \text{poids sec}) / (\text{poids sec taré}) * 100$$

- soit en exprimant un poids d'eau par rapport à un poids de sol sec. En multipliant cette teneur par la densité apparente du sol, on obtient alors un volume d'eau :

$$\text{H}_2\text{O en g/g} = (\text{poids humide} - \text{poids sec}) / (\text{poids sec} - \text{tare})$$

- La densité apparente

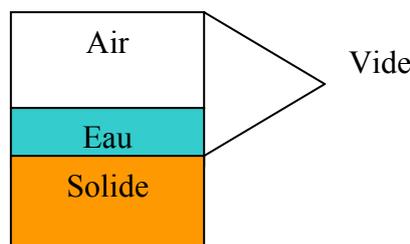
Elle exprime le poids du sol par unité de volume. Si le sol est poreux, cette valeur est faible au départ et change très peu avec la dessiccation. Et inversement pour un sol massif et dense. La formule est alors :

$$D_{app} = (\text{poids sec} - \text{tare}) / V$$

- Les indices

Ce sont des caractéristiques propres à un sol donné et qui varient très peu pour un sol donné et à un même potentiel, (cf. schéma ci-contre).

Les sources de variation peuvent être le changement de manipulateur ou le non respect des règles de prélèvement et de stockage des échantillons.



- **L'indice des vides** : c'est la valeur du vide occupé dans le sol et exprimée en  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$  de sol :

$$E = \text{volume total} - \text{volume de sol}$$
$$E = \text{volume total} - (\text{poids de sol sec} / \text{densité réelle du sol})$$

- **L'indice d'eau** : correspond au volume d'eau occupé dans le sol, par rapport au volume total du sol :

$$V = (\text{poids humide} - \text{poids sec}) / (\text{poids sec} / \text{densité réelle du sol})$$

- **L'indice d'air** : c'est un paramètre caractéristique de la rigidité d'un sol car sa valeur augmente très rapidement d'un point pF à un autre, dans les sols rigides alors qu'il reste constant ou évolue très faiblement pour les sols très déformables. Il indique dans le volume de vide total, celui occupé par l'air :

$$\text{Indice d'air} = \text{indice des vides} - \text{indice d'eau}$$

#### 3.1.8. Analyses physico-chimique

Pour évaluer la teneur en carbone contenu dans les échantillons de terre prélevée sur chacun des sites, on réalise un tamisage pour pouvoir envoyer ensuite les prélèvements dans un laboratoire spécialisé.

Sur chacun des sites, pour les profondeurs 10 et 30 cm, on réalise un premier tamisage à 5 mm, on fait sécher ensuite pendant 2 à 3 jours les échantillons. Puis réalisation d'un second et d'un troisième tamisage selon les mailles respectives équivalentes à 2 et 0,2 mm.

#### 3.2. Matériel utilisé

- Infiltromètres : 3 lots de 2 anneaux de diamètre maximal de 60 cm soit 0.28 litres par mm (0.07 l pour l'anneau central et 0.21 l pour l'anneau extérieur).
- Vases de Mariotte
- 2 fûts de 200 litres
- Tuyaux
- Matériel de prélèvement des échantillons : tarière, pelle, sachets plastiques, cylindres,...
- Cahier de terrain,...

#### 4. Analyse des résultats

Pour analyser l'ensemble des résultats obtenus, il s'agit de suivre une démarche progressive permettant de distinguer dans un premier temps la variation verticale de la variation spatiale. On cherche à déterminer les variables pour lesquelles il existe une variation dans le profil et ceci en confrontant les différentes profondeurs pour chacune d'elle.

Après cette première démarche, il s'agit d'identifier les déterminants de l'infiltration et notamment grâce à la réalisation de régressions linéaires.

#### 4.1. La description par horizon

Lors de cette démarche, on s'intéresse à la variation des paramètres sur le profil, c'est-à-dire sur le plan vertical.

Une des premières étapes consiste à identifier les paramètres intrinsèques au sol, c'est-à-dire les paramètres ayant une influence directe sur l'état du sol.

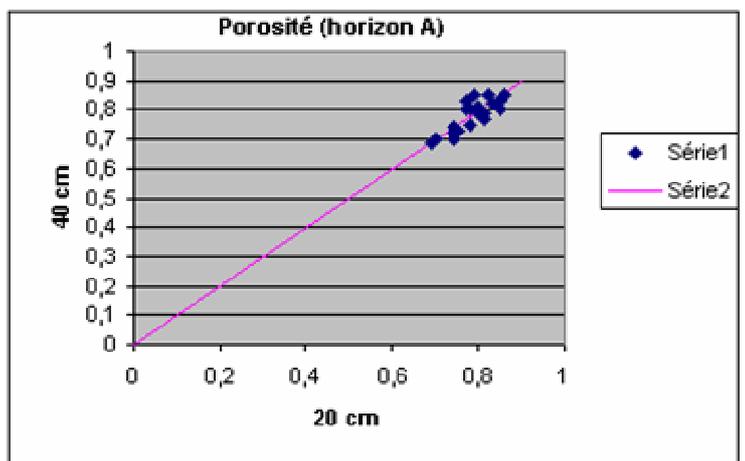
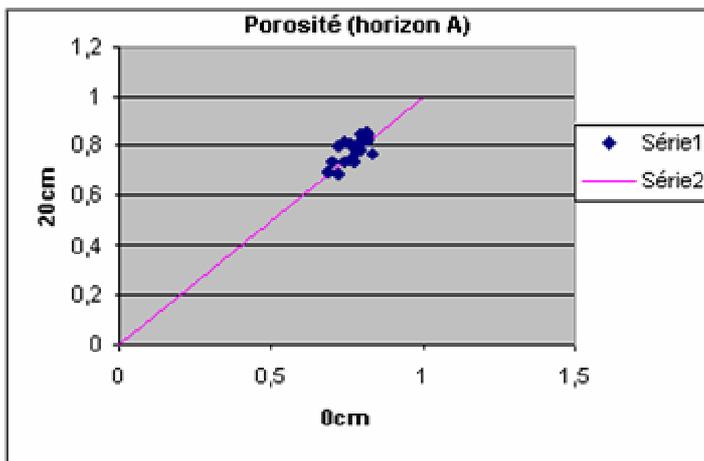
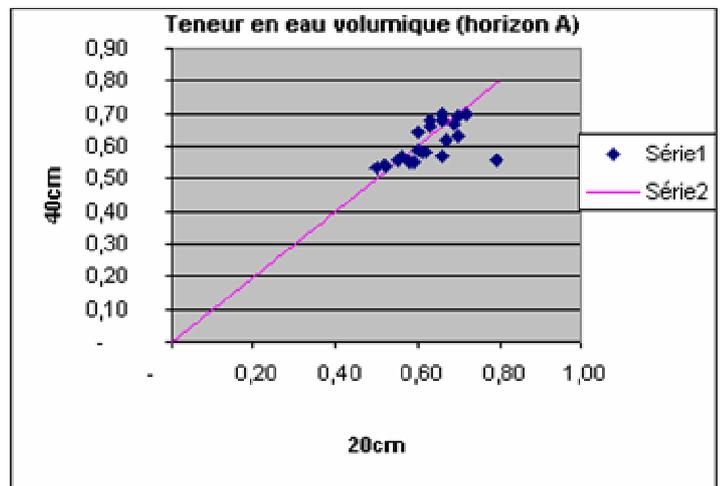
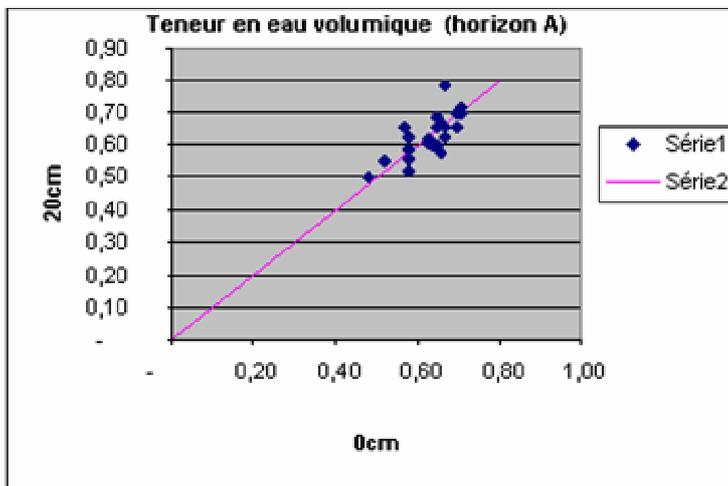
Ces paramètres sont :

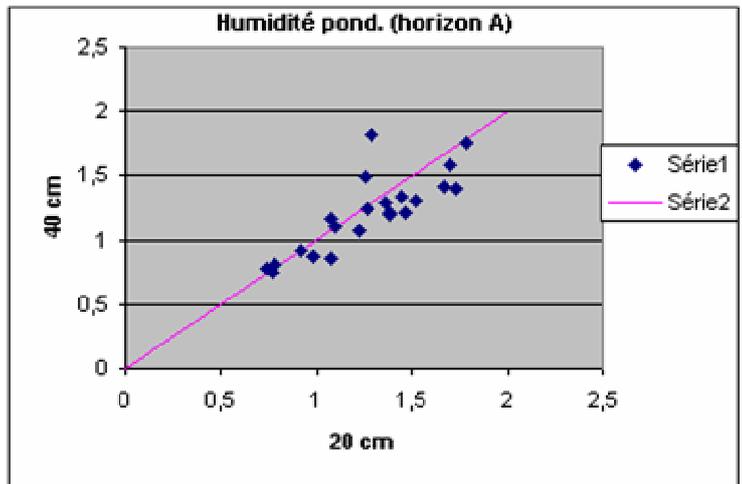
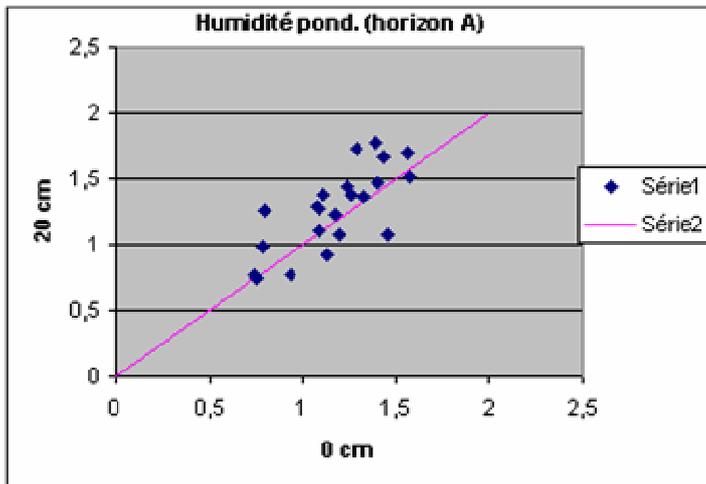
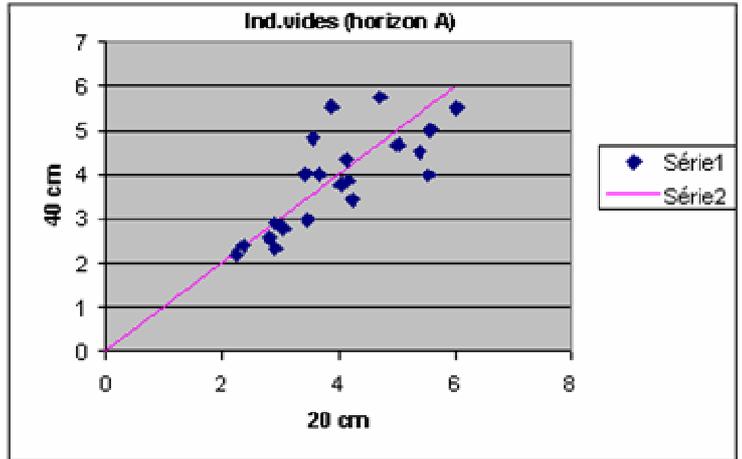
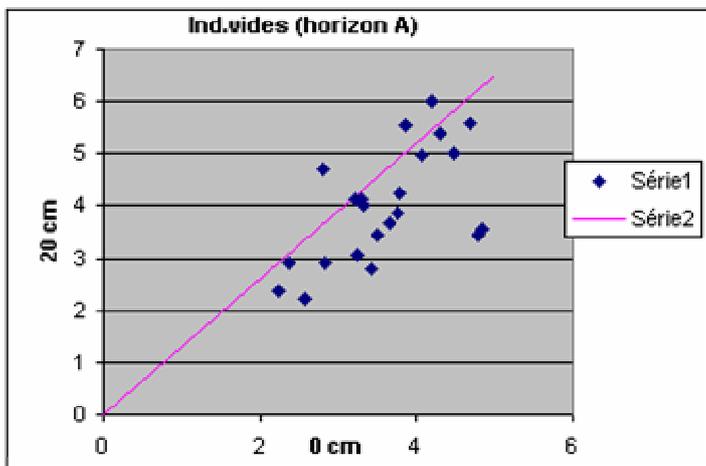
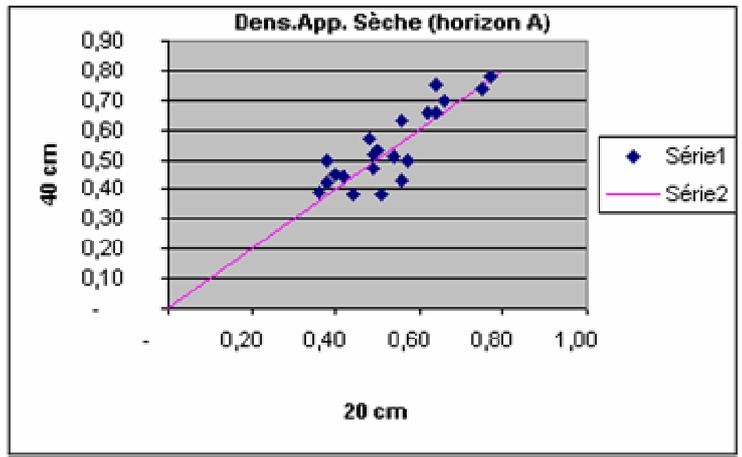
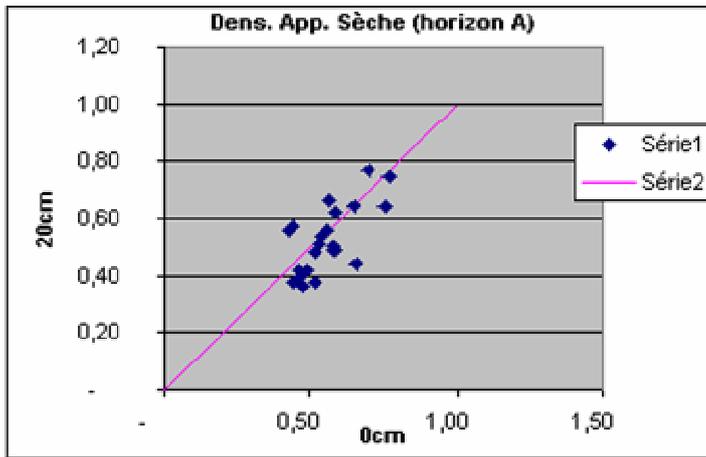
- L'infiltration
- La densité apparente sèche
- La teneur en eau volumique à la capacité au champ
- La porosité
- L'indice des vides
- L'humidité pondérale

Parmi les indices, il est nécessaire de préciser que l'indice des vides est en relation avec la densité apparente sèche tandis que les indices de l'eau et de l'air varient en fonction de l'humidité du sol.

#### Les paramètres varient-ils dans le profil ?

Afin de trouver des éléments de réponse, on réalise une série de graphiques permettant de confronter les profondeurs en horizon A dans un premier temps, deux à deux, et ceci pour l'ensemble des cinq variables. Il s'agit d'identifier une variable pour laquelle se dessine une évolution entre les différentes profondeurs.





(Source : A.Cavasino, 2005)

Observation :

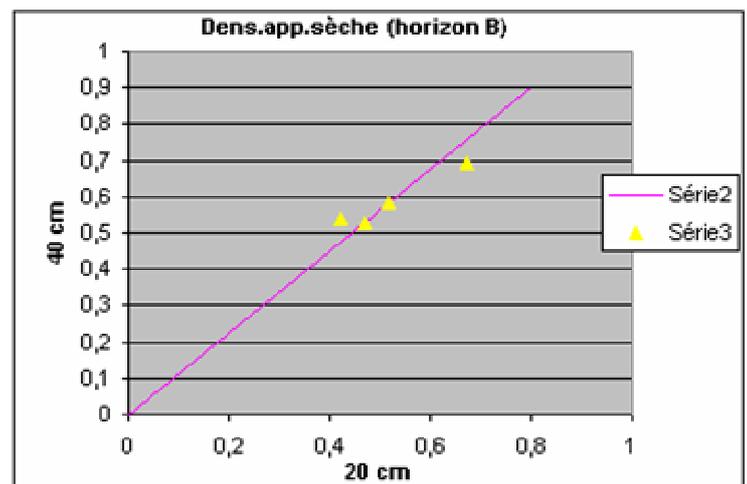
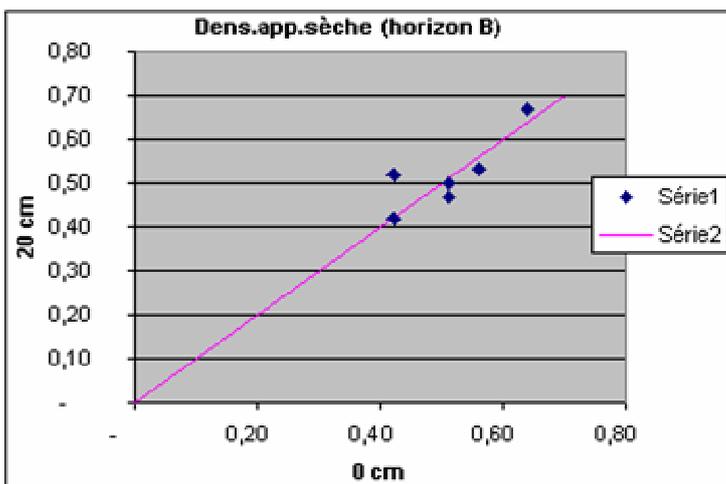
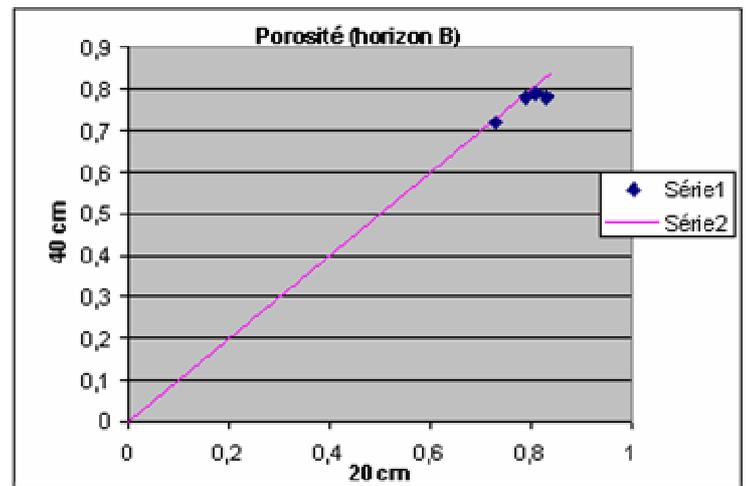
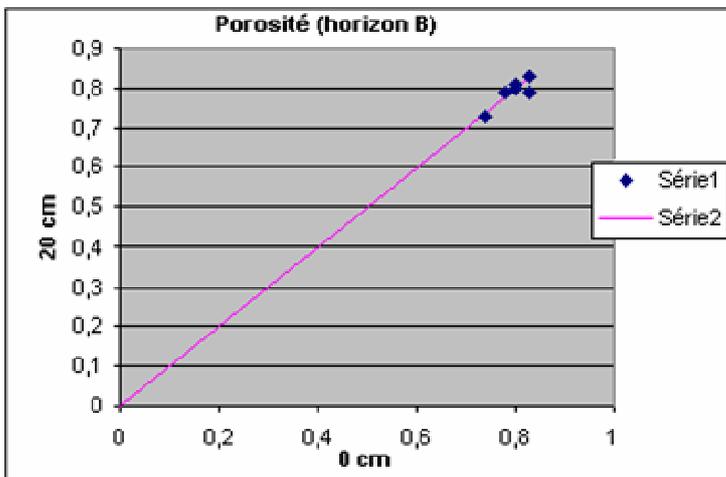
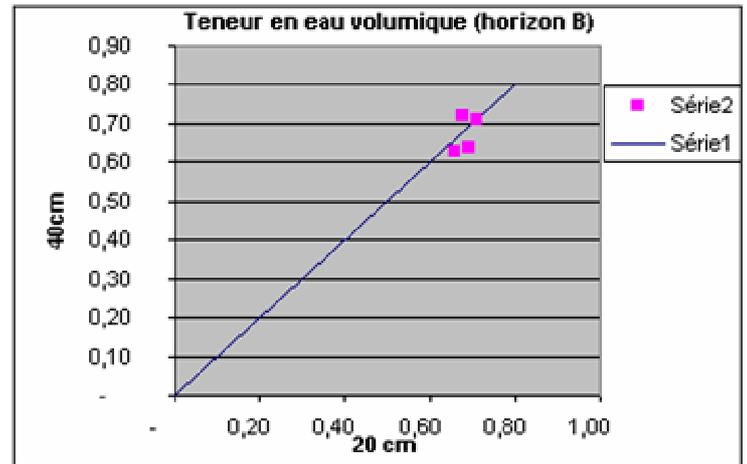
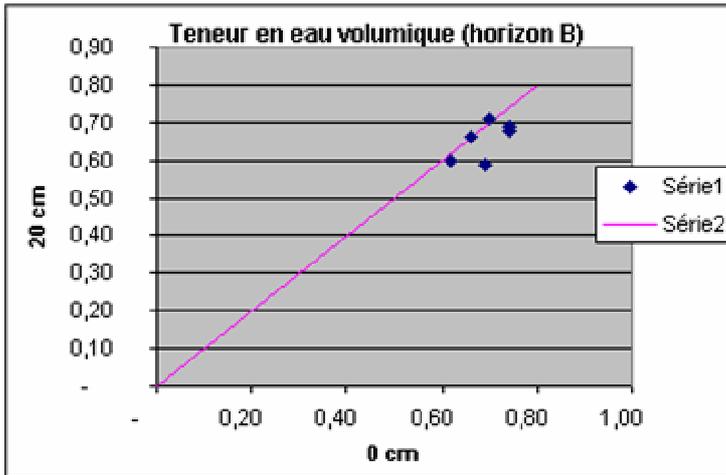
Cette série d'analyses démontre que les variables « teneur en eau » et « porosité » semblent les plus corrélées entre elles. Même si les 3 autres variables « Dens. App. », « Ind. des vides » et « Hum. Pond » semblent légèrement moins corrélées, on peut affirmer qu'il y a corrélation entre les 3 profondeurs 0, 20 et 40 cm pour l'ensemble des 5 variables. Ainsi, nous

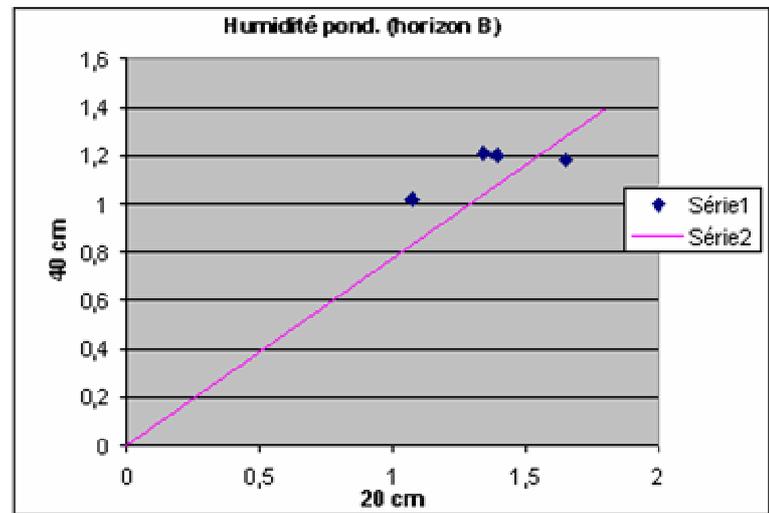
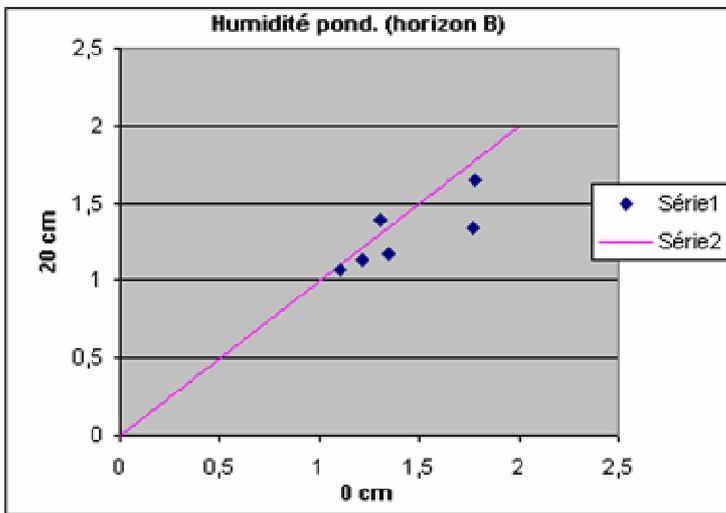
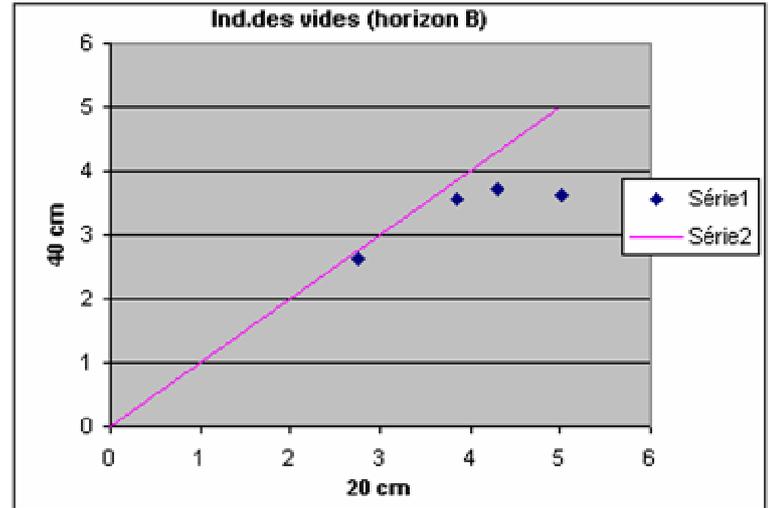
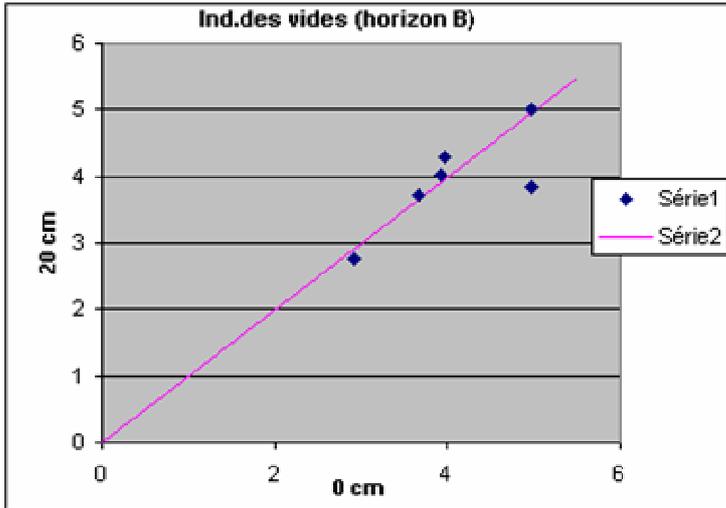
pourrons désormais travailler sur les moyennes de ces profondeurs pour l'ensemble des 5 variables.

Conclusion :

Nous pouvons en déduire que les paramètres responsables de la variation de l'infiltration ne sont pas liés au profil. Ces premiers résultats ne permettent pas de mettre en évidence une continuité hydraulique sur les 40 premiers cm de profondeur.

Nous pouvons réaliser la même démarche pour les mesures réalisées en horizon B afin de se rendre compte s'il existe le même comportement parmi cette autre série.





Observation :

Ainsi, nous pouvons remarquer que les profondeurs sont également corrélées pour les horizons B même si ces résultats sont moins sensibles sur les graphiques du fait que les points sont peu nombreux. Il n'existe pas de continuité hydraulique sur les 40 premiers cm.

Conclusion :

Les résultats obtenus démontrent que la variabilité entre l'horizon A et l'horizon B est plus étroite que la variabilité obtenue pour l'horizon A en elle-même.

Il semble alors judicieux de comparer les couples horizons A / horizons B quand leur localisation est proche.

D'après la carte réalisée sur le logiciel cartographique (cf. **Carte 4, située en annexe 2** : Sites de mesure d'infiltrométrie au double anneau sur le bassin versant de Féfé (août 2005),

Source : A.Cavasino, 2005), nous décidons d'établir les comparaisons suivantes :

<i>Sites en horizon A</i>		/	<i>Sites en horizon B</i>	
10		/	30	
11		/	29	
1		/	27	
24		/	26	
23		/	2	

Couple HA/HB	Infiltration	Dens.app. sèche	Teneur en eau vol.	Porosité	Indices des vides	Humidité pondérale
HA, site 10	26.6	0.47	0.68	0.81	4.46	1.47
HB, site 30	24.12	0.51	0.64	0.80	3.97	1.26
HA, site 11	18.2	0.41	0.66	0.84	5.24	1.64
HB, site 29	27.8	0.51	0.64	0.80	4.13	1.44
HA, site 1	69.75	0.65	0.5	0.74	2.88	0.78
HB, site 27	106.7	0.50	0.65	0.8	4	1.3
HA, site 24	9.09	0.75	0.61	0.7	2.33	0.82
HB, site 26	21	0.67	0.71	0.73	2.76	1.06
HA, site 23	28.59	0.64	0.63	0.74	2.93	0.99
HB, site 25	88.5	0.46	0.69	0.81	4.54	1.54

**Tableau 8** : Comparaison des différentes variables relatives aux couples HA/HB à localisation semblable. (*Source* : A.Cavasino, 2005).

Observation :

Pour le premier couple, on remarque que pour une valeur de Ksat. sensiblement identique, les variables pour lesquelles les plus grandes différences s'observent sont l'Indice des vides et l'Humidité pondérale.

Pour tous les autres couples qui possèdent des valeurs d'infiltration très différentes (parfois jusqu'au triple pour le quatrième couple), les variables pour lesquelles les plus grandes différences s'observent sont toujours l'Indice des vides et l'Humidité pondérale.

Conclusion :

Bien que la distance séparant deux mesures d'horizons différents soit faible, les valeurs des infiltrations à saturation obtenues présentent de grandes variabilités. Ainsi, il pourrait être judicieux de donner une valeur représentative de Ksat pour des mesures effectuées en horizon A et des mesures effectuées en horizon B.

D'autre part, nous avons pu remarquer qu'importait la valeur d'infiltration obtenue, les variables les plus représentatives étaient l'Indice des vides ainsi que l'humidité pondérale.

## **4.2. L'analyse spatiale**

Dans cette seconde série d'analyse, on cherche à identifier un lien entre la variation des résultats obtenus et la position topographique sur le bassin versant.

### 4.2.1. Réalisation de cartes

Dans un premier temps, différentes cartes ont été élaborées grâce à un logiciel permettant de mettre en évidence les sites de mesure selon :

- leur localisation sur le bassin versant

Se reporter à la **carte 4 située en annexe 2** : Sites de mesures d'infiltrométrie au double anneau sur le bassin versant de Féfé (août 2005), (*Source* : A.Cavasino, 2005)

- leur taux d'infiltration obtenu

Se reporter à la **carte 5 située en annexe 3**: *Taux d'infiltration (Ksat) des andosols sur le bassin versant de Féfé (septembre 2005)*, (*Source* : A.Cavasino, 2005)

➤ le relief et l'occupation du sol

Se reporter à la **carte 6 située en annexe 4**: *Mise en évidence des sites de mesure selon le relief et l'occupation du sol relatifs au bassin versant de Féfé (septembre 2005)*, (*Source* : A.Cavasino, 2005).

D'après la **carte 6 de l'annexe 4** relative à l'occupation du sol sur le bassin, nous constatons que parmi l'ensemble des mesures réalisées, seules 4 correspondent à des sites « hors bananeraie ». Par conséquent, les mesures n'étant pas suffisamment bien réparties suivant l'ensemble des occupations du sol sur le bassin, nous ne pourrions pas effectuer de comparaison « bananeraie/hors bananeraie ».

Les types de comparaison possibles seront alors établis suivant deux axes :

- une différenciation verticale, c'est-à-dire toutes les comparaisons entre le morne et la plaine
- une différenciation longitudinale, c'est-à-dire toutes les comparaisons entre le haut et le bas du bassin.

Comparaison morne/plaine :

D'après la carte 5, nous pouvons remarquer qu'il existe des différences d'infiltration suivant l'emplacement des sites sur le morne ou la plaine. En général, les valeurs d'infiltration obtenues sur les parcelles situées sur le morne sont plus élevées que celles situées sur la plaine, et ce, pour une même culture.

D'après les cartes 5 et 6 relatives aux **annexes 3 et 4**, nous pouvons remarquer que sur la même partie morne, les taux d'infiltration obtenus sont plus faibles pour les parcelles cultivées en bananeraie jeune et situées sur le haut du bassin que sur les parcelles cultivées en bananeraie pérenne.

Comparaison haut / bas du bassin :

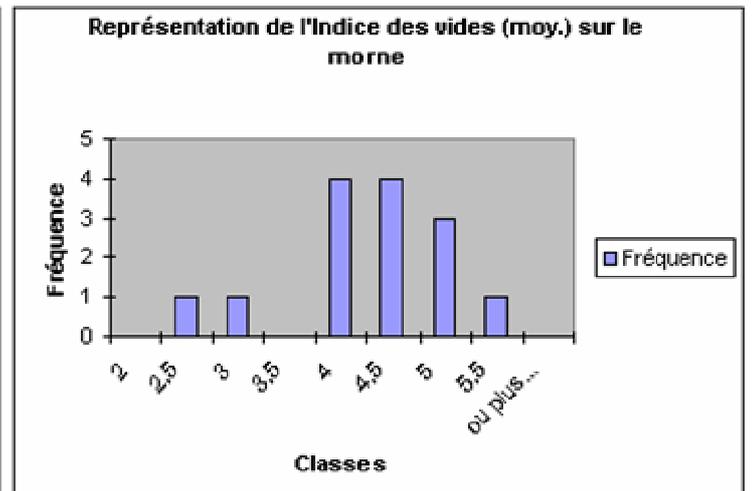
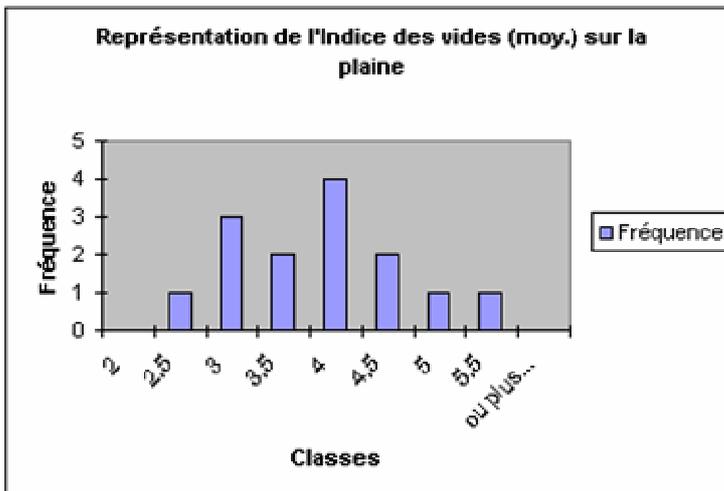
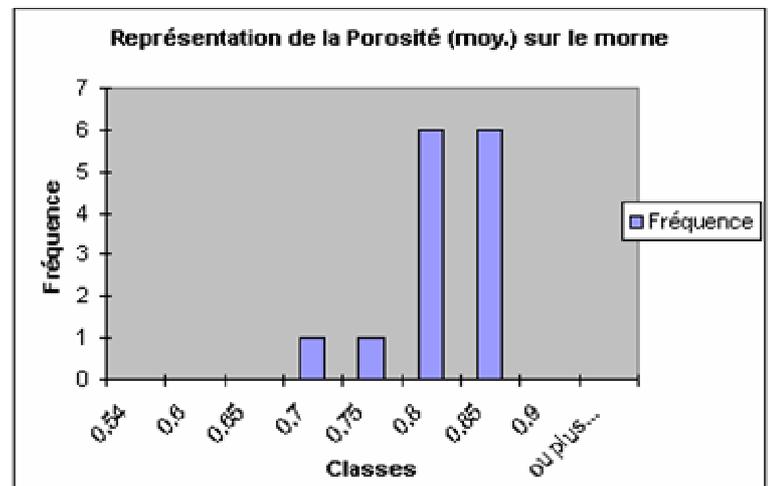
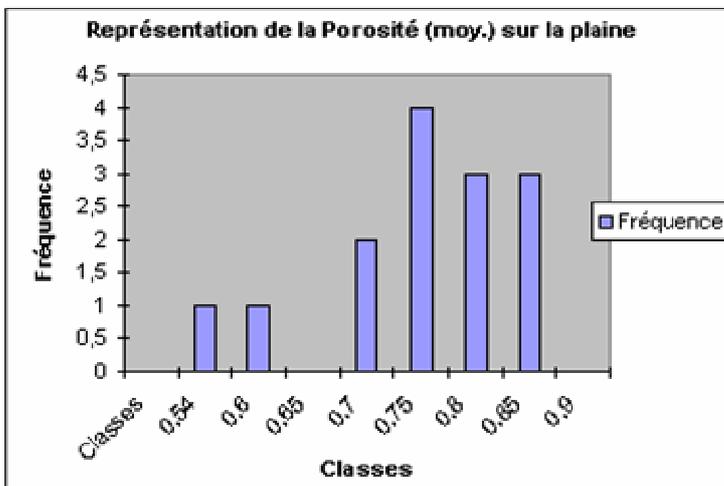
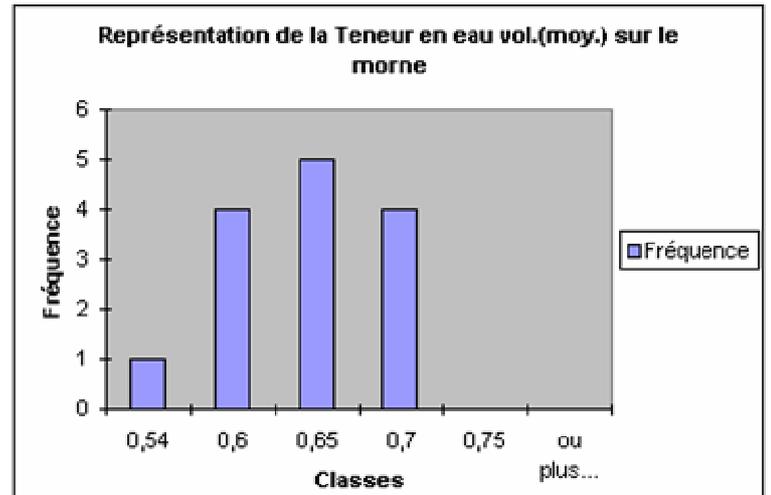
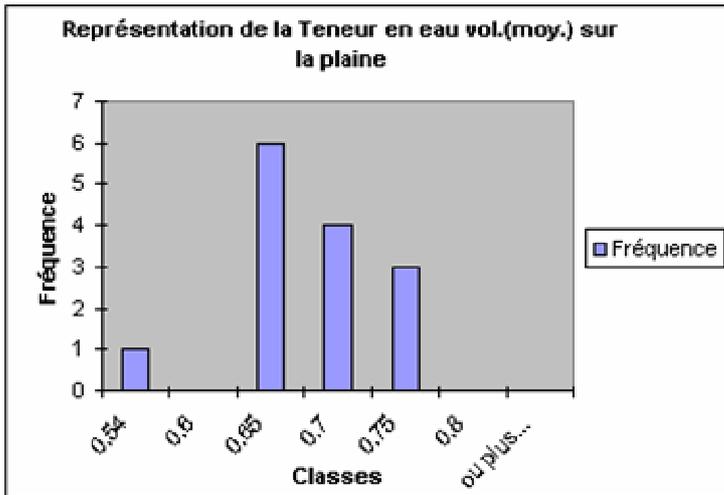
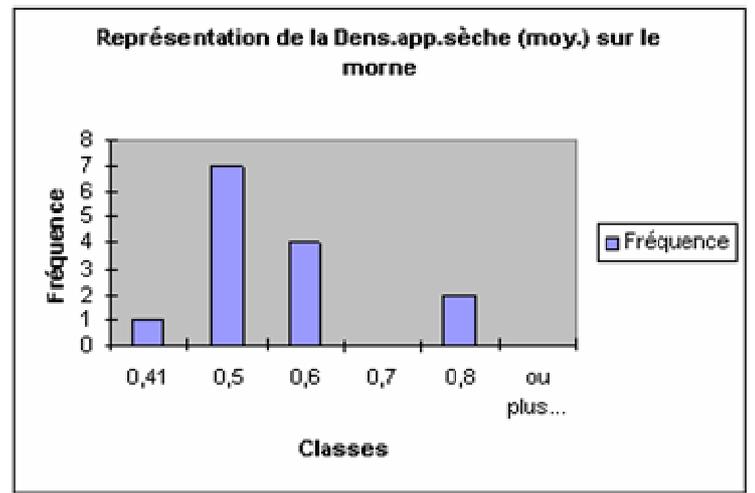
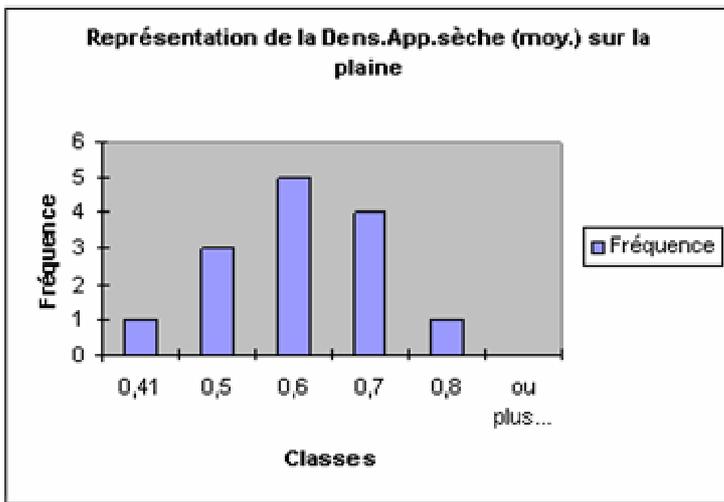
Les valeurs d'infiltration obtenues sur le haut du bassin versant (près du parc national) semblent globalement plus faibles que celles obtenues sur le bas du bassin ce qui semble logique du fait des caractéristiques d'un bassin versant énoncées précédemment. En effet, le haut du bassin est plus sensible à l'érosion, ce qui explique des vitesses d'infiltration faibles tandis que des phénomènes d'accumulation d'eau existent sur le bas du bassin et se caractérisant alors par des vitesses d'infiltration plus fortes.

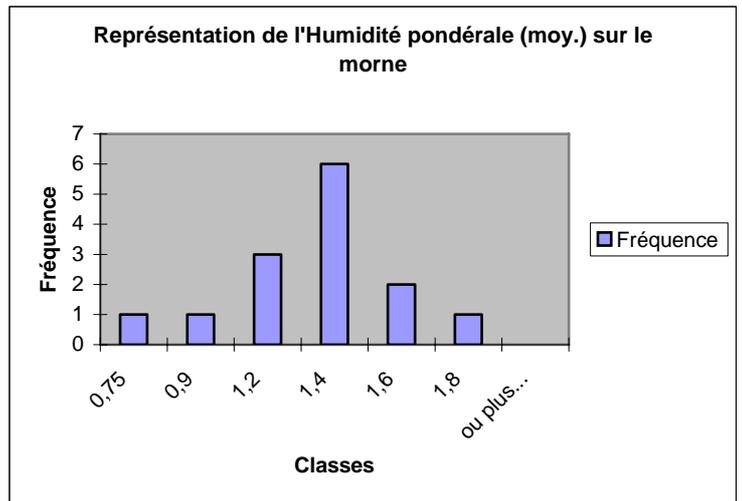
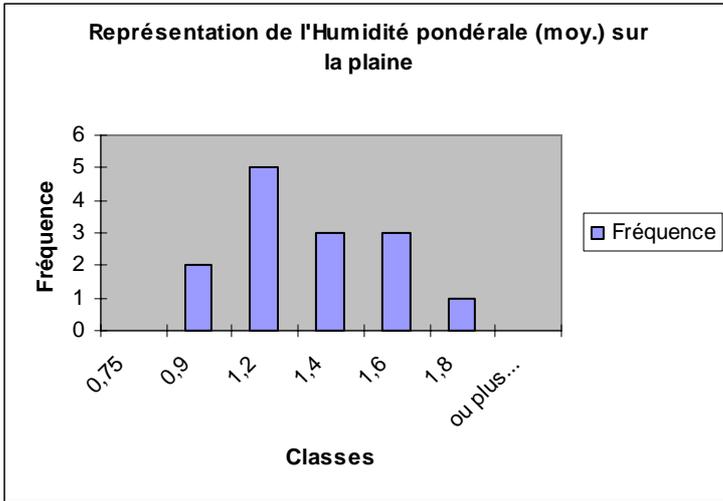
4.2.2. Réalisation d'histogrammes (*Source* : A.Cavasino, 2005)

Nous réalisons ensuite une série d'histogrammes permettant de confronter chacune des cinq variables avec la position topographique du site sur le bassin. L'objectif étant l'identification ou non d'une répartition équivalente entre le morne et la plaine.

D'après la **Figure 3** concernant l'« *implantation des profils sur une toposéquence* », on définit comme appartenant au « morne », le plan convexe ainsi que le versant plan et comme appartenant à la « plaine », le plan concave.

A partir de ces graphiques à classes homogènes, on réalise des tableaux de contingence permettant d'interpréter ces histogrammes en croisant les données obtenues pour chaque variable et selon les deux positions topographiques.





4.2.3. Réalisation de tableaux de contingence, (*Source : A.Cavasino, 2005*)

- Densité apparente sèche

	Morne	Plaine	Total
0.5 et -	8	4	<b>12</b>
0.6 et +	6	10	<b>16</b>
Total	14	14	<b>28</b>

- Teneur en eau volumique

	Morne	Plaine	Total
0.65 et -	10	7	<b>17</b>
0.7 et +	4	7	<b>11</b>
Total	14	14	<b>28</b>

- Porosité

	Morne	Plaine	Total
0.75 et -	2	8	<b>10</b>
0.8 et +	12	6	<b>18</b>
Total	14	14	<b>28</b>

- Indice des vides

	Morne	Plaine	Total
4 et -	6	10	<b>16</b>
4.5 et +	8	4	<b>12</b>
Total	14	14	<b>28</b>

- Humidité pondérale

	Morne	Plaine	Total
1.2 et -	5	7	<b>12</b>
1.4 et +	9	7	<b>16</b>
Total	14	14	<b>28</b>

### Observation :

Les tableaux de contingence permettent de rendre compte de la variabilité spatiale. En effet, dans notre cas, elles démontrent que les plus grandes différenciations des valeurs obtenues suivant la position topographique morne ou plaine, s'observent pour la **porosité** et la **teneur en eau volumique**.

A l'issu de cette observation, peut être pouvons nous démontrer par une autre méthode d'analyse que ces deux variables pourraient représenter des éléments déterminants face à la diversité des infiltrations obtenues.

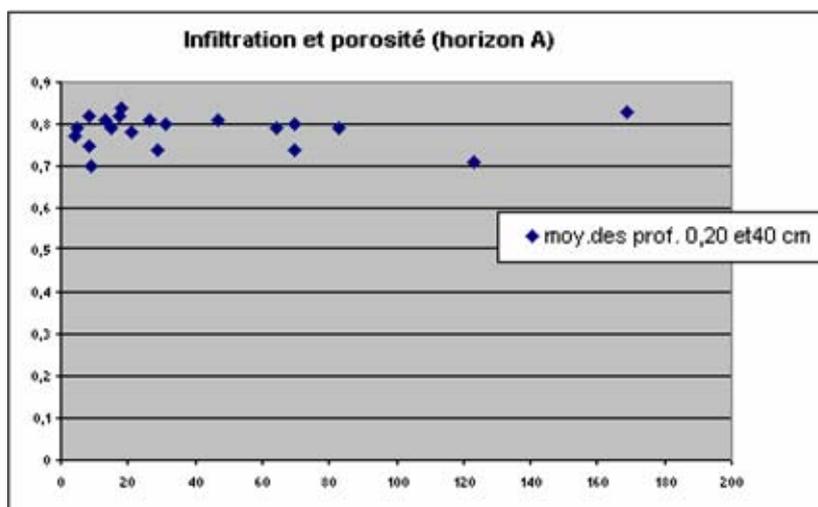
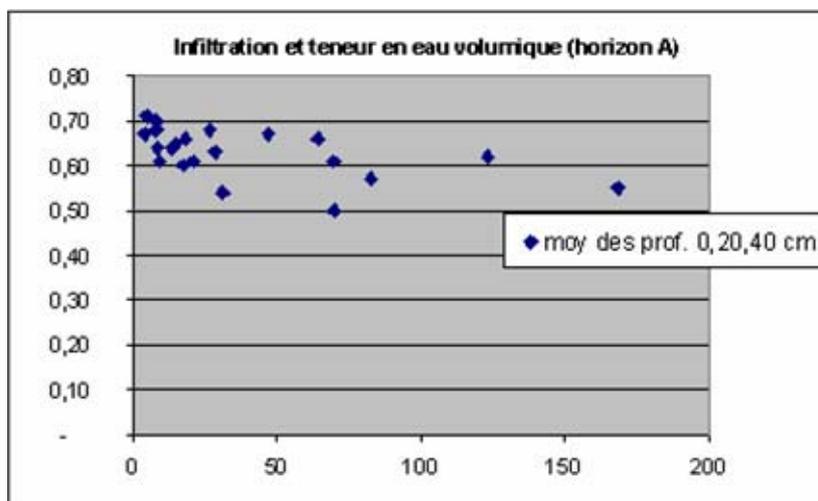
Ainsi, nous nous proposons d'étudier les déterminants de l'infiltration en dernière partie d'analyse et ce grâce à la méthode des régressions linéaires.

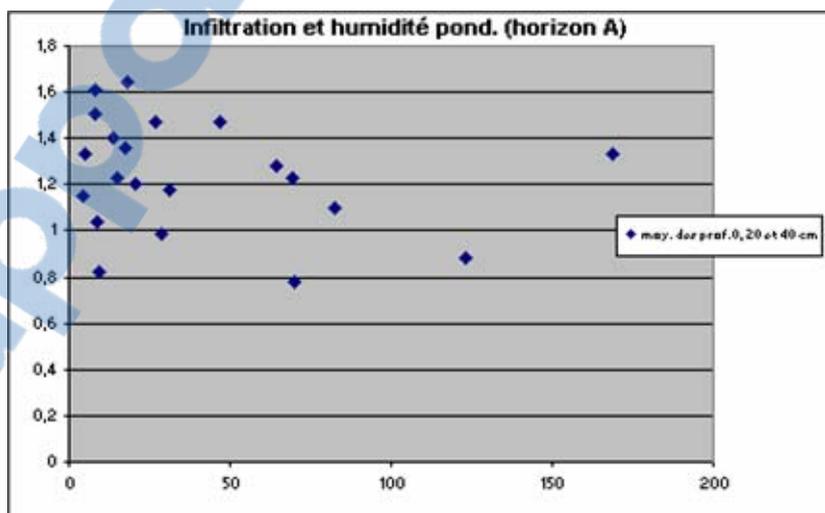
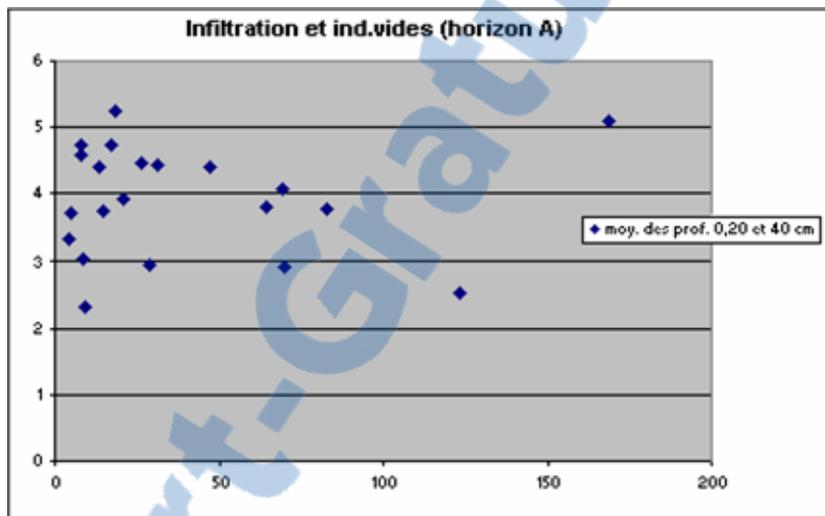
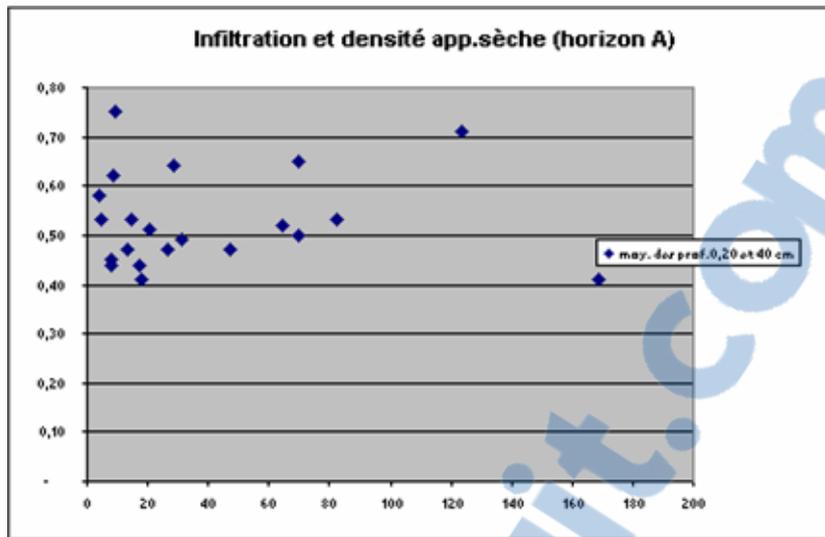
### **4.3. Recherche des déterminants de l'infiltration**

Il s'agit ici d'étudier la relation existante entre l'infiltration et les paramètres du sol.

#### 4.3.1. Analyse par graphiques, (*Source : A.Cavasino, 2005*)

Une nouvelle série de graphiques a été élaborée dans le but de confronter la variable « infiltration » (toujours représentée sur l'axe des abscisses) avec chacune des cinq autres variables (représentées sur l'axe des ordonnées) : teneur en eau volumique, porosité, densité apparente sèche, indice des vides et humidité pondérale.





Observation :

Pour les deux derniers graphiques : « infiltration et indice des vides » ainsi que « infiltration et humidité pondérale » semblent les moins corrélées entre elles. Nous pouvons alors considérer que ces deux variables « indice des vides » et « humidité pondérale » ne sont pas

suffisamment significatives pour rendre compte de la variabilité spatiale des différentes valeurs d'infiltration obtenues.

Cependant, les variables « teneur en eau volumique » et « porosité » rendent compte d'une corrélation satisfaisante. Cela semble confirmer nos arguments énoncés suite aux résultats obtenus d'après les tableaux de contingence. Ces deux variables semblent faire preuve une nouvelle fois d'éléments déterminants face à la diversité des infiltrations obtenues.

La variable « Densité apparente sèche » semble relativement bien corrélée également. Cependant, ces derniers résultats ne sont pas suffisants pour témoigner de la représentativité ou non de cette variable.

En conséquence, apportons un dernier élément à notre étude grâce à l'analyse par la méthode des régressions linéaires.

#### 4.3.2. Analyse par la méthode des régressions linéaires

Une autre méthode pour déterminer la ou les variables qui sont le plus corrélées à l'infiltration consiste à établir des régressions linéaires, en utilisant une option d'analyse sur Excel, entre la variable « infiltration » avec chacune des cinq autres.

Confrontation de la variable <i>Infiltration</i> avec...					
Autres variables (en moy.)	<i>Teneur en eau volumique</i>	<i>Densité apparente sèche</i>	<i>Porosité</i>	<i>Indices des vides</i>	<i>Humidité pondérale</i>
<b>Statistique de la régression</b> - coefficient de détermination multiple	<b>0.53</b> ↔explique 53 % de la variance	<b>0.026</b> ↔explique 2.6 % de la variance	<b>0.05</b> ↔explique 5% de la variance	<b>0.01</b> ↔explique 1.1 % de la variance	<b>0.24</b> ↔explique 24% de la variance
<b>Analyse de la variance</b> - valeur critique de F	<b>0.012</b> ↔1.2% de chance pour la non-corrélation entre les 2 variables	<b>0.91</b> ↔91 % de chance pour la non-corrélation entre les 2 variables	<b>0.83</b> ↔83 % de chance pour la non-corrélation entre les 2 variables	<b>0.96</b> ↔96 % de chance pour la non-corrélation entre les 2 variables	<b>0.28</b> ↔28 % de chance pour la non-corrélation entre les 2 variables
<b>% de corrélation entre les 2 variables</b>	<b>98.8 %</b>	<b>9 %</b>	<b>17 %</b>	<b>4 %</b>	<b>72 %</b>
Classement des variables selon l'importance de leur corrélation	<i>1</i>	<i>4</i>	<i>3</i>	<i>5</i>	<i>2</i>

**Tableau 9:** Synthèse des résultats obtenus lors des différentes régressions linéaires pour l'horizon A. (*Source : A.Cavasino, 2005*).

#### Observation :

Pour ce type d'analyse, nous n'admettons que 5% d'erreurs quant à la corrélation entre les deux variables.

Ainsi, seule la teneur en eau volumique est significative et représente alors le seul élément déterminant quant à la variabilité des valeurs d'infiltration à saturation obtenues.

## **5. Conclusion de l'ensemble de l'étude :**

L'objectif de cette étude était de disposer de données permettant une meilleure analyse verticale et spatiale de certains des facteurs favorables à la répartition ruissellement / infiltration. Il était aussi, de comprendre comment et à quelle vitesse les produits pesticides épandus vont contaminer le système hydrologique et ceci, grâce à une approche terrain permettant d'apporter des éléments concrets quant au fonctionnement de ce système.

La première étape de nos travaux a été de caractériser la variabilité spatiale et temporelle de la conductivité hydraulique à saturation grâce à la méthode du double anneau. Pour cela, une expérience de terrain permettant de réaliser une trentaine de mesures a été menée. L'objectif était de varier au mieux les mesures même si certaines contraintes comme le manque de chemins accessibles, de fortes pentes rendant le transport du matériel trop délicat, des parcelles abandonnées rendues inaccessibles, refus d'un agriculteur de toute coopération et accès à ses parcelles, etc. nous ont poussés à renoncer pour quelques uns des sites choisis préalablement. Ainsi, les mesures ont tout de même relevées de critères d'hétérogénéité (stade de développement, type de sol, position topographique, culture, etc.) pour une meilleure interprétation des résultats.

La seconde étape de nos travaux a été d'étudier, grâce aux différents prélèvements effectués sur chacun des sites, les relations entre l'eau et le sol avec quelques caractéristiques physiques et physico-chimiques des sols pouvant servir d'indicateurs de la capacité d'infiltration des sols. Il s'agissait d'exprimer les proportions de liquide présent pour chaque échantillon de terre.

Nous avons d'abord mesurer l'humidité du sol afin de mesurer la composition pondérale du matériau.

Grâce aux mesures réalisées sur cylindres, nous avons pu faire ressortir plusieurs caractéristiques physiques à travers différentes variables comme la Densité apparente, la teneur en eau volumique, l'indice des vides, la porosité et l'humidité pondérale.

D'autres mesures ont été effectuées au laboratoire d'agronomie concernant les potentiels du sol. Cependant, des erreurs de manipulation et des dysfonctionnements de l'appareil ont rendu inexploitable ces données.

Afin d'évaluer la teneur en carbone et donc de matière organique supposée présenter un phénomène de refus à l'infiltration, des analyses physico-chimiques ont été réalisées et déposées dans un laboratoire. Les résultats ne m'étant pas parvenus, ces données restent également inexploitable.

Enfin, la dernière partie de nos travaux tente de mettre en évidence des relations entre l'ensemble des résultats obtenus et d'en sortir des éléments déterminants quant à la variabilité des valeurs d'infiltration à saturation.

Cette démarche a été progressive et s'est articulée autour de deux champs d'interprétation principaux.

Dans un premier temps, il s'agissait d'établir des distinctions entre les variations verticale et spatiale.

### Analyse verticale :

D'après la première série de graphiques confrontant les profondeurs en horizon A, les paramètres responsables de la variation de l'infiltration ne sont pas liés au profil. Il n'existe pas de continuité hydraulique sur les 40 premiers centimètres de profondeur. Même raisonnement pour les horizons B, les profondeurs sont corrélées. La variabilité entre

l'horizon A et l'horizon B est plus étroite que la variabilité obtenue pour l'horizon A en elle-même.

Lors de la comparaison des couples horizon A / horizon B à localisation proche, il en est ressorti des valeurs d'infiltration très différentes. Ainsi, il semble judicieux pour des travaux futurs de prendre des valeurs représentatives différentes pour les horizons A et les horizons B.

#### Analyse spatiale :

Il s'agit d'établir des liens entre les résultats obtenus et la position topographique. Les mesures n'ayant pas été suffisamment bien réparties suivant l'ensemble des occupations du sol sur le bassin, il n'a pas semblé judicieux d'effectuer des comparaisons de type bananeraie / hors bananeraie, ce qui a limité mon analyse.

Grâce à la réalisation d'histogrammes et de tableaux de contingence, nous avons envisagé de confronter chacune des cinq variables avec la position topographique du site sur le bassin. Existe-t-il une répartition équivalente ou non entre le morne et la plaine ?

Ainsi, les plus grandes différenciations des valeurs obtenues suivant la position topographique ont concerné deux variables : la porosité et la teneur en eau volumique. A partir de ce constat, nous pouvons considérer que ces deux variables représentent des éléments déterminants face à la variabilité des infiltrations. Cependant, ce seul constat étant insuffisant, d'autres résultats doivent confirmer cette hypothèse.

Dans un second temps, il s'agissait d'identifier des déterminants de l'infiltration, c'est à dire d'étudier les relations entre l'infiltration et les paramètres du sol.

Une nouvelle série de graphiques a été élaborée dans le but de confronter la variable « infiltration » avec chacune des cinq autres. Cela a permis de mettre en évidence qu'une nouvelle fois, les variables porosité et teneur en eau volumique étaient les plus corrélées avec l'infiltration. D'après cette série de graphiques, la variable Densité apparente sèche ne semble pas exclue.

Enfin, la méthode des régressions linéaires a permis de mettre en évidence que, seule, la teneur en eau volumique représente une variable significative quant à la variabilité des valeurs d'infiltration à saturation obtenues. Cette variable pourra être prise en compte lors de travaux futurs.

L'étude proposée permet d'apporter des éléments nouveaux quant à l'appréhension des phénomènes de ruissellement et d'infiltration. Elle met à disposition des éléments déterminants permettant de rendre compte efficacement de la variabilité des vitesses d'infiltration obtenues sur le bassin pour de futurs travaux. Par conséquent, elle devra être confrontée aux résultats de nouvelles études afin que les analyses proposées puissent être validées ou infirmées.

## CONCLUSION

Bénéficiant de nombreux atouts tels qu'une position privilégiée et stratégique au confluent de flux économiques et culturels de la Caraïbe et des Amériques susceptibles d'offrir des débouchés importants ainsi qu'une base européenne de rayonnement dans la zone, une population jeune, une stabilité politique, des conditions fiscales privilégiées, le statut européen et de zone Euro,...la Guadeloupe connaît depuis deux à trois années une accélération de son développement. Elle se situe donc dans une dynamique de croissance accompagnée de compétences certaines et d'une volonté politique forte.

Des efforts sont dégagés pour favoriser le repositionnement de la Guadeloupe dans un environnement régional de plus en plus concurrentiel.

Parallèlement à cette politique d'accélération du développement, la Guadeloupe doit faire face à une dégradation certaine de son environnement. En effet, certains secteurs agricoles caractérisés par une consommation d'intrants très élevée, comme la filière banane, sont actuellement montrés du doigt en raison de leurs techniques culturales peu raisonnées et peu respectueuses de l'environnement.

Des solutions immédiates sont entreprises afin de mieux évaluer les impacts de l'agriculture sur l'environnement et de proposer aux agriculteurs des solutions alternatives visant des pratiques plus raisonnées.

Cependant, face aux grandes difficultés que traverse actuellement la filière et face à la situation particulièrement endettée de certains planteurs, il apparaît alors des enjeux considérables quant à la réalisation de cet objectif.

Ainsi, ces solutions ne peuvent être envisagées sans une démarche de durabilité et de réel soutien auprès des planteurs.

Afin de faire face à la concurrence des îles voisines, la Guadeloupe se doit d'améliorer ses systèmes de production dans les secteurs de l'agriculture et des services. En effet, nous avons pu constater que la filière diversification était en plein développement et que la filière maritime, quant à elle, en pleine restructuration.

Les productions de la Guadeloupe n'ayant toujours pas atteint le seuil d'autosuffisance des besoins de la population il existe alors des enjeux en terme de développement économique de ces filières, d'autant plus que certaines filières traditionnelles sont caractérisées depuis plusieurs années par un déclin de leurs revenus. .

Le secteur touristique a, quant à lui, encore un bel avenir.

## BIBLIOGRAPHIE

**ANDRE J.** : *Protocole de mesure de potentiel du sol en laboratoire*. Bulletin interne INRA, domaine Duclos.

**ANDRE J.** : *Mesures d'infiltrabilité in situ dans un sol saturé : la méthode du double anneau de Müntz, application aux andosols sous bananeraies*. Bulletin interne INRA, domaine Duclos, Mai 2003.

**ANDRIEU N.** : *Comment appréhender les pratiques culturales ?* Synthèse bibliographique de DEA Environnement, INAPG, 14 p. 2001.

*Atlas des départements français d'outre-mer, vol 3 : La Guadeloupe*. CNRS-ORSTOM, 1982. p. 2-10

**AUROUSSEAU P., GASCUEL-ODOUX C. et al.** *Méthode d'évaluation d'un risque parcellaire pour la contamination des eaux superficielles par les pesticides*. [en ligne]. INRA-ENSAR, Rennes. [consulté en juillet 2005]. Available from internet : <URL : <http://viviane.roazhon.inra.fr/spanum/publica/risque/pest-2.htm>>

**BONAN H. et PRIME J.L.** *Rapport sur la présence de pesticides dans les eaux de consommation humaine en Guadeloupe*. IGAS et IGE, 2001. 80 p.

**BONN F.** *Ecologie physique des bassins versants*. [en ligne]. [Consulté en juillet 2005]. Chapitre 4 . Les bassins versants ; Available from internet : <URL : <http://www.callisto.si.usherb.ca/fbonn/pageFB/GEO2004/chap4/Chap4.html>>

**BRETAUD P. et al.** : *Étude de la contamination des eaux de ruissellement par les pesticides utilisés en bananeraie*. Rapport d'exécution projet Cordet 93 D A 14, CIRAD-FLHOR ORSTOM, 1996. 26 p.

**CABIDOUCHE Y.M. et all.** : *La Guadeloupe au fil de l'eau*. Conseil de la Culture de l'Éducation et de l'Environnement de la Guadeloupe, 1994, 112 p.

**CAMBIER C. et PERRIER E.** : *Une approche multi-agents pour simuler les interactions entre des acteurs hétérogènes de l'infiltration et du ruissellement d'eau sur une surface du sol*. Revue inconnue. p 77-82. Post. 1995.

**CHARLIER JB.** : *Fonctionnement hydrologique d'un petit bassin versant tropical cultivé sur des formations volcaniques de couverture*, 2003, 30 p.

**CHOPART J.-L. et VAUCLIN M.** : "L'infiltrométrie multidisques pour la détermination *in situ* des caractéristiques hydrodynamiques de la surface d'un sol gravillonnaire de Côte-d'Ivoire". *L'agronomie tropicale*, vol. 46, n°4. 1992. p. 259-271.

**COLMET-DAAGE F. et LAGACHE P.** : *Caractéristiques de quelques groupes de sols dérivés de roches volcaniques aux Antilles françaises*. CahierS ORSTOM, vol. 3, fasc. 2. p 91-121. Paris, 1965.

**COMMISSION DE LA PRODUCTION ET DES ECHANGES SUR LE PROJET DE LOI DES FINANCES** : n°1805, 2000. Site Internet : [www.assemblee-nationale.fr](http://www.assemblee-nationale.fr).

**COMITE DE BASSIN DE LA GUADELOUPE** : *SDAGE : Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux : diagnostic et orientations fondamentales*. Brochure. 2003. 4 p.

**DOREL M.** : "Travail du sol en bananeraies : cas des andosols". *Fruits*, vol. 48, n°2. 1993. p 77-82.

**DOREL M.** : "Développement du bananier dans un andosol de Guadeloupe : effet de la compacité du sol". *Fruits*, vol. 48, n°2. 1993. p 83-88.

**DOREL M. et all** : "Porosity and soil water properties of Caribbean volcanic ash soils". *Soil Use and Management*, vol.16. 2000. p.133-140.

**DUCHAUFOR P.** : *Pédologie : pédogenèse et classification*. Paris : Masson, 1983. Sixième chapitre, Andosols. p 216-232.

*Étude et gestion des sols*. Num. sp. Vol 3, n°4. AFES, 1996.

**GUINDE L.** : *Culture bananière et environnement*. . Maîtrise de science et techniques, sciences agronomiques et développement rural, Université des Antilles et de la Guyane, effectuée au CIRAD-FLHOR, station de Neufchâteau, 29 p. 2000.

**GAUTRONNEAU Y. et MANICHON H.** : *Guide méthodique du profil cultural*. CEREF et GEARA, 1987. 71 p.

**GOUYER S.** : *Incidence de la redistribution de l'eau de pluie sur une bananeraie et sur sol nu*. Mémoire de fin d'études ISTOM, CIRAD-FLHOR, station de Neufchâteau, 37 p. 1999.

**HENIN S.** : *L'eau et le sol. Les propriétés mécaniques. La chaleur et le sol*. Cours de physique du sol I et II, ORSTOM-EDITEST.

**HILLEL D.** : *L'eau et le sol, principes et processus physiques*. VANDER, Louvain, 1974, édition mise à jour en 1988. 288 p.

**INSEE** : *Guadeloupe : une économie en déficit...d'image*, 2004. site Internet : [www.insee.fr](http://www.insee.fr)

**JOUVE S.** : *Caractéristiques hydriques et hydrodynamiques de deux types de sol – andosol – sol brun à caractère andique-*. . Mémoire de Licence de Gestion de l'Eau, Université d'Avignon, effectuée à l'Institut de Recherches Agronomiques Tropicales - Réunion, 94 p. 1984.

**JULIEN D.** : *Diagnostic du bassin versant du Pérou, Guadeloupe*. Mémoire de fin d'études ENSA Toulouse, CIRAD-FLHOR, station de Neufchâteau, 51 p. 2000.

**LABAS J.** : *Analyse des transferts d'eau en bananeraie : approche cartographique des problèmes de pollution sur le bassin versant de Haut Féfé*. Mémoire de fin d'études ISTOM, CIRAD-FLHOR, station de Neufchâteau, 65 p. 2002.

**LECOMTE V., LE BISSONNAIS Y., RENAUX B. et al.** *Erosion hydrique et transfert de produits phytosanitaires dans les eaux de ruissellement.* Cahiers Agricultures, 1997, n°6. p 175-183.

**LENGRAND L. et al.** *Mieux connaître la place de la recherche et du développement technologique dans les régions ultra périphériques de l'Europe et mieux les intégrer dans l'espace européen de la recherche.* Rapport régional Guadeloupe, 2000.

**NATUREMANIA :** La mutation indispensable pour sauver l'agriculture guadeloupéenne, Décembre 2004. Site Internet : [www.naturemania.com](http://www.naturemania.com)

**NOUVELLON A. :** *Redistribution de l'eau de pluie par le bananier.* Mémoire de fin d'études ISTOM, CIRAD-FLHOR, station de Neufchâteau, 46 p. 1999.

**OBSERVATOIRE INTERREGIONAL DU POLITIQUE :** [www.oip-sciences-po.fr](http://www.oip-sciences-po.fr)

**OLIVIER F. :** *Diagnostic sur la durabilité des systèmes de culture bananiers dans les Antilles françaises. Exemple de la zone Nord de la Martinique.* Mémoire de fin d'études INAPG, CIRAD-FLHOR, station de Moutte, 63 p. 1998.

**Secrétariat d'État à l'Outre-mer :** Secrétariat d'État à l'Outre-mer (mise à jour 12/12/2003) : <http://www.outre-mer.gouv.fr/domtom/guadeloupe>

**SICABAM :** *Le manuel du planteur.* SICABAM, Fort de France, 67 p. 1998.

**SICA ASSO BAG :** *Banane : spécial technique.* SICA ASSO BAG, Basse-Terre, n°45, 99 p. 1987.

**TIXIER P. :** *Catalogue des états de surface du sol sur la zone du bassin versant de la rivière Pérou.* . Rapport de VAtariat, CIRAD-FLHOR, station de Neufchâteau, 47 p. 2000.

## LISTE DES ILLUSTRATIONS

### ❖ Cartes

**Carte 1** : Carte de la Guadeloupe (*Source : Encyclopédia, 2004*)

**Carte 2** : Carte représentant la pluviométrie de la Guadeloupe (*Source : Météo France, 2004*)

**Carte 3** : Représentation de l'occupation du sol (zones agricoles et naturelles) de la Guadeloupe, (*Source : DAF, 2004*)

### ❖ Tableaux

**Tableau 1** : Tableau des valeurs ajoutées brutes par secteur (*Source : INSEE, 2004*)

**Tableau 2** : Mise en évidence des exportations de banane en quantités et en valeur, (*Source : Douanes CERDOC, 2003*).

**Tableau 3** : Résultats de la filière canne-sucre pour deux années consécutives, (*Source : Douanes, IEDOM, 2003*).

**Tableau 4** : Comparaison de la fréquentation touristique en Guadeloupe pour deux années consécutives (*Source : Délégation Régionale du Tourisme, 2001*).

**Tableau 5** : Récapitulatif des mesures selon différentes variable (*Source : A.Cavasino, 2005*).

**Tableau 6** : Quantité d'eau nécessaire ( en litres) dans chaque compartiment pour réaliser l'infiltration à différents temps de mesure (1h à 24h) en fonction des taux d'infiltration, (*Source : P.Cattan, 2005*).

**Tableau 7** : Relation entre pF et taille des pores actifs. (*Source : INRA, 1998*).

**Tableau 8** : Comparaison des différentes variables relatives aux couples HA/HB à localisation semblable. (*Source : A.Cavasino, 2005*).

**Tableau 9** : Synthèse des résultats obtenus lors des différentes régressions linéaires pour l'horizon A. (*Source : A.Cavasino, 2005*).

### ❖ Figures

**Figure 1** : Localisation du bassin versant de Féfé situé au cœur du « croissant bananier » de la Basse Terre (*Source : J.Labas, 2002*).

**Figure 2** : Illustration du phénomène de Foehn s'appliquant sur le bassin versant de Féfé (*Source : C.Perpina, 2001*).

**Figure 3** : Implantation des profils sur une toposéquence (*Source : J.Labas, 2002*).

**Figure 4** : Agencement et nomenclature des 3 horizons (A,B,C) en milieu anthropique, (*Source : C.Perpina, 2001*).

**Figure 5** : Différenciation des horizons A et B dans un profil d'andosol, Parcelle 26, (*Source : Malaval, 2002*).

## ❖ Photos

**Photos 1,2** : Mise en évidence géographique du site XVIII : point de mesure et environnement de la parcelle 30, en bananeraie pérenne sol enherbé situé sur le morne. (*Source : A.Cavasino, 2005*).

**Photos 3,4** : Mise en évidence géographique du site XXII, point de mesure et environnement de la parcelle 3, en jachère situé sur la plaine, (*Source : A.Cavasino, 2005*).

**Photo 5** : Illustration de la mise à saturation, 24h avant la réalisation de la mesure (*Source : A.Cavasino, 2005*).

**Photo 6** : Illustration de la mise sous contrainte des mottes à pF 2. (*Source : A.Cavasino, 2005*).

**Photo 7** : Préparation des échantillons pour la mise sous contrainte, (*Source : A.Cavasino, 2005*).

## TABLE DES ANNEXES

- ❖ **Annexe 1** : Fiche terrain de description du site, (*Source : A.Cavasino, 2005*).
- ❖ **Annexe 2** : Carte 4 : Sites de mesure d'infiltrométrie au double anneau sur le bassin versant de Féfé (aout 2005), (*Source : A.Cavasino, 2005*).
- ❖ **Annexe 3** : Carte 5 : Taux d'infiltration (Ksat) des andosols sur le bassin versant de Féfé (septembre 2005), (*Source : A.Cavasino, 2005*).
- ❖ **Annexe 4** : Carte 6 : Mise en évidence des sites de mesure selon le relief et l'occupation du sol relatifs au bassin versant de Féfé (Septembre 2005), (*Source : A.Cavasino, 2005*).