



PROGRAMME EUROPEEN DOCUP 2000-2006

**PROGRAMME DE TRAVAUX D'APPUI AU DEVELOPPEMENT
DE LA CANNE A SUCRE EN GUADELOUPE**

**CONTRAT D'ENTREPRISE DU CIRAD-CA
2^e TRANCHE – Année 2004**

RAPPORT D'ACTIVITES

**ROTATION CANNE BANANIER / CANNE / BANANIER :
BIODIVERSITE ET EVOLUTION BIOLOGIQUE DU
MILIEU CULTIVE.**

**Chercheur : Jean-Heinrick DAUGROIS
Bernard VERCAMBRE
Christophe POSER**

**Stagiaire : Frédéric CARAY
(stage de DEA « Sciences Agronomiques » de l'INPL)**

JUIN 2005

**PROGRAMME EUROPEEN
DOCUP 2000-2006**

**PROGRAMME DE TRAVAUX D'APPUI AU DEVELOPPEMENT
DE LA CANNE A SUCRE EN GUADELOUPE**

CONTRAT D'ENTREPRISE DU CIRAD-CA – 2ème TRANCHE

RAPPORT D'ACTIVITES – deuxième PARTIE (2004)

Agronomie

ROTATION BANANIER / CANNE A SUCRE / BANANIER : BIODIVERSITE ET EVOLUTION BIOLOGIQUE DU MILIEU CULTIVE

Chercheur : J.H. Daugrois, B. Vercambre, C. poser

Stagiaire : Frédéric Caray (stage de DEA «Sciences Agronomiques» de l'INPL)

Problématique

Dans une conjoncture économique mondiale défavorable aux exploitations bananières guadeloupéennes, l'adjonction de difficultés liées à des investissements de plus en plus risqués, au respect des normes relatives à des préoccupations environnementales toujours plus importantes, à des conflits sociaux à répétition et aux calamités météorologiques en séries, remet en cause, aujourd'hui plus que jamais, la durabilité des activités rattachées à la production bananière guadeloupéenne, et, par extension, à celle des Antilles françaises.

L'intensification des pratiques culturales dans la zone de Capesterre-Belle-Eau (première région productrice de bananes en Guadeloupe) sur-ajoute une composante agronomique à l'ensemble de ces difficultés. En effet, la monoculture bananière y est à l'origine d'une dégradation physico-chimique du sol, et de l'émergence de parasites telluriques dont l'activité fait baisser les rendements et la longévité des bananeraies. Pour remédier à ces problèmes, l'application d'intrants (produits phytosanitaires, engrais) à très fortes doses et à haute fréquence a longtemps été considérée comme la seule issue.

Cependant, dans le contexte tel qu'il se dessine depuis quelques années, il s'est avéré nécessaire de trouver des solutions économiquement, socialement et écologiquement plus acceptables. Dans cette optique, le CIRAD s'est engagé dans la mise au point et/ou l'adaptation de solutions agronomiques susceptibles de répondre le plus efficacement possible à ces aspirations. Outre les avancées faites en termes de lutte raisonnée, de lutte biologique et de sélection variétale, un fort intérêt a été porté à l'association de cultures et à l'introduction de jachères ou de cultures de rotation. L'introduction de la culture de la canne à sucre dans le système de production bananier semble notamment être une solution intéressante à plusieurs égards. Tout d'abord, l'introduction d'un cycle de canne entre deux cycles de bananiers permet d'assainir le sol de manière très satisfaisante. Ensuite, la canne semble avoir un effet améliorateur sur la structure du sol. Enfin, les conditions climatiques de la zone de Capesterre étant

favorables à la production d'une canne "usinable" et à très bon rendement, l'intérêt économique d'une telle rotation s'en voit renforcé.

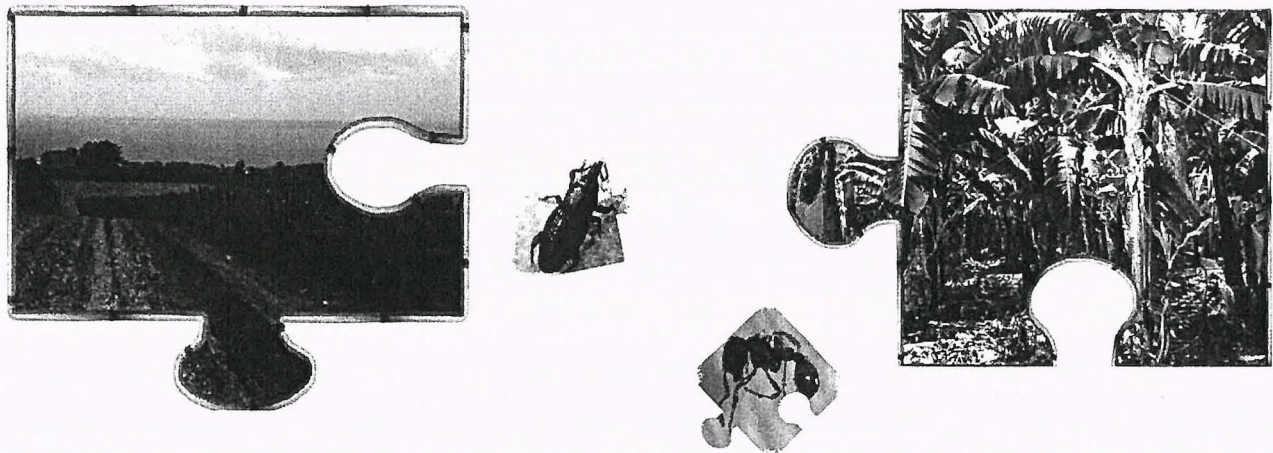
Les premiers résultats liés à la mise en oeuvre de cette rotation (testée depuis 1998) sont encourageants. Cependant, quelques interrogations subsistent suite au constat fait par B. Vercambre (entomologiste au CIRAD) à l'issue de deux missions effectuées en Guadeloupe en 2002 puis en 2003. Il s'est avéré que les attaques du foreur de tige (*Diatraea saccharalis*) étaient anormalement importantes en première année d'implantation de canne après bananier, alors que les niveaux d'attaques en deuxième ou troisième année de canne après bananier repassaient en dessous du seuil de nuisibilité. Outre la mise en évidence de problèmes sanitaires dont les conséquences exactes sur la qualité et le niveau de la production restent à déterminer, ce constat amène à s'interroger sur le bien fondé d'une telle rotation d'un point de vue de l'équilibre biologique du milieu cultivé. L'étude qui va suivre s'attachera, dans cette optique, à révéler sous un angle particulier l'ampleur des modifications affectant le vivant dans le cadre de la rotation bananier / canne à sucre ! bananier.



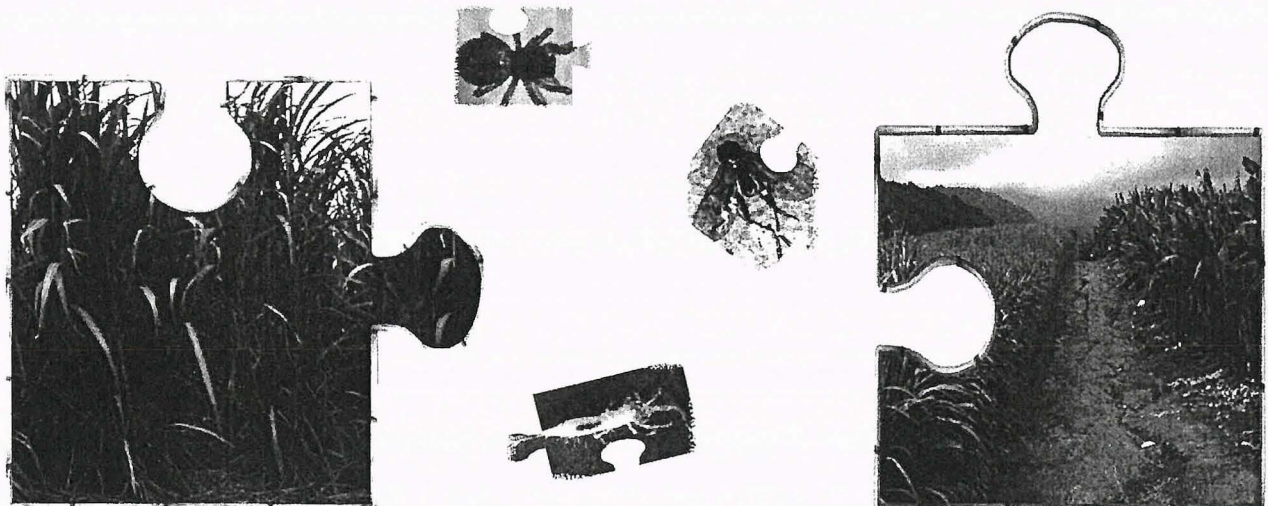
MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du titre d'Ingénieur Agronome de l'ENSAIA

Pour l'obtention du DEA «Sciences Agronomiques» de l'INPL



**ROTATION BANANIER / CANNE A SUCRE / BANANIER :
BIODIVERSITE ET EVOLUTION BIOLOGIQUE
DU MILIEU CULTIVE**



CIRAD CA

Station de Roujol
97170 - Petit-Bourg
GUADELOUPE

Frédéric CARAY

Septembre 2004



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du titre d'Ingénieur Agronome de l'ENSAIA

Pour l'obtention du DEA «Sciences Agronomiques» de l'INPL

**ROTATION BANANIER / CANNE A SUCRE / BANANIER :
BIODIVERSITE ET EVOLUTION BIOLOGIQUE
DU MILIEU CULTIVE**

Présenté par :

Frédéric CARAY

Stage effectué sous la direction de :

Mr Bernard VERCAMBRE

Entomologiste au CIRAD CA, Montpellier

Mr Jean Heinrich DAUGROIS

Pathologiste au CIRAD CA, Guadeloupe

CIRAD CA
Station de Roujol
97170 - Petit-Bourg
GUADELOUPE

Soutenu le 03 Septembre 2004

INTRODUCTION

Dans une conjoncture économique mondiale défavorable aux exploitations bananières guadeloupéennes, l'adjonction de difficultés liées à des investissements de plus en plus risqués, au respect des normes relatives à des préoccupations environnementales toujours plus importantes, à des conflits sociaux à répétition et aux calamités météorologiques en séries, remet en cause, aujourd'hui plus que jamais, la durabilité des activités rattachées à la production bananière guadeloupéenne, et, par extension, à celle des Antilles françaises.

L'intensification des pratiques culturales dans la zone de Capesterre-Belle-Eau (première région productrice de bananes en Guadeloupe) sur-ajoute une composante agronomique à l'ensemble de ces difficultés. En effet, la monoculture bananière y est à l'origine d'une dégradation physico-chimique du sol, et de l'émergence de parasites telluriques dont l'activité fait baisser les rendements et la longévité des bananeraies. Pour remédier à ces problèmes, l'application d'intrants (produits phytosanitaires, engrais) à très fortes doses et à haute fréquence a longtemps été considérée comme la seule issue.

Cependant, dans le contexte tel qu'il se dessine depuis quelques années, il s'est avéré nécessaire de trouver des solutions économiquement, socialement et écologiquement plus acceptables. Dans cette optique, le CIRAD s'est engagé dans la mise au point et/ou l'adaptation de solutions agronomiques susceptibles de répondre le plus efficacement possible à ces aspirations. Outre les avancées faites en termes de lutte raisonnée, de lutte biologique et de sélection variétale, un fort intérêt a été porté à l'association de cultures et à l'introduction de jachères ou de cultures de rotation. L'introduction de la culture de la canne à sucre dans le système de production bananier semble notamment être une solution intéressante à plusieurs égards. Tout d'abord, l'introduction d'un cycle de canne entre deux cycles de bananiers permet d'assainir le sol de manière très satisfaisante. Ensuite, la canne semble avoir un effet améliorateur sur la structure du sol. Enfin, les conditions climatiques de la zone de Capesterre étant favorables à la production d'une canne «usable» et à très bon rendement, l'intérêt économique d'une telle rotation s'en voit renforcé.

Les premiers résultats liés à la mise en œuvre de cette rotation (testée depuis 1998) sont encourageants. Cependant, quelques interrogations subsistent suite au constat fait par B. Vercambre (entomologiste au CIRAD) à l'issue de deux missions effectuées en Guadeloupe en 2002 puis en 2003. Il s'est avéré que les attaques du foreur de tige (*Diatraea saccharalis*) étaient anormalement importantes en première année d'implantation de canne après bananier, alors que les niveaux d'attaques en deuxième ou troisième année de canne après bananier repassaient en dessous du seuil de nuisibilité. Outre la mise en évidence de problèmes sanitaires dont les conséquences exactes sur la qualité et le niveau de la production restent à déterminer, ce constat

amène à s'interroger sur le bien fondé d'une telle rotation d'un point de vue de l'équilibre biologique du milieu cultivé. L'étude qui va suivre s'attachera, dans cette optique, à révéler sous un angle particulier l'ampleur des modifications affectant le vivant dans le cadre de la rotation bananier / canne à sucre / bananier.

I – CONTEXTE

L'agriculture constitue un élément essentiel de l'activité économique de la Guadeloupe. Elle est dominée, en terme d'activité exportatrice, par deux filières : la banane (21% de la production agricole finale) et la canne à sucre (sucre et rhum : 19% de la production agricole finale). Les autres productions végétales, essentiellement maraîchères vivrières, représentent 42% de la production agricole finale (cf. **figure 1**). Cependant, ces dernières sont quasi exclusivement destinées au marché guadeloupéen, dont elles ne couvrent qu'une partie des besoins. Constituant les deux principales sources d'emplois et de revenus agricoles du département, la canne à sucre et la banane restent bel et bien les deux piliers de l'agriculture guadeloupéenne.

Avec une occupation de plus de 25% de la SAU totale (Surface Agricole Utile), la canne à sucre est la culture la plus étendue en Guadeloupe. Les quelques 5700 planteurs se répartissent essentiellement sur la Grande-Terre, au nord de la Basse-Terre et à Marie-Galante (FAOSTAT, 2003). Une description de la culture de la canne à sucre en Guadeloupe est présentée en **ANNEXE 1**.

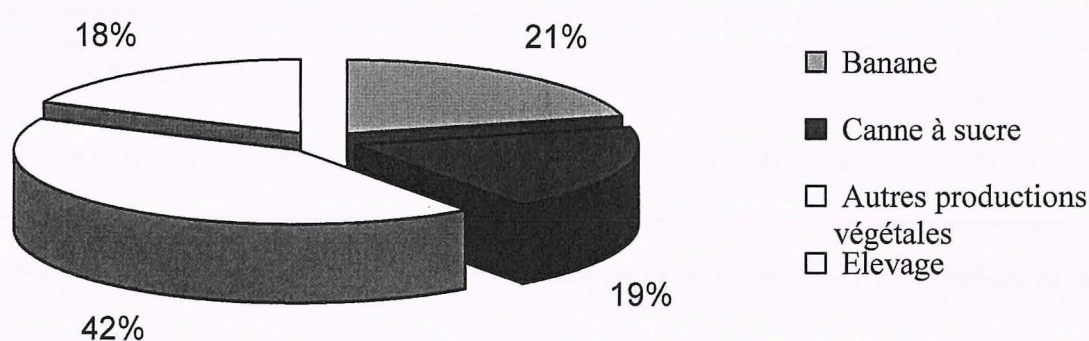


Figure 1: Part des différentes productions dans la valeur de la production agricole finale de la Guadeloupe (2002) (IEDOM, 2003)

La culture bananière, pour sa part, reste l'une des plus étendues en Guadeloupe avec environ 12% de la SAU totale, et ce même si les surfaces plantées diminuent depuis quelques années (5700 ha en 2003 contre 7100 ha en 1991) (FAOSTAT (2004) / AGRESTE (1992)). Les 630 exploitations actuelles sont principalement concentrées dans les parties Sud et Est de la Basse-Terre. La commune de Capesterre-Belle-Eau regroupe à elle seule 55% des surfaces cultivées en banane (AGRESTE, 2003). La vie économique et sociale ainsi que le paysage de cette zone sont profondément marqués par la culture bananière. Une description de cette dernière à l'échelle de la Guadeloupe est présentée en **ANNEXE 2**.

1 – LA BANANE GUADELOUPEENNE : UNE CULTURE EN CRISE

Depuis 1960, date de la fermeture de l'usine sucrière de Marquisat, la culture de la banane a remplacé celle de la canne à sucre dans la région de Capesterre-Belle-Eau. Les exploitations se sont spécialisées dans cette production qu'elles pratiquent en monoculture, se sont modernisées et ont recours à des pratiques de plus en plus intensives et mécanisées. Le niveau de production s'est amélioré progressivement mais, dans la dernière décennie, les aléas climatiques (cyclones, épisodes secs) et les désordres sociaux n'ont pas permis de dégager une production suffisante en quantité et en qualité, pour faire face aux exigences d'un marché de plus en plus concurrentiel et à des charges d'exploitations croissantes.

- **La culture bananière victime des aléas climatiques**

Le bananier est une plante tropicale exigeante en eau et en chaleur. En cela, le climat de la Basse-Terre convient parfaitement à cette culture. Cependant, l'insularité ainsi que la position géographique de la Guadeloupe l'assujettissent à des épisodes météorologiques parfois violents. Les cultures bananières, très sensibles au vent qui provoque la chute des bananiers ainsi qu'à la sécheresse, sont souvent celles qui en souffrent le plus. Or depuis 1989, la Guadeloupe a subi le passage de nombreux cyclones, dont les plus dévastateurs furent Hugo en 1989, Iris-Luis-Marilyn de 1995/1996, et Georges en 1998. Plusieurs années de sécheresse sévère se sont ajoutées à cela, la dernière dont les dégâts furent importants datant de 2001. La bananeraie guadeloupéenne a donc été gravement sinistrée ces quinze dernières années, la destruction des plantations ayant fortement déstabilisé la production (pertes de tonnage), endetté les planteurs et affaibli la filière entière (Mallessard, 1999).

- **La banane guadeloupéenne confrontée à un marché mondial fortement concurrentiel**

Jusqu'en 1992 la banane guadeloupéenne était protégée économiquement par des mesures de préférence nationale. Chaque pays de l'Union Européenne cherchait à protéger ses producteurs par le biais de prix soutenus et de restrictions quantitatives à l'importation sur les bananes issues des pays d'Amérique latine («bananes dollar»). Ces politiques nationales ont du être révisées en 1993 lors de la mise en place de l'Organisation Commune de Marché (OCM) pour la banane. Cette dernière a instauré un système de prix garantis et un régime d'aide compensatoire destinés à assurer un revenu minimum aux producteurs européens. Ce système, jugé discriminatoire et non conforme aux règles du commerce international, a été contesté par l'OMC (Organisation Mondiale du Commerce). Ainsi, malgré une première modification de l'OCM le 1^{er} janvier 1999 sous la pression des producteurs de «banane dollar» et une diminution consécutive des droits de douane pour ces pays, le nouveau régime européen d'importation a, de nouveau, été dénoncé. Il s'agit, cette fois-ci, du principe de quota spécifique attribué aux producteurs européens et aux pays de certaines zones anciennement colonisées. Ainsi, à partir du 1^{er} janvier 2006, la production communautaire et celle des pays «privilegiés» ne seraient donc assurées que par les droits de douane.

La concurrence africaine et latino-américaine inquiète de longue date les producteurs des DOM, notamment du fait des différences importantes de charges salariales. La forte chute des cours du début des années 1990 (2 Fr./kg en 1992, alors que le prix de revient était de l'ordre de 5,60 Fr./kg) a conduit au mouvement de colère historique des planteurs de banane de Guadeloupe et de Martinique en novembre 1992. Ils ont alors obtenu du gouvernement français une indemnisation et l'application d'une clause de sauvegarde pour que soit protégée leur production (Loeillet, 1998). Le problème majeur est le délai de versement des aides aux bénéficiaires, qui peut atteindre trois ans. Ce délai entraîne, notamment dans le cadre de gros investissements, des frais financiers importants et des difficultés de trésorerie pour le producteur-investisseur. Les accords de crédits sont de plus en plus rares par ailleurs, car les risques climatiques restent importants.

- **Des pratiques agricoles contestées**

Depuis près de cinquante ans, la banane est cultivée dans un système de monoculture suivant un itinéraire technique à haut niveau d'intrants. Cette pratique favorise le développement d'un parasitisme tellurique (nématodes et charançons) et aérien de plus en plus difficile à maîtriser et qui conduit les producteurs à utiliser toujours plus de pesticides. La monoculture associée à une mécanisation intense, souvent mal maîtrisée, contribue, par ailleurs, à la diminution de la fertilité physico-chimique des sols en bananeraie (Dorel, 1993).

- Dégradation de l'hygiène des parcelles :

Les nématodes (*Radopholus similis* et *Pratylenchus coffeae*) et les larves de charançon (*Cosmopolites sordidus*) sont les parasites causant le plus de préjudices aux bananiers. Leurs attaques occasionnent des blessures et des nécroses au niveau des racines. Il en résulte, d'une part, une réduction du nombre de pieds par unité de surface, liée à la chute de ces derniers due à l'action conjuguée du poids du régime et des vents (alizés) sur des bananiers dont l'ancrage au sol est altéré. D'autre part, le système racinaire ayant perdu en taille et en efficacité, il ne joue plus pleinement son rôle de puits pour l'eau et les éléments nutritifs. Le poids et la qualité du régime s'en retrouvent fortement affectés.

- Détérioration de la structure du sol :

Outre un appauvrissement chimique et biologique du sol en relation avec de nombreuses années de pratique d'une monoculture intensive, l'utilisation répétée de machines agricoles, tant à l'implantation que durant l'entretien des cultures, a lourdement contribué à la dégradation physique du sol. Les racines des bananiers nécessitant un sol meuble présentant une forte porosité sur les soixante premiers centimètres au moins (Stover et Simmonds, 1987), en sont affectés dans leur assise, ne leur permettant plus de résister aux vents violents.

Depuis quelques années, l'activité agricole bananière est critiquée pour ses effets néfastes soupçonnés ou avérés sur les différentes composantes de l'environnement (sol, eau, paysage). Les pratiques culturales sur bananiers ont notamment été directement mises en causes dans les récentes pollutions de plusieurs zones de captage d'eau potable. Les campagnes de prélèvement et de mesures des taux de pollution réalisées en 1999 et 2000, en rivière et sur les captages d'eau potable ont mis en évidence la contamination des eaux par des pesticides à forte rémanence de la famille des organochlorés (diéldrine, chlordécone) dans la zone sud de la Basse-Terre (Bonan et Prime, 2001). Ces pesticides étaient utilisés dans la culture de la banane auparavant et sont désormais interdits depuis de nombreuses années. D'autres résultats attestent de la présence de pesticides « autorisés » sur bananeraies dans les eaux de drainage et de ruissellement (CIRAD FLHOR, INRA, Martinique et Guadeloupe, 2000).

2 – LES SOLUTIONS AGRONOMIQUES

Malgré le contexte de crise économique, sociale et environnementale, la culture bananière semble rester une activité dont la Guadeloupe ne peut se passer sans craindre, d'une part, une dévaluation généralisée de sa production agricole et de son attrait paysager synonyme d'activité touristique, et d'autre part, un profond désarroi social lié à une forte augmentation potentielle d'un taux de chômage qui est déjà très élevé. Les enjeux sont donc de taille : il s'agit de maintenir

une production de banane de qualité, dans des exploitations économiquement viables et adoptant des pratiques permettant la gestion durable des ressources naturelles.

Des mesures telles que le haubanage à l'aide de ficelles, installées manuellement, reliant les pieds des bananiers les uns aux autres, ou le recours aux haies d'érythrine comme « brise vent », entraînent de lourdes charges d'exploitation et ne résolvent que partiellement les problèmes liés au parasitisme tellurique. En revanche, la jachère et les rotations culturales semblent être des solutions plus acceptables, non seulement économiquement mais aussi en terme de durabilité des pratiques culturales. La qualité de l'assainissement du sol lié à ces pratiques peut être estimée à partir de l'étude de quatre facteurs (Delvaux, 1989) : le choix de la plante de rotation, qui doit être non hôte ; la durée de la rotation ou de la jachère ; la pérennité de l'assainissement du sol ; la possibilité d'introduction ou de sélection de nouveaux parasites par la plante de rotation.

- **La jachère**

Besson et Dorel estiment qu'un arrêt de la culture pendant une durée de 12 mois, sans plante hôte, permet un abaissement satisfaisant du taux de nématodes dans le sol. D'après eux, plus la durée de l'interruption de la culture de banane est longue, plus la réinfestation par *Radopholus similis* est lente (Besson et Dorel, 1995).

La pérennité de l'assainissement dépend aussi fortement du matériel végétal utilisé lors de la replantation. L'utilisation de rejets favorise la réinfestation rapide de la parcelle alors que les parcelles plantées en vitroplants restent saines au moins deux ans (Ternisien et Ganry, 1990 ; Besson et Dorel, 1995).

Des travaux de recherche menés récemment au CIRAD FLHOR de Guadeloupe ont permis de mettre au point une fiche technique sur la jachère raisonnée (CIRAD FLHOR Guadeloupe, 2001).

Cette dernière se déroule en quatre étapes principales :

- Destruction de l'ancienne bananeraie par injection de Glyphosate, à l'aide d'une seringue, directement dans le pseudo-tronc. Les repousses sont détruites de manière systématique (glyphosate).
- Travail du sol ayant pour objectif de restaurer la structure du sol et de fractionner les bulbes et les racines des bananiers, ce qui accélère leur décomposition.
- Contrôle de la végétation naturelle par des applications de Glyphosate, afin de constituer un paillis végétal et d'éliminer de manière systématique toutes les plantes hôtes des nématodes.
- Plantation de vitroplants sur la parcelle assainie, au moins douze mois après la première injection de Glyphosate.

- **La rotation culturale**

Les graminées cultivées ou adventices sont généralement non-hôtes de *Radopholus similis*. Inversement, beaucoup de plantes maraîchères, de légumineuses et d'adventices dicotylédones peuvent être hôtes de ce nématode. Des travaux récents montrent que l'ananas, le soja fourrager et le petit trèfle (*Stylosanthes hamata*) constituent de bons précédents culturaux pour la banane. Ces plantes assainissent le sol de manière durable vis à vis de *Radopholus similis* : il faut au moins 18 mois avant une éventuelle recontamination (Risède, 1999).

Outre leur fonction «assainissante», certaines plantes ont montré des aptitudes à l'enrichissement du sol. C'est le cas notamment de certaines légumineuses (*Canavalia* et *Crotalaria*) et de graminées (*Bracharia decubens*, sorgho). Par contre, les plantes à bulbe (patate douce) et la jachère nue n'ont pas d'effet positif sur la fertilité du sol ; elles contribuent donc moins bien à l'augmentation des rendements sur la bananeraie suivante.

Plusieurs rotations culturales semblent être pratiquées aujourd'hui dans de grandes plantations en Martinique. La première rotation rencontrée est la rotation banane (5 ans) / ananas (5 ans), la seconde est la rotation banane (5ans) / canne (5ans) / ananas (5ans). L'assainissement induit est très satisfaisant puisqu'il permet quatre années de culture bananière à partir de vitroplants sans application de nématicide (Bulteau, 2002). Le malanga (*Xanthosoma sagittaeifolium*) est aussi utilisé en rotation avec la banane (banane (5 ans) / malanga (1 an)). Cette culture est jugée intéressante car elle permet une maîtrise de l'enherbement trois mois après la plantation (Bulteau, 2002).

La rotation bananier / canne à sucre / bananier :

En 1998, certains exploitants agricoles de la région de Capesterre-Belle-Eau ont eu l'initiative d'interrompre la monoculture de bananier par une culture quasiment absente de la zone depuis quarante ans : la canne à sucre. Ce sont des critères essentiellement économiques qui ont motivé ce choix. Il s'agissait, en effet, de limiter les coûts liés à l'application de produits phytosanitaires, de réduire les charges de main d'œuvre et d'assurer des bénéfices avec une culture nécessitant moins d'investissements financiers. Le travail du sol lié à l'installation de la culture, la plantation elle-même et le contrôle de l'enherbement constituent, en effet, les principaux investissements financiers pour la canne à sucre, et ils sont plus de cinq fois inférieurs aux investissements nécessaires à la mise en culture de la banane (Poser et Monsaingeon, 2002). Actuellement, près de 200 ha de bananiers sont concernés par ce schéma de rotation et les premiers rendements obtenus en canne avoisinent les 110 tonnes par hectare, permettant de dégager une marge brute de l'ordre de 3800 euros/ha/an (Poser et Monsaingeon, 2002). Même si cette marge est inférieure à celle qu'offre la production bananière, la sécurité des prix pratiqués et la garantie d'écoulement,

propres à la production cannière, constituent des arguments solides pour des planteurs qui sont souvent désabusés par les pertes de bénéfices liées au mûrissement trop précoce de leurs bananes dans les conteneurs pendant le transport en bateau.

D'un point de vue agronomique, la rotation bananier / canne / bananier présente un intérêt à plusieurs titres. Tout d'abord, la canne joue un rôle assainissant vis à vis des parasites telluriques. Il est cependant nécessaire de nuancer ce constat ; en effet, l'action assainissante de la canne semble varier en fonction de la variété considérée et du parasite étudié. Ainsi, il est avéré qu'un couvert de canne à sucre, quelle que soit la variété considérée, entraîne vite le développement de fortes populations de nématodes du genre *Pratylenchus* (nématodes faisant le moins de dégâts sur bananiers), tout en réduisant, voire même en supprimant, celles de *Radopholus similis*. Chez des bananiers implantés après trois années de canne à sucre de la variété R570, les populations de *Pratylenchus sp.* demeurent très élevées ; en revanche, les premières recontaminations du sol par *R. similis* n'apparaissent qu'après deux cycles de production sans recours aux nématicides (Risède, 2003).

En 2002, les travaux de Poser ont montré qu'il existe une relation étroite entre le travail des racines de la canne à sucre et la restructuration des sols dans le cadre de la rotation bananier / canne / bananier. Les racines de la canne semblent, en effet, avoir des facultés de pénétration et de colonisation des sols bien plus importantes que celles des racines du bananier. L'action de la canne à sucre sur la structure du sol pourrait profiter à la bananeraie lors de sa réimplantation, à condition de conserver cette structure par une préparation du sol adaptée (Poser, 2002).

Outre ces intérêts agronomiques, la pratique de la rotation permet un double gain écologique et économique via la diminution des applications de produits phytosanitaires. En effet, la culture de la canne est très peu consommatrice de pesticides et, grâce à son action assainissante, elle permet la suppression des traitements nématicides au cours des deux premiers cycles de la bananeraie implantée à sa suite.

Malgré les bienfaits avérés de l'introduction de la canne à sucre dans le système monocultural bananier de la zone de Capesterre-Belle-Eau, un certain nombre d'inconnues demeurent autour de la mise en application de la rotation. Ainsi, le manque de recul sur les pratiques liées à l'introduction de la canne à sucre, oblige à réfléchir sur la notion même de rotation qui est peut être employée abusivement. En effet, le terme de «rotation» implique non seulement que le choix de la succession des cultures est délibéré, mais aussi qu'il est programmé et qu'une certaine périodicité des pratiques est respecté. Or actuellement, la durée optimale de chacune des cultures est inconnue (dans le cadre de la rotation) et les pratiques culturales à mettre en œuvre pour valoriser au mieux les bienfaits de la rotation, ne sont pas encore bien établies (méthodes de suppression des cultures, préparation des sols, adaptation des traitements phytosanitaires, ...). Il

serait donc favorable de préciser ces points et de définir le profil des exploitations pouvant adopter un tel système de culture avant d'en inciter la plus grande diffusion.

3 – PROBLEMATIQUE ET LIMITES DE L'ETUDE

Les missions effectuées en Guadeloupe en 2002 puis en 2003 par B.Vercambre, entomologiste au CIRAD, ont montré que les attaques du foreur de tige (*Diatraea saccharalis*) sur canne à sucre étaient anormalement importantes en première année d'implantation de la canne à sucre après un cycle de bananier (attaques nettement au dessus du seuil de nuisibilité économique, fixé à 5% d'entre nœuds attaqués). Ces attaques revenaient au niveau moyen classiquement observé en Guadeloupe sur les mêmes parcelles de canne suivies en deuxième année (premiers rejets). Ce phénomène n'a été observé que sur des parcelles entrant dans le cadre de la rotation bananier / canne / bananier et situées dans la zone de Capesterre-Belle-Eau.

Ce constat est d'autant plus surprenant que De Conlong, dans une étude rapportée en 1995, montre que la mise en place d'intercultures dans un système où la canne à sucre est la culture dominante permet l'augmentation de la biodiversité, alors qu'un système monoculturel engendre une diversité biologique non seulement moins importante mais aussi moins apte à limiter les perturbations liées à l'apparition de nouvelles maladies ou de ravageurs (De Conlong, 1995). Il aurait donc fallu s'attendre à ce que l'alternance culturelle bananier / canne / bananier ait une action positive sur la biodiversité, et limite les phénomènes de sur-représentation des individus d'une espèce donnée.

Les principales hypothèses qui ont été avancées en guise d'explication mettaient en avant, soit une phase de plus grande sensibilité aux ravageurs due à l'installation d'un appareil végétatif nouveau (première année d'implantation de la canne après la banane), soit l'action des pratiques agricoles (plantation mécanique mal maîtrisée, traitements phytosanitaires, ...) provoquant une perturbation sur les populations d'organismes régulateurs (parasitoïdes, prédateurs, maladies).

Outre ces hypothèses, ceci amène à s'interroger sur la fragilité des équilibres se formant non seulement entre les ravageurs et leurs prédateurs (ou parasites), mais aussi, et surtout, entre toutes les espèces qui interagissent au sein de l'agro-écosystème qu'est le milieu cultivé dans le cadre de la rotation bananier / canne / bananier. Il s'agit bien ici d'une approche de la biodiversité et de son évolution au cours des différentes séquences d'un système de culture.

La diversité biologique – ou biodiversité – désigne la variabilité des organismes vivants de toute origine (plantes, animaux, microorganismes). Elle se définit à plusieurs niveaux :

- la variété interspécifique (en 2000, environ 1,8 millions d'espèces étaient connues) ;

- la variété intraspécifique (la diversité génétique dépendant des chromosomes et des gènes, qui déterminent le caractère unique de chaque individu à l'intérieur de chaque espèce) ;
- la variété des écosystèmes (interaction entre différentes formes de vie et leur milieu).

« Les produits et services offerts par notre planète sont fonction de la variété et de la variabilité des gènes, des espèces, des populations et des écosystèmes. Les ressources biologiques nous nourrissent, nous vêtent et nous fournissent logement, médicaments, et nourriture spirituelle. (...) La dégradation de la diversité biologique (...) conséquence de l'activité humaine (...) met gravement en péril le développement humain ». Ainsi était formulé l'enjeu premier de la biodiversité dans une perspective de développement durable, au chapitre 15 action 21 du Sommet de la Planète Terre à Rio en 1992.

Notre étude ne s'inscrit que partiellement dans cette optique, car de fait les activités agricoles quelles qu'elles soient ne permettent pas, et n'en ont pas l'objectif, d'accroître ou d'entretenir une biodiversité naturelle. Tout au plus, certaines pratiques (lutte biologique...) visent à maintenir une forme d'équilibre biologique qui contribue à limiter les conséquences liées à l'apparition de problèmes sanitaires sur les cultures (la plupart des auteurs s'accordent en effet sur le fait que l'emploi de produits phytosanitaires est la première cause de diminution de la biodiversité, alors que l'action du travail du sol est plus controversée : Mc Laughlin et Mineau, 1995 ; Giller et al., 1997 ; Hulugalle et al., 1997). De plus, la quantification et la qualification de l'ensemble des éléments constitutifs de la biodiversité dans un milieu cultivé sont très difficiles à mettre en œuvre.

L'étude qui suit ne permettra pas de mettre clairement en évidence les relations entre les pratiques culturales, leurs conséquences environnementales et certains aspects de la biodiversité, ce qui n'a d'ailleurs pu être fait que très rarement, et de façon incomplète, dans les études mises en œuvre depuis une quinzaine d'années autour du thème de « l'agriculture et la biodiversité » (analyse faite notamment par Mc Laughlin et Mineau en 1995 et par Giller *et al.* en 1997).

Le travail dont il est question ici vise avant tout à mettre en évidence l'ampleur et la nature des perturbations affectant une partie du vivant, en relation avec les différentes phases d'un système de culture.

L'étude est innovante de par son approche de la biodiversité, qui allie une observation de populations épigées (essentiellement des arthropodes) à l'analyse de la diversité et de l'activité de la microflore du sol. Que ce soit par la mise en place de pièges ou à travers la lecture d'un indicateur de l'activité du sol, c'est une vision forcément biaisée de la biodiversité réelle qui apparaît dans ce type d'étude (sélectivité du système de capture, liée à la nature même des pièges et à l'activité des espèces présentes dans le milieu, mais aussi lecture indirecte et partielle de

l'activité des bactéries du sol via un indicateur biochimique). Mais ce choix d'observation se justifie par le fait que la plupart des techniques, mises en œuvre ici conjointement, ont déjà été éprouvées individuellement dans le cadre de travaux sur la biodiversité et ont montré des résultats tout à fait intéressants : piégeages au sol de populations d'arthropodes (De Conlong, 1995 puis Viaux et Rameil, 2004), diversité et caractérisation des communautés microbiennes du sol par la méthode BIOLOG™ (Lupwayi *et al.*, 1998 ou encore Larkin, 2003).

II – MATERIELS ET METHODES

1 – MILIEU D'ETUDE ET DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Le milieu d'étude se situe géographiquement dans la zone de Capesterre-Belle-Eau, où l'on trouve la plupart des parcelles agricoles guadeloupéennes qui sont sous rotation bananier / canne / bananier. L'**ANNEXE 3** présente la couverture cartographique des bananeraies de cette zone, sur un fond pédologique. Les parcelles qui ont été choisies pour être le lieu des prélèvements et des mesures effectués appartiennent à deux exploitations agricoles de la région de Capesterre. Il s'agit de la SCEA « Bois Debout » dirigée par Mr Dormoy et de la SARL « Espérance S^t Jacques » dirigée par Mr Longueteau. Ce sont deux importantes exploitations agricoles, dans lesquelles les cultures de bananier et de canne à sucre sont simultanément présentes (avec plus de 50 ha pour l'exploitation de Mr Longueteau et plus de 250 ha chez Mr Dormoy, ces exploitations dépassent largement la taille de la très grande majorité des exploitations bananières guadeloupéennes). A Bois Debout, la pratique de la monoculture bananière est effective depuis plus de quarante ans. Cette exploitation a été la première à adopter la rotation bananier / canne / bananier en 1998, et elle a servi de support à la plupart des études menées par le CIRAD FLHOR et le CIRAD CA autour de cette rotation. Près d'une trentaine d'hectares y sont actuellement sous rotation bananier / canne / bananier. L'exploitation Espérance S^t Jacques donne proportionnellement plus de place à la culture de la canne à sucre, ce qui semble normal étant donné qu'elle abrite une distillerie.

Le choix des exploitations, ainsi que celui des parcelles suivies dans chacune de celles-ci, a été fait en s'assurant que tous les paramètres autres que ceux sur lesquels porte l'étude avaient des valeurs uniformes. Ainsi :

- L'altitude des différentes parcelles sélectionnées est comprise entre 90 mètres (parcelle la plus basse, suivie chez Mr Longueteau) et 130 mètres (parcelle la plus haute, suivie chez Mr Dormoy). L'intérêt porté à ce que l'écart entre les altitudes extrêmes ne soit pas trop fort est lié au fait que l'altitude est corrélée positivement, et de manière très sensible, aux quantités et à la

répartition des pluies (Poser, 2002). Ici, pour la fourchette considérée, l'écart maximal de pluviométrie est insignifiant. Cette dernière se situe autour de 2700 mm/an en moyenne.

- La nature des sols sur lesquels sont implantées les cultures est uniforme au sein de chacune des deux exploitations (cf. carte ANNEXE 3). Cependant, alors que les sols rencontrés sur l'exploitation Bois Debout sont des andosols, ceux de l'exploitation Espérance S^t Jacques sont des sols bruns-rouille à halloysite. Ces sols, certes distincts d'un point de vue pédologique, ont des origines communes proches car dérivant de formations volcaniques récentes. Par ailleurs, l'intensification des pratiques agricoles dans la zone de Capesterre depuis de nombreuses années, surtout dans les exploitations importantes comme celles dont il est question ici, a largement contribué à écraser les différences entre les sols de natures proches (orientation du « chimisme » des sols par de nombreux intrants appliqués à hautes doses (importance des engrais, du chaulage, ...), et de leur structure par l'intensité des travaux mécanisés). Ainsi, il a semblé raisonnable de considérer l'ensemble des parcelles suivies dans cette étude comme uniformes d'un point de vue pédologique.
- L'étude des itinéraires techniques, de la nature et de la quantité des intrants, du choix du matériel végétal, du niveau de maîtrise technique et de la rigueur des deux exploitants tendait à montrer, d'une part que « l'effet exploitant » était négligeable, et d'autre part que toutes les parcelles dans une même situation culturale, au sein d'une même exploitation, subissaient les mêmes pratiques à peu près au même moment.

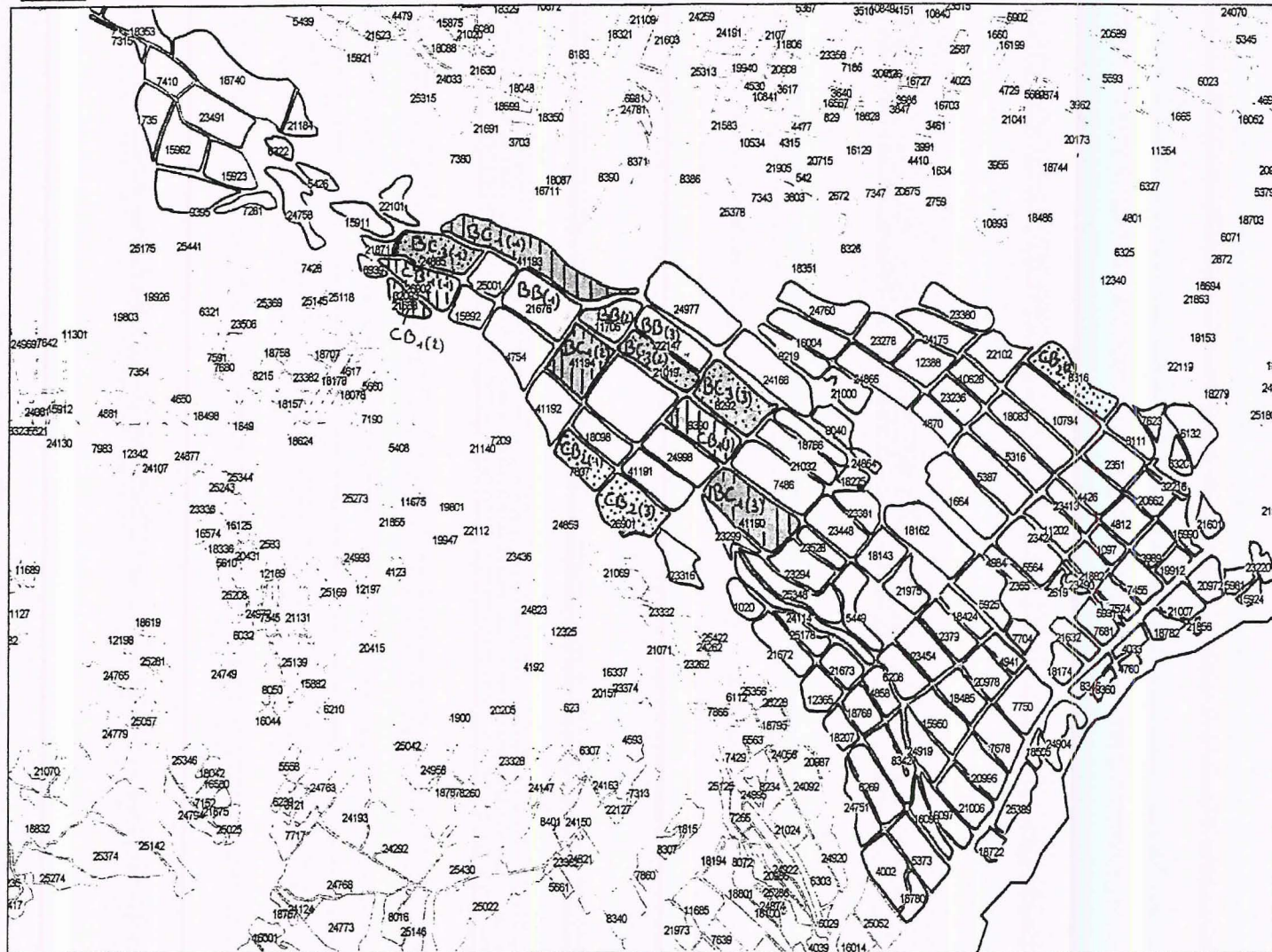
Afin de mettre en évidence l'ampleur et la nature des perturbations affectant le vivant au cours des différentes phases de la rotation bananier / canne / bananier, des prélèvements et des mesures ont été effectués sur des parcelles représentant chacune un stade différent de la rotation. Ces stades ont été appelés « **traitements** » en référence à la considération statistique de ce que sont les différentes formes prises par la variable étudiée (ici la variable est « l'étape du cycle cultural bananier / canne / bananier »). Il est cependant nécessaire de préciser qu'aucune des parcelles étudiées n'a reçu un quelconque traitement en termes d'application phytosanitaire, d'amendements ou d'autres pratiques culturales, en dehors, bien évidemment, de ceux normalement appliqués conformément aux activités agricoles commerciales (et non expérimentales) qui régissent les exploitations où a été menée cette étude. Les traitements étudiés et comparés ont été les suivants :

- **CB1** : parcelle en fin de première année de culture de bananier après un cycle de canne à sucre ;
- **CB2** : parcelle en fin de deuxième année de culture de bananier après un cycle de canne à sucre ;



DORMOY - BOIS DEBOUT

Figure 2 : cartographie des parcelles étudiées sur l'exploitation Bois Debout.



1/11 128

0 400 m



8 mars 2004

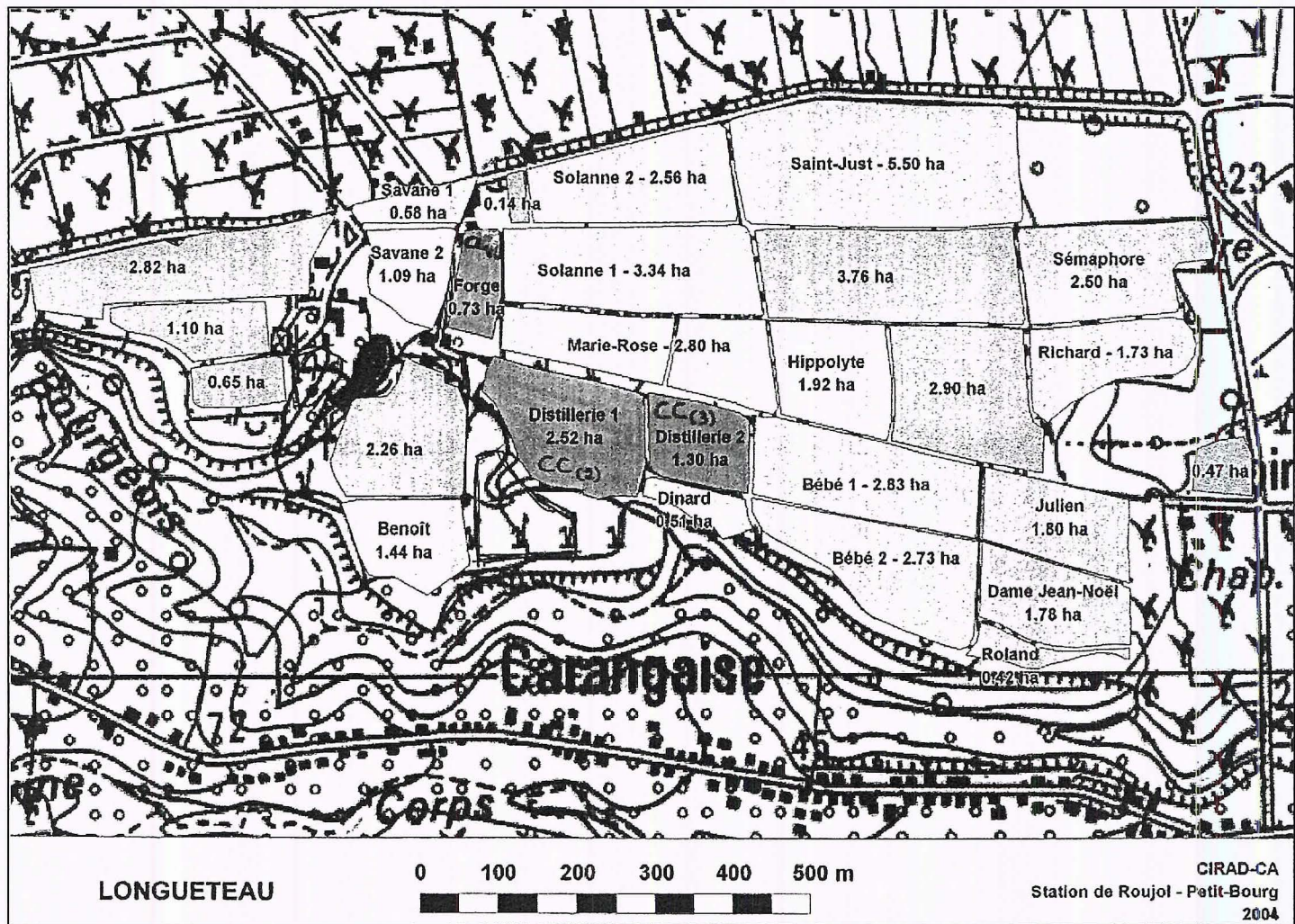
- **BC1** : parcelle en fin de première année de culture de canne après un cycle bananier ;
- **BC3** : parcelle en fin de troisième année de culture de canne après un cycle bananier ;
- **BB** : parcelle sous monoculture de bananier (1^{er} témoin) ;
- **CC** : parcelle sous monoculture de canne à sucre (2^{ème} témoin).

Pour chaque traitement, trois parcelles (répétitions) ont été choisies. Ce sont donc au total 18 parcelles qui ont été suivies durant l'étude. La plupart d'entre elles sont situées à Bois Debout (15 parcelles), les trois parcelles sous monoculture de canne ayant été choisies sur l'exploitation Espérance S^t Jacques. Les **figures 2** et **3** présentent la distribution des parcelles étudiées sur les parcellaires respectifs des deux exploitations. Les prises de mesures et d'échantillons ont eu lieu entre le 08/03/04 et le 12/05/04. Cette période correspond à la première moitié de la campagne de récolte de la canne à sucre en Guadeloupe (s'étendant de mars à août). Ainsi, toutes les parcelles plantées en canne et qui ont fait l'objet de l'étude se trouvaient en fin de période culturale. Il était important de mettre en place l'étude à ce moment là, pour deux raisons :

- l'application d'intrants (engrais et herbicides) et l'éventuel travail du sol ne sont possibles, dans le cas de la canne à sucre, qu'au moment de l'implantation de la culture ou après la récolte (en début de repousse). Il n'y a ensuite plus d'intervention humaine, sauf exception, sur la culture jusqu'à la récolte. Ainsi, chacun des agro-écosystèmes considérés a eu plusieurs mois pour se stabiliser, et restaurer le niveau maximum de biodiversité que l'on a estimé être caractéristique de chacun des traitements. Il est tout de même important de préciser que pour les parcelles sous bananiers ce raisonnement n'a pu être tenu étant donné que l'intervention humaine dans les bananeraies est quasi permanente (application de produits phytosanitaires, entretien des plants et des régimes, ...). La période de mise en place du dispositif expérimental avait donc moins d'importance. Par conséquent, elle a été la même que celle choisie pour la canne à sucre.
- Les parcelles de canne étudiées n'ont pas été plantées exactement au même moment (4 à 5 semaines d'écart maximum). Le fait d'avoir mené l'étude au moment de la campagne de récolte a permis de considérer que les écarts éventuels de stade physiologique de la canne entre les différentes parcelles étaient réduits. L'influence de ces écarts sur la biocénose en était d'autant plus limitée.

Les bananeraies étudiées ont été plantées soit avec la variété « Grande Naine » soit avec la variété « Williams », à partir de vitroplants sains dans les deux cas. Les variétés plantées étaient indépendantes des traitements considérés. Toutes les parcelles étaient irriguées (goutte à goutte) et les pratiques culturales étaient identiques quelle que soit la variété. Les parcelles sous rotation (traitements CB1 et CB2) n'ont pas reçu de nématicide ni de l'insecticide « RégentTM », la reprise

Figure 3 : cartographie des parcelles étudiées sur l'exploitation Espérance S' Jacques.



des applications étant adoptée seulement pour les parcelles se situant au delà de la deuxième année de bananier après canne. Si le choix des bananeraies sous rotation s'est fait uniquement sur celles en CB1 ou en CB2 (et non pas en CB3 ou CB4), c'est non seulement parce que ce sont elles qui bénéficient à priori le plus de l'effet rotation (justifiant la suspension de certaines applications phytosanitaires), mais aussi parce que ce sont celles qui sont les plus proches de la rupture culturale liée à la mise en place de la canne à sucre. Ainsi, leur étude semblait prioritaire relativement à l'intérêt porté aux éventuelles perturbations du vivant.

Les parcelles de canne à sucre étudiées ont été plantées soit avec la variété B8008, soit avec la variété B69566. De fait, les trois parcelles en BC1 étaient plantées avec la variété B8008 (sauf la BC1(3), en mélange avec la B69566), alors que toutes les autres l'étaient avec la B69566. Le nombre restreint de parcelles sous rotation disponibles (et conformes aux critères de l'étude) explique ce choix ainsi que celui de parcelles au stade BC3 au lieu de BC2.

- **Le dispositif de capture des arthropodes**

Le dispositif qui a été mis en place visait essentiellement à piéger les arthropodes. Ces derniers sont effectivement très intéressants : depuis quelques années, l'étude de leurs populations a permis de révéler l'aptitude de certains à être d'éventuels « indicateurs biologiques », permettant de caractériser l'état des agro-écosystèmes et de mettre en évidence assez précocement des modifications naturelles ou liées aux activités humaines. Ainsi, des groupes tels que les carabes, les araignées, les staphylins, les opilions ou encore les myriapodes sont souvent présentés, de par l'importance globale de leurs populations mais aussi leur diversité, comme de bons indicateurs de l'activité biologique du sol (De Conlong, 1995 ; Hulugalle *et al.*, 1997 ; Viaux et Rameil, 2004). Ne voulant pas se limiter à l'analyse de l'activité du sol et n'ayant de toute façon aucune information fiable sur les niveaux de représentation des groupes pré-cités, il a été décidé d'opter pour un dispositif de capture à la fois peu sélectif et ayant la plus grande portée possible. Ainsi ont été utilisés conjointement deux systèmes de piégeage : des pièges enfoncés au ras du sol et des bandes de glu disposées autour des tiges de canne à sucre ou du pseudo-tronc des bananiers. Sur chacune des 18 parcelles étudiées, 5 placettes ont été choisies pour recevoir le dispositif de capture des arthropodes. L'emplacement de ces placettes a été choisi au hasard tout en s'assurant qu'elles soient réparties de façon homogène sur les parcelles. Il y avait cependant une contrainte : les difficultés pour se frayer un chemin dans les parcelles de canne étaient telles qu'il était presque impossible de pénétrer à plus de quelques mètres de leur bordure. L'emplacement des placettes a donc été fixé à moins de 20 mètres du bord, tout en se donnant l'obligation de ne pas



Photo 1 : bande de glu fixée autour du pseudo-tronc d'un bananier.



Photo 2 : bandes de glu fixées autour de tiges de canne à sucre. Pour les besoins de la photo, une des bandes a été légèrement abaissée par rapport à sa position décrite dans le protocole de pose.

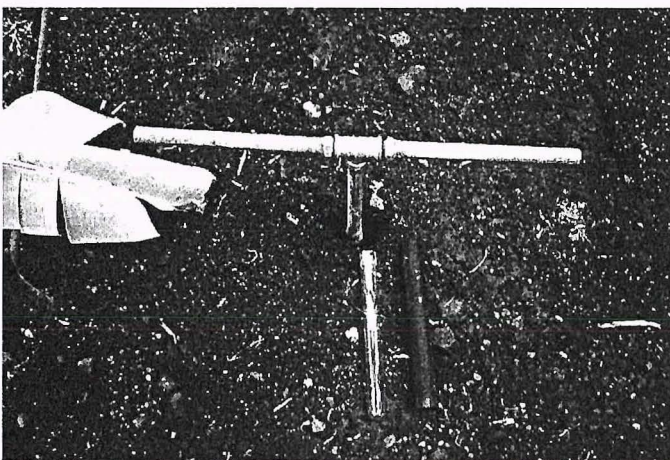


Photo 3 : Creusage à la tarière d'un trou devant accueillir le dispositif de piégeage au sol : gaine de caoutchouc + tube en verre.

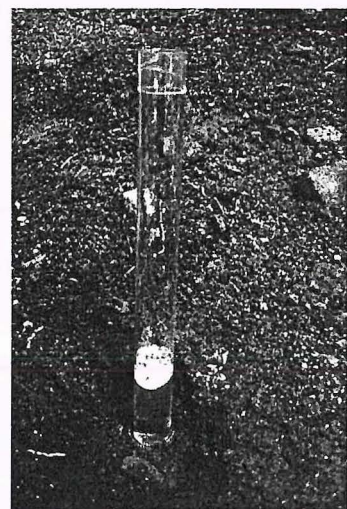


Photo 4 : Insertion du tube en verre (contenant l'eau savonnée) dans la gaine de caoutchouc placée dans le sol.

être à moins de 10 mètres de celui-ci afin de limiter un éventuel phénomène marginal du type « effet de bord ». Les placettes des bananeraies ont été choisies suivant la même procédure.

Les bandes de glu :

Elles étaient destinées au piégeage préférentiel des insectes volants. Ce sont des bandes Pelton® (BANDF-9917, société Scotts International) de couleur verte et dont la largeur de la zone engluée est égale à 9 cm. Au niveau de chacune des placettes situées dans les bananeraies, une seule bande de glu a été positionnée autour du bananier déterminant le centre de la placette. La bande faisait tout le tour du pseudo-tronc du bananier (entre 32 cm et 43 cm de diamètre) et était située à environ 1 mètre du sol (cf. **photo1**). Au niveau de chacune des placettes situées dans les parcelles de canne à sucre, trois cannes ont été choisies pour recevoir chacune une bande de glu autour de la tige (entre 8 cm et 16 cm

de diamètre) (cf. **photo2**). Ce choix de poser trois bandes et non une seule, comme c'était le cas pour les bananiers, est lié non seulement à la volonté d'avoir une surface totale de piégeage comparable entre les placettes des bananiers et celles des cannes, mais aussi à l'éventualité d'un étagement dans la distribution des différentes espèces « aériennes » (pouvant être lié à la grande taille et à la densité relativement importante des tiges et feuilles de la canne). Ainsi, sur la 1^{ère} canne la bande a été fixée à environ 40 cm du sol, sur la seconde elle l'a été à 1 mètre du sol, et enfin sur la troisième elle l'a été un peu en dessous de la base des feuilles vertes sommitales.

Une première série de bandes de glu a été posée entre le 09/03/04 et le 15/03/04 sur l'ensemble des 90 placettes. Elles ont toutes été récupérées entre 10 et 15 jours plus tard. Une seconde série de bandes a été posée les 28 et 29/04/04 de la même façon et sur toutes les placettes. Elles ont été récupérées entre 12 et 13 jours plus tard. Toutes les bandes ont été punaisées sur des planches de bois et conservées dans une pièce climatisée et protégée jusqu'à analyse.

Les pièges au sol :

Ils étaient destinés au piégeage préférentiel des insectes rampants. Il s'agit de tubes en verre, classiquement utilisés en laboratoire (tubes droits borosilicatés : long. 25 cm, Ø 24 mm ; société VWR), insérés dans une gaine de caoutchouc protectrice (gaine durite : long. 1 m, Ø 25 mm) préalablement découpée à la taille du tube et positionnée dans un trou fait dans le sol à l'aide d'une tarière (cf. **photos 3 et 4**). L'ensemble du dispositif a été placé entre un rang (canne ou bananier) et le centre de l'inter-rang voisin, et de telle sorte que l'extrémité haute du tube soit au niveau du sol. Chaque tube a reçu 3 à 4 mL d'un mélange tensioactif inodore (TweenTM : 10 mL par litre d'eau) permettant la rétention et la conservation des insectes capturés pendant plusieurs jours. Un seul tube a été déposé au niveau de chacune des placettes. Une première série a été mise en place entre le 26/03/04 et le 30/03/04 sur l'ensemble des 90 placettes. Les tubes sont restés en

place pendant 14 à 18 jours. Cependant, ils étaient relevés 1 à 2 fois par semaine pour s'assurer que le liquide n'avait pas débordé des tubes en raison des pluies fréquentes et soutenues qui s'abattaient sur la région. Le contenu de tous les tubes d'une même parcelle était versé dans une même bouteille, pour une question de logistique et de simplification de la collecte. Une deuxième série de tubes a été mise en place le 27/04/04. Les tubes sont restés en place pendant 15 jours. Le protocole de collecte appliqué a été le même que dans le cas de la première série.

Le contenu des bouteilles de collecte (bouteilles plastiques type « eau minérale ») a été filtré (disques papier à filtration rapide, Ø 150 mm ; PROLABO) et la terre séparée des insectes collectés. Ces derniers ont ensuite été placés ensemble dans de grands piluliers contenant de l'alcool à 90° et fermés hermétiquement (chaque pilulier contient l'ensemble des insectes piégés sur une même parcelle entre deux relèves de tubes). Les différents échantillons ont ainsi été conservés dans l'attente d'une détermination et d'un comptage.

- **L'échantillonnage des sols et le test Biolog™**

Un prélèvement de sol a été effectué au niveau de chacune des placettes le 27/04/04. L'échantillonnage a été réalisé avec des capuchons pour tubes de laboratoire en plastique rigide. Ces capuchons (long. 34 mm, Ø 26 mm) ont été préalablement lavés et passés à l'alcool à 90°, puis introduits individuellement dans un sachet à fermeture «zip» initialement stérile. Pour chacune des parcelles, un même capuchon a été utilisé pour effectuer les 5 prélèvements associés aux 5 placettes. A chaque fois le capuchon a été enfoncé d'environ 2 cm dans le sol (les capuchons avaient été préalablement gradués) à l'aide d'un maillet puis retiré. La terre ainsi recueillie a été jetée («croûte» où l'activité bactérienne est limitée). Le capuchon a été de nouveau enfoncé au même endroit sur une profondeur de 3 cm. La terre alors recueillie (environ 15g) a été déposée dans le sachet plastique associé au capuchon. Les 5 prélèvements d'une même parcelle ont été mélangés dans le même sachet. La terre a ensuite été émietée et homogénéisée dans chaque sachet. Les 18 échantillons ont été conservés dans une pièce climatisée (à environ 20°C) pendant une semaine avant d'être utilisés pour un test Biolog™.

Le test Biolog™ :

Ce test permet de caractériser les aptitudes trophiques de nombreuses communautés microbiennes. Il s'effectue à partir de plaques spéciales, dans lesquelles sont pré-moulés un certain nombre de puits contenant différents type de substrats. Les plaques qui ont été utilisées sont des micro-plaques de 96 puits, conçues pour l'identification et la caractérisation d'un très large éventail de bactéries gram-négatives aérobies (Biolog GN2 MicroPlate™ ; Biolog Inc., Hayward, CA). Une fois les puitsensemencés avec l'extrait microbien à analyser, c'est une réaction chimique basée sur la réduction du tétrazolium qui permet de révéler les puits où sont dégradés

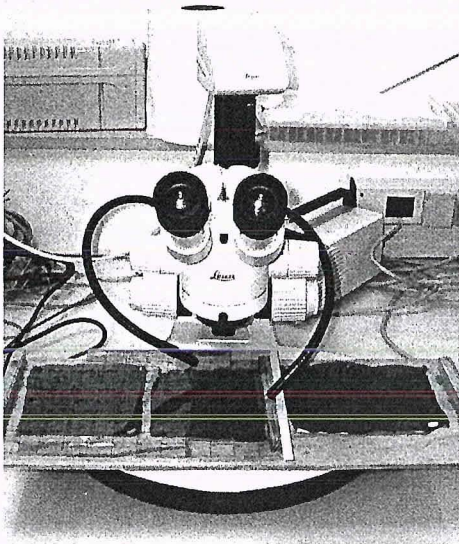


Photo 5 : Analyse des bandes de glu sous la loupe binoculaire.

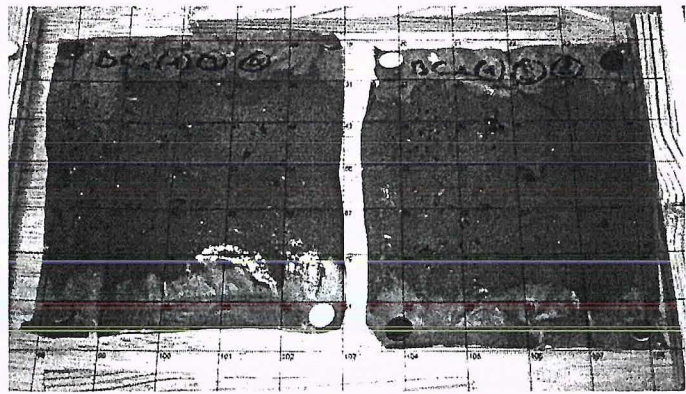


Photo 6 : Comptage des arthropodes facilité par l'apposition d'une grille imprimée sur une feuille transparente.

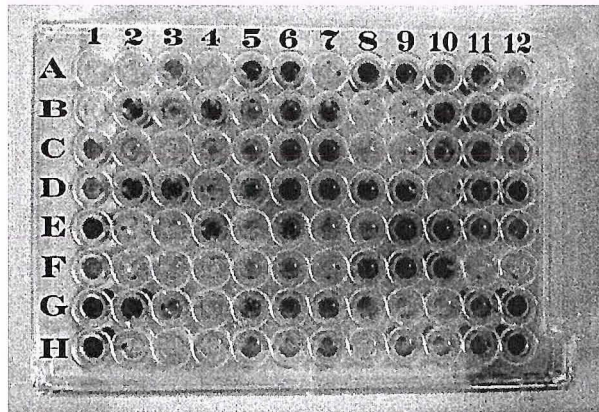


Photo 7 : Plaque Biolog™ensemencée avec le « jus microbien » issu des échantillons de sol prélevés sur la parcelle BB(3). Lecture faite après 72 heures d'incubation.

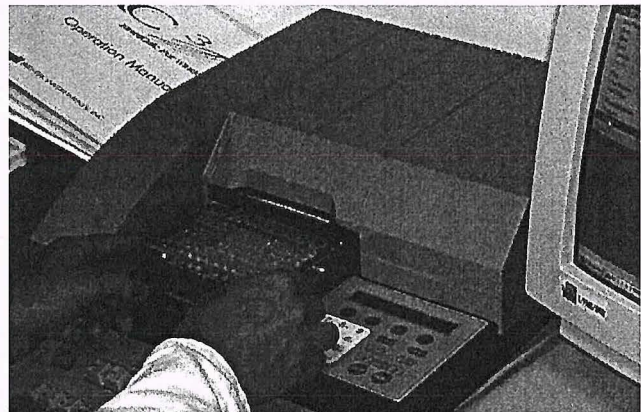


Photo 8 : Lecture d'une plaque Biolog™ dans le lecteur ELX800.

les substrats. Il s'agit d'un indicateur coloré qui prend une teinte violette plus ou moins foncée en fonction de son état de réduction, plus ou moins important. Cette réaction est directement liée au métabolisme des microorganismes plutôt qu'aux sous-produits de ce métabolisme. Chaque puits d'une plaque contient un substrat différent (acides aminés, sucres plus ou moins complexes, acides organiques, ...); seul le premier puits (A1) est un puits « blanc » qui ne contient que de l'eau.

Le protocole d'extraction du « jus microbien » à partir des échantillons de sol ainsi que la procédure d'ensemencement des micro-plaques sont présentés en **ANNEXE 4**.

2 – MESURES EFFECTUEES

- **Les arthropodes capturés**

Pour chaque bande de glu, un comptage total des arthropodes présents est effectué sous une loupe binoculaire (grossissement : $\times 1 \rightarrow \times 40$). Le dénombrement est facilité par l'apposition d'une grille de comptage (rectangles de 2,4 cm par 1,9 cm), imprimée sur une feuille transparente, à environ 1 cm au dessus de la bande de glu (cf. **photos 5 et 6**). Au préalable, les dimensions de la zone engluée ont été mesurées afin de pouvoir rapporter les résultats obtenus à une unité de surface de piégeage. N'ont été comptés que les « impacts » correspondant à un corps entier (ou quasiment entier) piégé dans la glu. Les fragments d'ailes, de pattes, ... ont été considérés comme insuffisants pour témoigner de la présence effective d'un individu sur la bande de glu. Chaque espèce (ou niveau taxonomique proche) rencontrée a été photographiée, mesurée et identifiée par une lettre dans l'attente d'une détermination biologique plus précise. Le nombre d'individus de chacune des espèces a été reporté sur une feuille de comptage, de même que celui des impacts pour lesquels il était difficile ou impossible d'associer une lettre d'identification et qui ont, par conséquent, été classés dans la catégorie des « indéterminés ».

La même procédure a été appliquée, à peu de choses près, aux arthropodes capturés dans les pièges au sol. Le contenu des piluliers renfermant la totalité des individus piégés sur une même parcelle entre deux « relèves de tube » a été déversé dans une boîte de Pétri puis passé sous loupe binoculaire pour effectuer le comptage et la détermination des individus.

- **Les empreintes BiologTM**

Une fois ensemencées, les plaques BiologTM ont été mises à « incubation », couvercle fermé, dans une pièce climatisée (24°C). Toutes les plaques ont été lues trois fois dans un lecteur de plaques ELISA (ELX800 – logiciel d'analyse : KC₃) à 595 nanomètres de longueur d'onde (cf. **photos 7 et 8**) : une première fois après 24 heures d'incubation en laissant le couvercle sur les plaques, puis après 72 heures d'incubation, une fois avec le couvercle et une fois sans. Il s'agissait de savoir si

les valeurs lues sans le couvercle étaient incrémentées d'une valeur constante, quel que soit le puits considéré, lorsque le couvercle était en place. Ainsi, les plaques lues à 24 heures avec le couvercle (obligatoire pour ne pas contaminer les plaques avant la lecture à 72 heures) pourraient, par simple correction des valeurs, avoir un résultat donné sans le couvercle et donc être analysées dans l'absolu^{et}/ou comparativement aux résultats obtenus pour la lecture à 72 heures.

3 – TRAITEMENT DES DONNEES

Tous les résultats des comptages et mesures effectués ont été compilés et ordonnés dans des tableaux de données sous Excel (Microsoft[®] Excel 2000).

L'analyse des données visait, en premier lieu, à déterminer la **richesse spécifique** des différents milieux considérés. Le nombre d'espèces trouvées sur les bandes de glu et dans les pièges au sol associés aux différents traitements a permis une lecture quasi directe de cette richesse spécifique. En revanche les informations apportées par les plaques Biolog[™]ensemencées ne permettent pas de faire une analyse aussi directe. En effet, elles fournissent uniquement une empreinte des aptitudes cataboliques d'un ensemble de populations de microorganismes du sol. Ce ne sont donc pas des espèces qui ont pu être identifiées individuellement mais plutôt un ensemble de fonctions caractéristiques d'une communauté d'espèces. La notion de **richesse fonctionnelle** globale a donc été préférée pour exprimer la biodiversité propre à chacun des sols des traitements considérés.

Deux indices de diversité, classiquement utilisés dans les études menées sur la biodiversité (Duelli et Obrist, 2003), ont permis une analyse des données plus poussée que la simple considération de la richesse spécifique qui ne tient pas compte des différences entre les effectifs des espèces :

- L'**indice de Shannon (H)** est défini par la formule suivante : $H = - \sum_{i=1}^S p_i \log(2p_i)$, où p_i est la fréquence de l'espèce de rang i et S le nombre total d'espèces. L'indice de Shannon est d'autant plus élevé que le nombre d'espèces est grand.
- L'**indice d'équitabilité (E)** est utilisé pour comparer des peuplements dont le nombre d'espèces est différent. Il se définit par le rapport entre l'indice de Shannon et l'indice qui correspondrait à une diversité maximale, c'est à dire à un peuplement où toutes les espèces auraient le même effectif et qui serait donc $H_{\max} = \log(S)$. D'où $E = H / \log S$.

Ces deux indices ont été appliqués non seulement sur les résultats des piégeages mais aussi sur ceux des tests Biolog[™], pour lesquels p_i est devenu le rapport de la densité optique mesurée pour le puits i sur la somme des densités optiques de tous les puits de la plaque (S étant le nombre de puits qui ont été oxydés par les microorganismes).

- **Analyse des résultats des tests Biolog™**

Le puits A1 de chaque plaque sert classiquement de témoin négatif, dont la valeur de densité optique donnée par le lecteur de plaques doit être retranchée à chacune des valeurs lues sur les autres puits. Afin de comparer l'activité de la microflore des différents sols étudiés, deux valeurs indicatrices ont été calculées. Tout d'abord, l'AWCD (Average Well Color Development) qui correspond à la densité optique moyenne des puits d'une plaque calculée sur 95 puits (le puits A1 dont la valeur de DO a été mise à zéro n'est pas pris en compte), puis la moyenne des densités optiques calculée uniquement sur les puits d'une plaque qui ont été oxydés (puits où les DO sont supérieures à zéro).

Une analyse de variance a été effectuée sur la variable «AWCD», les modalités considérées étant les 6 traitements, chaque modalité comprenant 3 répétitions. La procédure utilisée était une procédure GLM (General Linear Model) qui a été effectuée à l'aide du logiciel SAS (The SAS System®, version 8.2) – ce logiciel a d'ailleurs été utilisé pour effectuer l'ensemble des tests statistiques mis en œuvre pour analyser les résultats. Les AWCD moyennes des traitements ont ensuite été comparées deux à deux, puis un test de Newman-Keuls a été effectué sur ces mêmes moyennes.

Les indices de Shannon et d'équitabilité ont été calculés pour chaque plaque. Là encore, une analyse de variance a été faite sur chacun de ces indices.

Une ACP (Analyse en Composantes Principales) à 85 variables (85 puits) et à 18 individus (les 18 plaques correspondant aux 18 parcelles) a été effectuée. Parmi les 95 puits potentiellement utilisables, 10 n'ont pas été retenus car les DO mesurées sur chacune des plaques pour ces 10 puits étaient trop basses pour apporter des informations pouvant discriminer les différents traitements. Il avait ainsi été décidé de ne pas sélectionner pour l'ACP les puits pour lesquels les DO de chacune des 18 plaques n'étaient pas supérieures à 0,4.

- **Analyse des résultats des piégeages**

Les résultats des comptages ont tout d'abord été rapportés respectivement en nombre d'insectes par mètre carré et par jour pour les bandes de glu, et en nombre d'insectes par tube et par jour pour les pièges au sol. La moyenne des insectes piégés par parcelle a ensuite été calculée (cas des bandes de glu uniquement) ainsi que le nombre total d'espèces rencontrées par placette, par parcelle, par traitement et au total, tout système de piégeage et type de traitement confondus.

La part des impacts « indéterminés » a été évaluée par rapport à l'ensemble des impacts comptabilisés. Une analyse de variance a été effectuée sur la totalité des impacts présents sur chaque bande, afin de voir si les placettes sont bien représentatives d'une parcelle donnée et si les

trois parcelles d'un même traitement sont bien représentatives de ce traitement. Il a été fait de même avec les résultats des pièges au sol.

Les espèces les plus présentes sur chacun des traitements ont été mises en évidence. Des analyses de variance ont été réalisées pour comparer le nombre d'espèces associées aux différents traitements en ne considérant respectivement que les espèces rencontrées sur les bandes de glu, celles dans les pièges au sol, et enfin la totalité des espèces rencontrées tout système de capture confondu.

Afin de donner une estimation de la proportion d'espèces réellement « installées » (par opposition à celles qui n'ont été piégées que sur quelques placettes), le calcul de la fréquence de rencontre de chaque espèce a été effectué à partir de la considération de leur présence ou de leur absence sur chacune des placettes, puis sur chacune des parcelles.

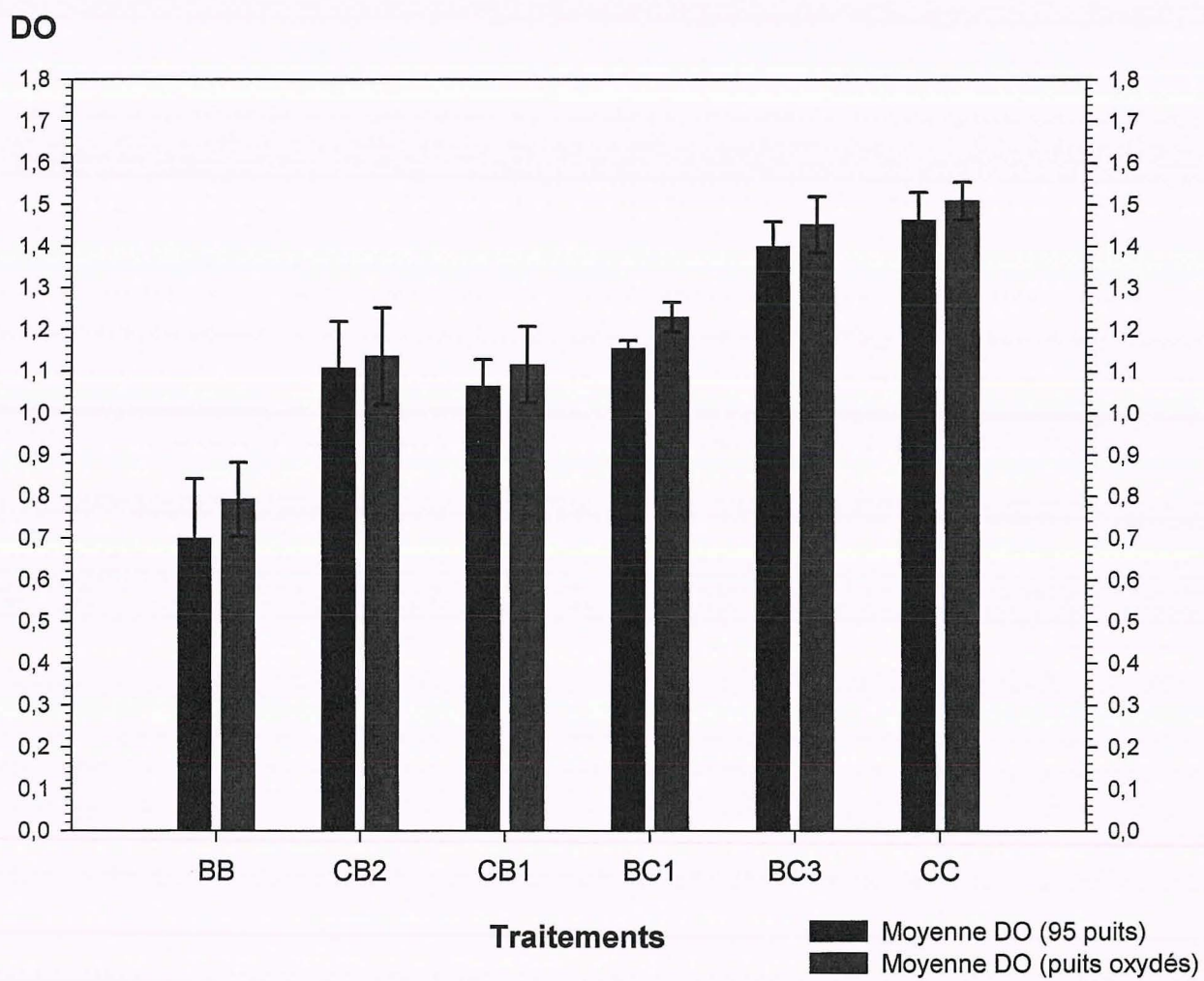
Les indices de Shannon et d'équitabilité ont été calculés pour les résultats sur bandes de glu, puis pour ceux correspondant aux pièges au sol. Une analyse de variance a été faite dans chacun des cas et sur chacun des indices.

Deux ACP ont été effectuées, uniquement à partir des données obtenues pour les bandes de glu. La première concernait les résultats obtenus sur les 90 placettes (ACP à 90 observations) en relation avec 47 espèces rencontrées (47 variables). La seconde n'a pris en compte que les valeurs moyennes obtenues pour chacune des parcelles (18 observations).

Tous les graphiques associés aux résultats des analyses et tests statistiques mis en œuvre ont été réalisés à l'aide du logiciel SigmaPlot (SigmaPlot® 2001, version 7.0).

III – RESULTATS

Figure 4 : Moyennes des Densités Optiques selon le traitement



III – RESULTATS

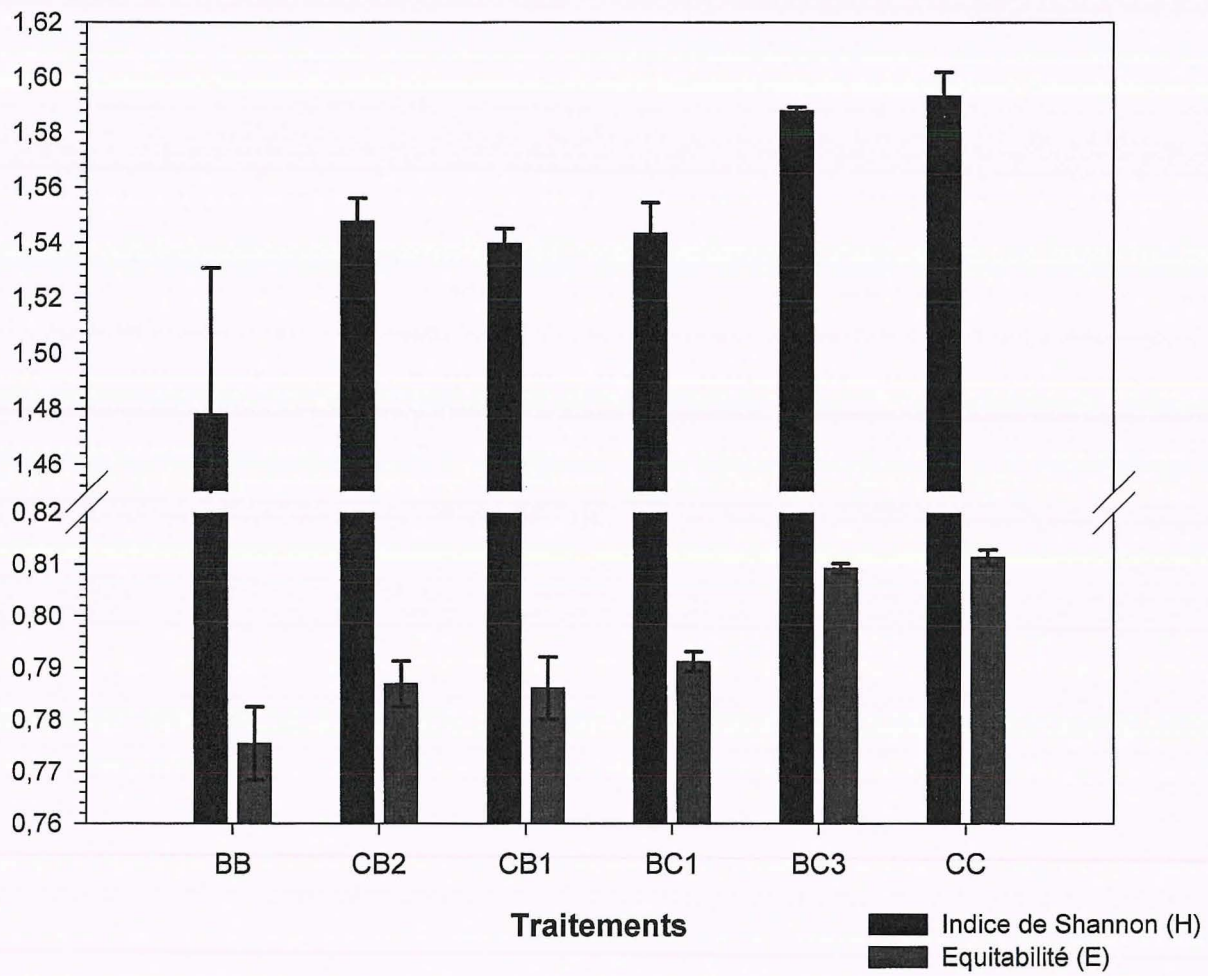
1 – LES TESTS BIOLOGTM

Seuls les résultats des lectures faites à 72 heures ont fait l'objet d'une analyse poussée. En effet, bien que la comparaison des lectures faites avec et sans couvercle ait permis de mettre en évidence une différence de DO constante et commune à tous les puits, permettant ainsi de comparer concrètement les résultats obtenus à 24 et 72 heures et de révéler les dynamiques de consommation des substrats, la lecture à 24 heures est apparue un peu trop précoce pour apporter des informations sur tous les substrats pouvant potentiellement être dégradés par les microorganismes présents.

La **figure 4** présente les deux moyennes calculées sur les densités optiques des puits des plaques associées à chacun des traitements. La première moyenne est l'AWCD (95 puits) et la seconde est celle relative uniquement aux puits oxydés de chaque plaque. Ces moyennes permettent, chacune à leur manière, d'évaluer et de comparer les niveaux d'activité des microorganismes des différents sols étudiés. Les barres d'erreurs représentées sont les erreurs-type des traitements (rapport de l'écart-type sur la racine carré du nombre de répétitions). Il apparaît tout d'abord que les deux moyennes ont des valeurs relativement proches pour chacun des traitements. La moyenne des densités optiques pour les puits oxydés est systématiquement légèrement plus élevée que l'AWCD, ce qui est normal étant donné qu'il s'agit d'une même valeur (la somme des densités optiques) qui est divisée par un chiffre moins important (il y a forcément moins de puits oxydés que de puits totaux). La faiblesse de l'écart entre les deux valeurs traduit cependant le fait que peu de puits n'ont pas été oxydés du tout, et ce dans chacun des cas. Quoi qu'il en soit, ces deux moyennes apportent la même information quant à la discrimination des différents traitements. La considération des valeurs des moyennes et de l'étendue des erreurs-type permet, en effet, de distinguer trois groupes : un premier groupe avec l'unique traitement BB, un autre comprenant les traitements CB2, CB1 et BC1, et enfin un dernier avec BC3 et CC. C'est dans ce même ordre qu'évoluent les valeurs des moyennes, des plus basses vers les plus élevées. Ce sont donc les traitements sous canne à sucre qui ont présenté les activités des microorganismes du sol les plus intenses. En revanche, la comparaison du nombre de puits oxydés (S) (non illustré ici), représentant la richesse fonctionnelle, n'a pas permis de discriminer les différents traitements (ils sont, de ce point de vue, significativement les mêmes).

Figure 5 : Valeurs des indices H et E selon le traitement

Indices H et E



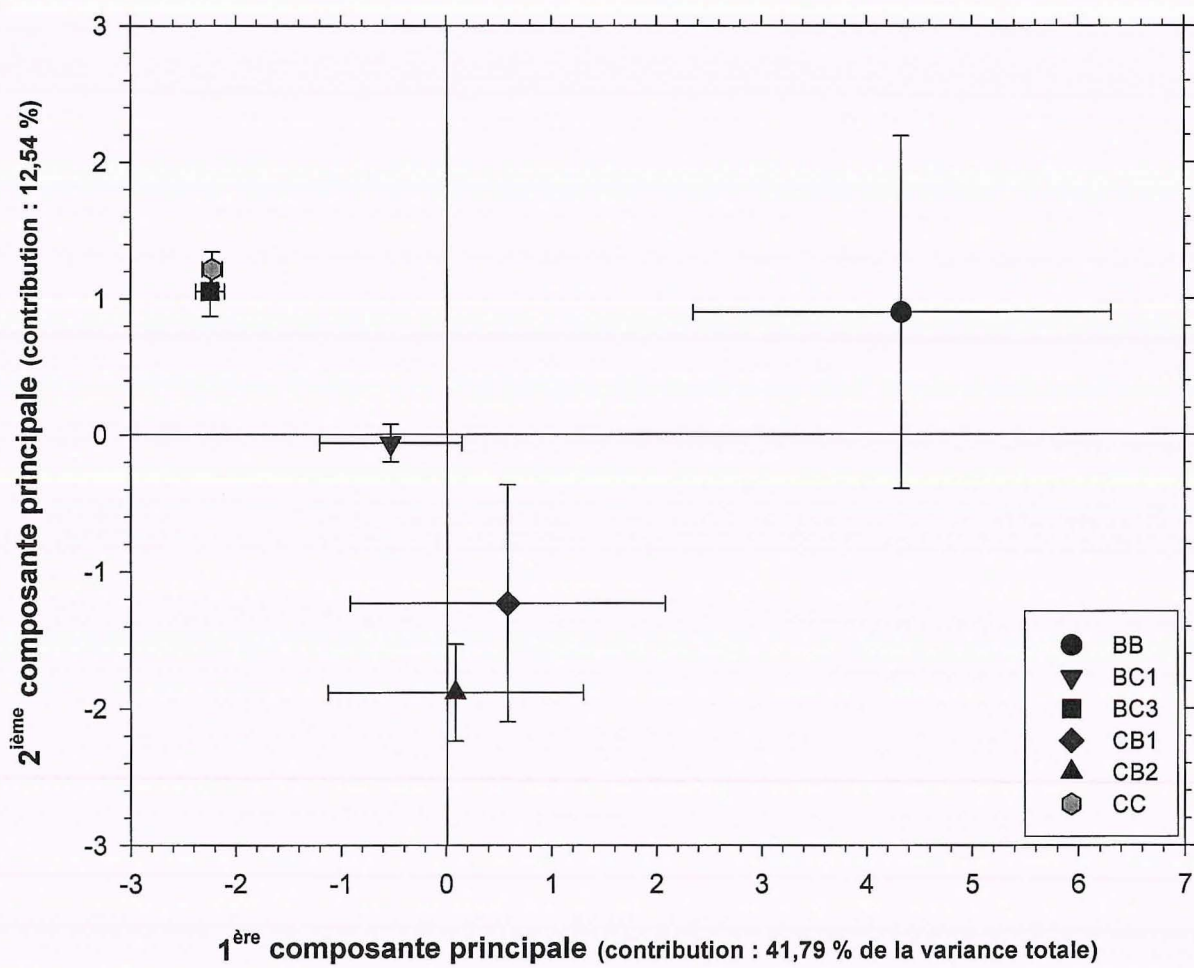
L'analyse de variance effectuée sur la variable AWCD (6 modalités (traitements), 3 répétitions par modalité) confirme l'observation faite sur la figure 4 : les moyennes par traitement sont significativement différentes, au risque $\alpha = 5\%$ (probabilité associée au test : $P = 0,0006$). Les conditions d'application de l'analyse de variance ont été vérifiées (cela a été le cas à chaque fois qu'une analyse de variance a été réalisée) : normalité des résidus (conformité de la symétrie et de l'aplatissement), égalité des variances intra (test du Khi^2 de conformité ($P = 0,99$)), indépendance des résidus (vérifiée d'après l'analyse de la

distribution cartographique des résidus). La comparaison des moyennes deux à deux (procédure « least squares means » sous le logiciel SAS) a permis d'affiner le verdict de l'analyse de variance en confirmant l'existence des trois groupes distincts décrits plus haut. Le test de Student-Newman Keuls a donné les mêmes résultats.

La **figure 5** présente les valeurs moyennes des indices de Shannon (H) et d'équitabilité (E) pour chacun des traitements. Les erreurs-type (calculées d'après les valeurs des répétitions) sont représentées de part et d'autre des moyennes. Il est important de préciser que les indices H et E ne sont en aucun cas comparables (même si le calcul de l'indice E découle de celui de l'indice H) du fait de la différence de leur interprétation. En revanche, il apparaît sur ce graphique que les écarts existant entre les traitements d'après l'indice H sont les mêmes que ceux décrits par l'indice E. Ces deux indices ségréguent les mêmes trois groupes qui avaient été mis en évidence lors de l'analyse précédente : un premier groupe avec l'unique traitement BB qui présente les plus faibles valeurs de H et E, un second groupe avec les traitements CB2, CB1 et BC1 qui présentent un niveau intermédiaire des valeurs calculées pour H et E, et enfin un dernier avec BC3 et CC qui ont les plus fortes valeurs pour H et E. Les analyses de variance ainsi que les comparaisons de moyennes deux à deux ont permis de confirmer les conclusions tirées à partir de la simple analyse descriptive. Ainsi, le traitement BB est celui qui a présenté à la fois la plus faible diversité des fonctions cataboliques et le plus fort déséquilibre dans les intensités associées à ces fonctions. Les traitements CB2, CB1 et BC1 ont montré, sur ces mêmes critères, une diversité plus importante et un meilleur équilibre. Enfin, ce sont les traitements BC3 et CC qui ont présenté, par comparaison, le plus grand nombre de fonctions cataboliques et le meilleur équilibre dans les intensités associées.

La **figure 6** présente la distribution des traitements moyens sur le plan principal d'une ACP réalisée à partir des données pondérées issues de la lecture des plaques BiologTM (par « pondérées » il faut comprendre que toutes les DO des puits d'une plaque ont été divisées par l'AWCD de cette plaque). Cette analyse, faite sur 85 variables (substrats) et 18 observations

Figure 6 : Distribution des traitements moyens sur le plan principal d'une ACP réalisée à partir des données traitées issues des lectures "Biolog"



(parcelles), a révélé une variance totale égale à 19,25. Les deux premières composantes principales expliquent à elles seules 54,3% de cette variance, l'ajout des deux suivantes permettant d'en expliquer plus de 70%. Cependant, l'analyse dont il est question ici ne tient pas compte des 3^{ème} et 4^{ème} composantes principales qui ne permettent pas de ségréguer significativement les différents traitements. Les vecteurs participant le plus à la construction des deux premières composantes principales correspondent à une douzaine de variables qui ont cependant un poids individuel très modéré dans la formation des axes associés. De plus, il ne semble pas y avoir de dénominateur commun objectif entre ces variables (les substrats correspondant ne sont pas uniquement des sucres, des acides aminés ou autres familles chimiques). Ainsi, il n'est pas possible de donner un sens concret à chacun des axes et donc d'expliquer objectivement ce qui différencie les traitements. En revanche, un commentaire peut être fait sur les « distances » existant

entre les traitements. Ainsi, il apparaît clairement que la 1^{ère} composante principale ségrégue les trois groupes qui ont déjà été mis en évidence avec les tests précédents. La 2^{ème} composante principale ne permet pas de discriminer les traitements d'une manière aussi nette. L'étendue de l'erreur-type du traitement BB sur l'axe associé semble expliquer à elle seule cet état de fait. Après vérification des résultats obtenus pour chacune des plaques biologTM correspondant à ce traitement, il est apparu que la plaque associée à la parcelle BB(1) présentait des anomalies sur un certain nombre de puits pour lesquels le substrat n'avait pas été dégradé du tout, alors que les plaques des deux autres répétitions du traitement présentaient pour ces mêmes puits un niveau d'oxydation relativement bien marqué. Ainsi, il est probable que la plaque BB(1) ait été défectueuse, tout du moins sur certains puits, indépendamment d'une éventuelle erreur de manipulation qui n'aurait pu engendrer ce type de réponse. La forte valeur de l'erreur-type du traitement BB pourrait donc être expliquée par la seule plaque BB(1). Ainsi, en envisageant la non prise en compte de la plaque BB(1) pour le calcul de la moyenne et de l'erreur-type du traitement BB, on obtiendrait une ségrégation des traitements (sur la 2^{ème} composante principale) en au moins deux groupes : d'un côté les traitements BC3, CC, BB et éventuellement BC1, et de l'autre les traitements CB1 et CB2.

La qualité de la représentation des 18 observations sur le plan principal de l'ACP a été calculée. Cette qualité de représentation est satisfaisante (supérieure à 0,6) pour toutes les observations, sauf pour les individus CB2 pour lesquels elle est médiocre (autour de 0,4) et les individus BC1 pour lesquels elle est très médiocre (entre 0,2 et 0,4). Il est probable que ces derniers individus soient mieux représentés sur d'autres axes et donc que l'information qu'ils apportent dans le plan principal soit moins pertinente que ce qu'il y paraît.

2 – LES ARTHROPODES PIEGES

Les photographies de tous les arthropodes piégés, ainsi qu'un tableau informant sur leurs dimensions et le type de piège dans lequel ils ont été capturés, sont présentés en ANNEXE 5. Outre ces arthropodes, des individus appartenant à deux espèces de vertébrés ont aussi été capturés (photos ne figurant pas dans l'ANNEXE 5). Il s'agit d'un petit saurien endémique de la Guadeloupe (le lézard « Anoli » : *Anolis marmoratus*) et d'un petit batracien dont seulement deux individus ont été trouvés dans les pièges au sol. Les Anolis ont été piégés sur les bandes de glu à raison de 3,23 individus/m²/jour en moyenne par parcelle (de 0 à 6,3 individus/m²/jour selon la parcelle considérée). Une analyse de variance a montré qu'il n'y avait pas d'« effet traitement » sur la quantité et la présence même des Anolis sur les parcelles. Ainsi, bien que leur statut de prédateur de nombreux insectes les rende potentiellement intéressants dans l'étude de la régulation des populations d'arthropodes, le faible nombre d'individus capturés de même que l'absence de lien entre leur présence et le traitement ont été une incitation à ne pas pousser plus loin l'analyse concernant ces deux espèces de vertébrés. Le dénombrement des individus et des espèces capturés dans les différents

pièges, support de l'analyse à suivre, n'a pas pris en compte les informations relatives à ces deux espèces. Seuls les arthropodes ont donc réellement fait l'objet de la présente étude. En revanche, le manque de temps n'a pas permis de pousser très loin ni dans la détermination des espèces rencontrées (à ce stade de l'étude, l'identifiant qui leur a été attribué restera le seul moyen de les désigner) ni dans la mise en évidence de leurs fonctions trophiques et des interactions existant entre elles et le matériel végétal en place. De même, les bandes de glu et pièges au sol de la deuxième période de piégeage n'ont pu être analysés que partiellement (un tiers des bandes et tubes totaux de la série). Les résultats analysés et présentés ici n'en tiennent pas compte. Il faut cependant préciser que les informations qui en ont été tirées vont, en tous points, dans le sens de celles correspondant à la première période de piégeage.

Les individus dénombrés

Dans les parcelles sous canne à sucre, au niveau de chacune des placettes trois bandes de glu avaient été posées à des hauteurs différentes afin de prendre en compte un éventuel étagement dans la distribution des différentes espèces aériennes. La simple considération du nombre d'impacts observés sur chacune des bandes d'une même placette a permis de mettre en évidence l'existence d'un gradient décroissant du nombre d'individus piégés depuis la partie basse de la canne jusqu'à son sommet, et ce de manière bien marquée (jusqu'à trois fois moins d'impacts sur

la b **Figure 7 : Nombre moyen d'arthropodes capturés sur les bandes de glu (à ce)**
 pou : la
Impacts / m² / jour

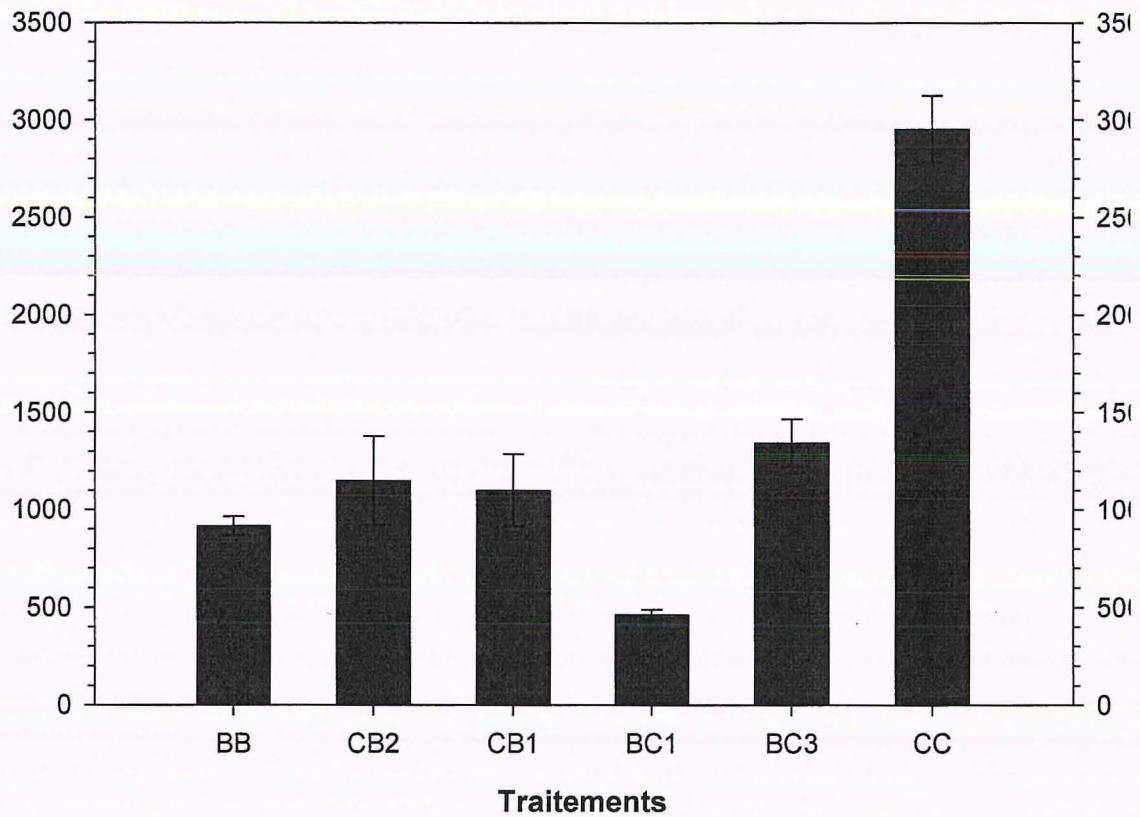
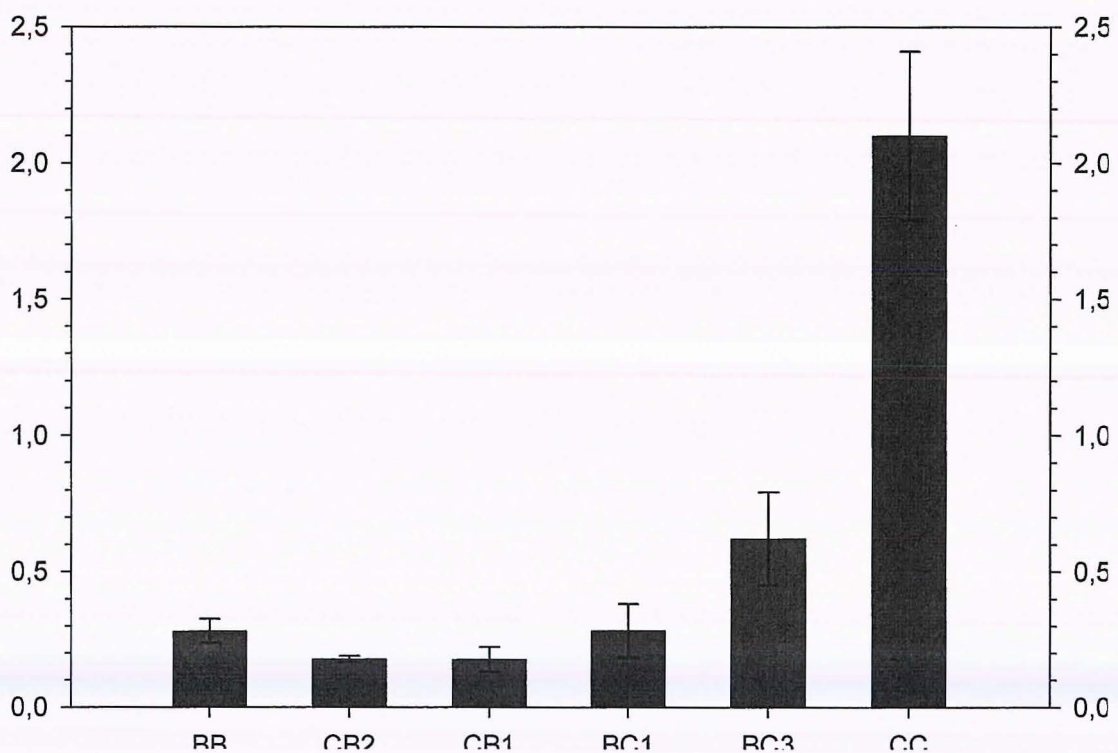


Figure 8 : Nombre moyen d'arthropodes capturés dans les pièges au sol

Insectes / tube / jour



présente étude mais il justifie le choix de la pose décalée en hauteur des trois bandes de glu d'une même placette. La sommation des impacts comptés sur ces trois bandes s'avère ainsi être une opération conforme au poids numérique réel des individus présents sur une placette.

Les impacts qui ont été classés dans la catégorie des « indéterminés » (cas unique des bandes de glu) ont constitué entre 5,1 et 21,8% (valeur exceptionellement haute) des impacts totaux comptabilisés par placette. Une analyse de variance réalisée sur les moyennes des taux d'« indéterminés » par parcelle puis par traitement montre qu'il n'y a pas d'« effet traitement » sur la part des « indéterminés » dans le nombre total d'impacts. Le taux moyen d'« indéterminés » sur l'ensemble des comptages est de 8,4%, et 70% des placettes présentent un taux compris entre 5% et 9% d'« indéterminés ». Le poids de ces derniers est donc relativement peu important, bien que non négligeable. Il est peu probable que parmi ceux-ci il y ait des individus appartenant à des espèces qui n'auraient pas été identifiées à partir des autres impacts.

Les **figures 7 et 8** présentent les nombres moyens d'arthropodes capturés sur les bandes de glu et dans les pièges au sol suivant les traitements. Les parcelles d'un même traitement sont apparues, dans tous les cas, statistiquement identiques et donc bien représentatives du traitement associé (analyses de variance réalisées à partir des données par placettes, uniquement dans le cas des bandes de glu). Les analyses de variance réalisées à partir des moyennes par parcelle des arthropodes totaux capturés ont montré que les traitements étaient significativement différents ($P < 0,0001$) dans le cas des bandes de glu comme dans celui des pièges au sol. Les comparaisons de moyennes deux à deux ainsi que les représentations graphiques proposées par les figures 7 et 8 montrent cependant que certains traitements peuvent être regroupés. Pour ce qui est du nombre moyen d'arthropodes capturés sur les bandes de glu, le traitement BC1 présente le niveau le plus bas avec un peu moins de 500 impacts/m²/jour ; les traitements BB, CB1, CB2 et BC3 présentent des nombres d'individus au moins deux fois plus importants, compris entre de 900 et 1400 individus/m²/jours ; enfin, le traitement CC est largement au dessus des autres avec près de 3000 impacts/m²/jour. Concernant les pièges au sol, les groupes formés sont quelque peu différents : les traitements BB, CB1, CB2 et BC1 forment un premier groupe avec entre 0,2 et 0,3 individus/tube/jour, puis vient le traitement BC3 qui présente un nombre moyen d'individus piégés supérieur à 0,6 individus/tube/jour ; enfin, le traitement CC se montre encore une fois au dessus des autres avec près de 2,1 individus/tube/jour. Que ce soit sur les bandes de glu ou dans les pièges au sol, les traitements BC3 et CC présentent les plus fortes densités d'individus piégés par unité de temps. Le traitement CC montre des niveaux bien supérieurs à ceux des autres traitements, y compris BC3. Quel que soit le type de piège, les traitements CB1 et CB2 présentent des nombres moyens d'individus piégés très proches. Les positions des traitements BB et BC1 relativement aux autres traitements sont très différentes suivant le système de piégeage considéré.

Figure 9 : Nombre moyen d'espèces capturées selon le traitement et le type de piège

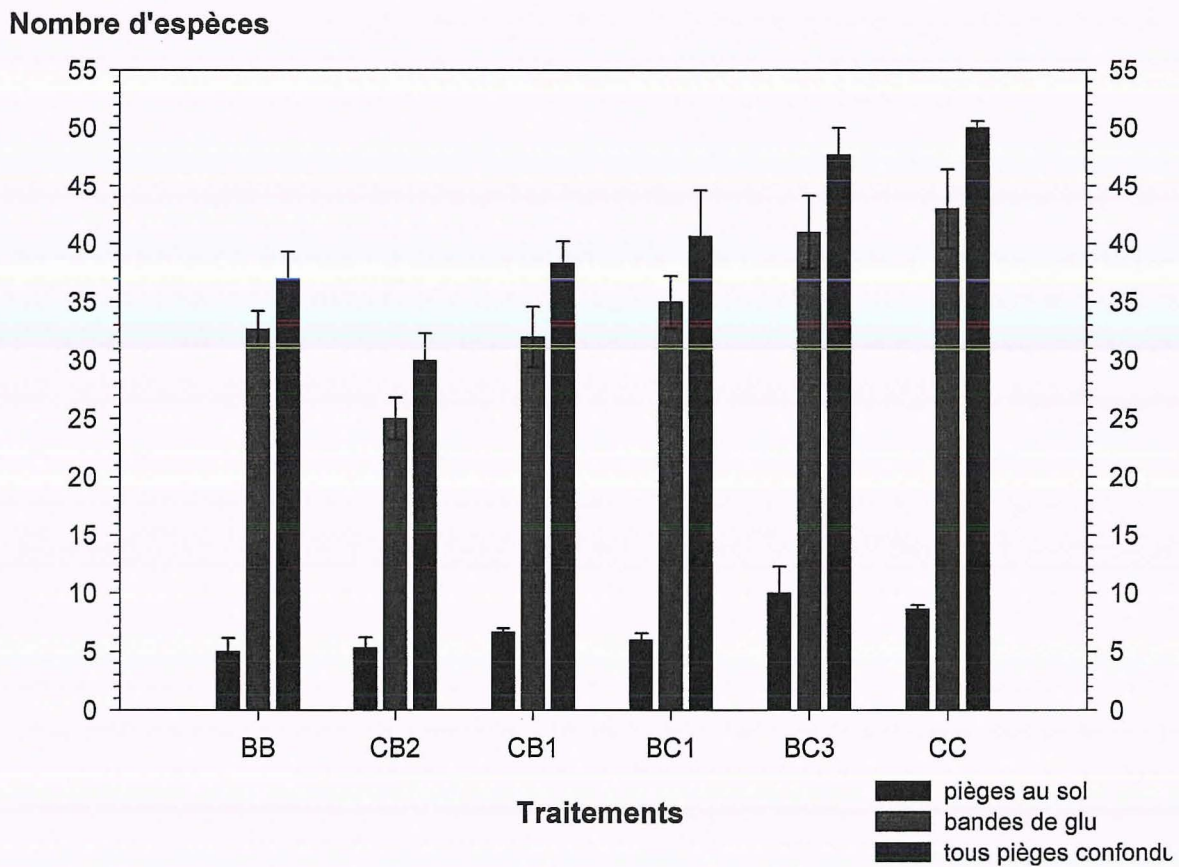
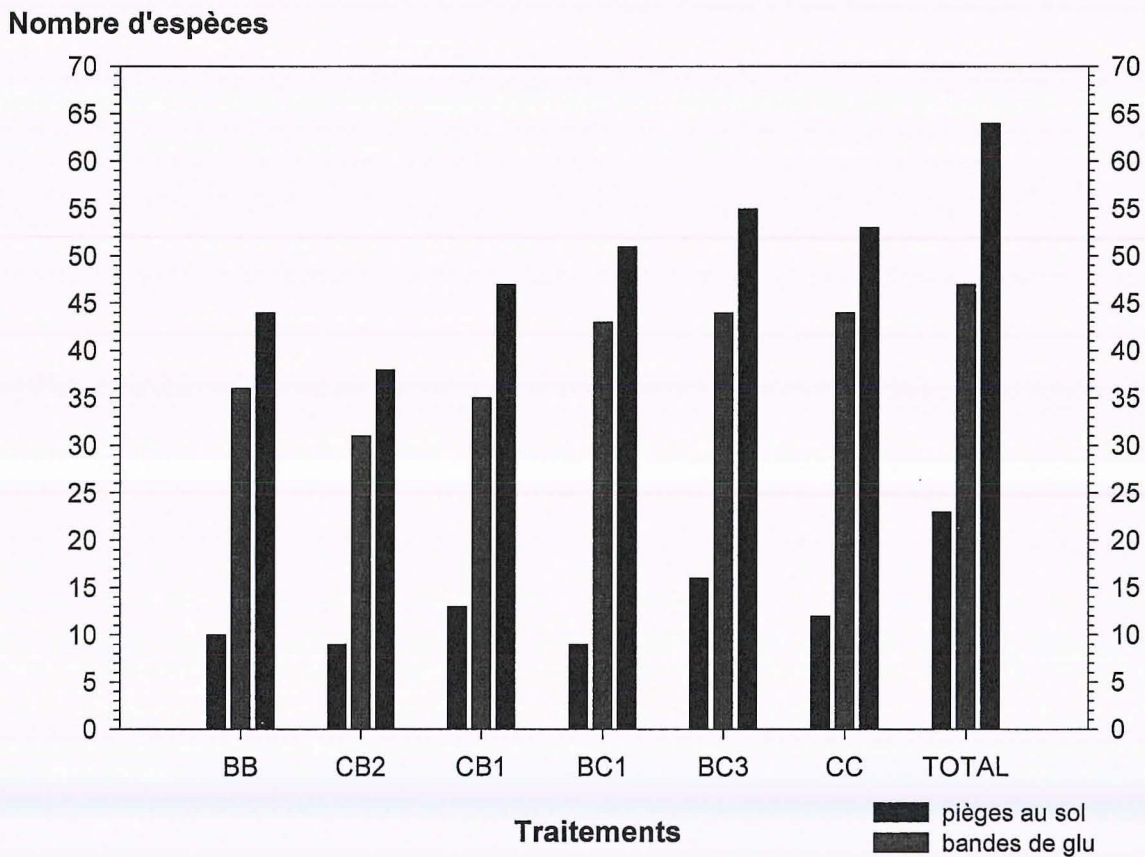


Figure 10 : Nombre total d'espèces capturées par traitement et selon le type de piège



D'une manière générale, ce sont tout de même ceux qui présentent les plus faibles densités d'individus piégés par unité de temps.

Les espèces présentes :

La notion d'espèce est celle qui a été retenue pour qualifier les différentes entités dont la discrimination s'est basée uniquement sur des critères macro-morphologiques simples. Ceux-ci ne sont cependant pas suffisants pour pousser la détermination jusqu'à un niveau taxonomique proche de l'espèce. Bien que la plupart des "espèces" reconnues soient suffisamment éloignées morphologiquement les unes des autres pour en estimer la ségrégation réaliste, l'éventualité du regroupement de deux ou trois espèces supposées sous une seule et même véritable espèce est envisageable, tant les cas de dimorphisme sexuel ou métamorphique sont fréquents chez les arthropodes.

Ce sont au total 64 espèces d'arthropodes qui ont été rencontrées, tous types de traitements et de systèmes de piégeage confondus. Les espèces rencontrées uniquement sur bandes de glu sont au nombre de 41, celles trouvées seulement dans les pièges au sol sont au nombre de 17. Seules 6 espèces ont été rencontrées dans les deux systèmes de piégeage. Sur les 64 espèces capturées 57 sont des insectes, 5 des arachnides et 2 des myriapodes. Pour les insectes, 11 ordres sont représentés : Diptères : 22 ; Coléoptères : 11 ; Hyménoptères : 9 ; Hémiptères : 4 ; Dictyoptères : 3 ; Orthoptères et Lépidoptères : 2 chacun ; Thysanoptères, Diploures, Dermaptères, Psocoptères : 1 chacun.

Les **figures 9** et **10** présentent respectivement le nombre moyen d'espèces capturées selon le traitement et le type de piège ainsi que le nombre total d'espèces capturées par traitement selon le type de piège. La considération des moyennes et des erreurs-type présentées sur le graphique de la figure 9 permet de faire des regroupements de traitements à différents niveaux :

Pour ce qui est des pièges au sol, il apparaît un premier groupe avec les traitements BB, CB2, CB1 et BC1, ceux-ci présentant un nombre moyen d'espèces capturées compris entre 5 et 7. Un second groupe composé des traitements BC3 et CC présente un nombre moyen d'espèces capturées compris entre 8 et 10. Concernant les bandes de glu, le traitement CB2 fait bande à part avec un peu moins de 25 espèces capturées en moyenne. Les traitements BB, CB1 et BC1 forment un groupe nettement plus riche avec un nombre moyen d'espèces compris entre 32 et 35. Une fois encore ce sont les traitements BC3 et CC qui présentent les niveaux les plus élevés avec un nombre moyen d'espèces compris entre 41 et 43. L'analyse des résultats « tous pièges confondus » permet la même ségrégation de groupes que celle révélée par l'analyse des bandes de glu. Ceci semble normal compte tenu de la différence relativement importante séparant les deux systèmes de piégeage du point de vue du nombre moyen d'espèces capturées. Les analyses

de variance réalisées respectivement sur le nombre d'espèces capturées dans les tubes, sur les bandes de glu et dans les deux types de pièges combinés a permis de différencier statistiquement, dans chacun des cas, les traitements (probabilités associées respectives : $P=0,058$; $P=0,0012$; $P=0,0009$). Par ailleurs, les comparaisons de moyennes deux à deux ont permis de révéler les mêmes groupes que ceux mis en évidence à partir de l'analyse du graphique de la figure 9.

Les données de la figure 10 permettent une analyse plus pertinente et réaliste dans la mesure où les parcelles d'un même traitement sont bien représentatives de ce traitement quant à la nature des espèces capturées, ceci restant à démontrer. En effet, il ne s'agit pas ici d'une moyenne ne tenant pas compte de la diversité des espèces rencontrées, mais bien de l'agrégation des données parcellaires. La représentation graphique garde cependant la même forme générale que celle de la figure 9. Les données sur les pièges au sol permettent de distinguer les traitements CB1, BC3 et CC qui présentent les plus importants nombres d'espèces capturées avec respectivement 13, 16 et 12 espèces, les autres traitements se situant en dessous de 10 espèces capturées. Les données obtenues à partir des bandes de glu montrent que le traitement CB2 présente globalement 31 espèces capturées, les traitements BB et CB1 respectivement 36 et 35 espèces capturées, et enfin les traitements BC1, BC3 et CC ont des niveaux équivalents (43 à 44 espèces) proches du maximum correspondant à l'ensemble des espèces piégées sur bandes de glu dans toutes les parcelles suivies (47 espèces). Les résultats « tous pièges confondus » montrent, à peu de choses près, la même distribution relative des traitements en termes d'espèces capturées que sur la figure 9, à savoir que les traitements sous canne à sucre sont ceux sur lesquels le plus d'espèces ont été capturées.

La **figure 11** indique les espèces les plus représentées en moyenne par traitement selon le nombre d'individus. Pour les bandes de glu ce sont les 10 premières espèces qui sont présentées. Elles regroupent, en moyenne, plus de 80% de la totalité des individus capturés sur un traitement. Pour les pièges au sol ce sont les 4 premières qui sont présentées, constituant en moyenne plus de 75% des individus piégés sur un traitement. Concernant les bandes de glu, les 4 premières espèces les plus présentes sur les traitements sous bananier sont toujours les mêmes et apparaissent dans le même ordre. Ces espèces regroupent à elles seules entre 64 et 82% des individus totaux capturés sur ces traitements. L'espèce Y (Diptère, Psychodidae ; hématophage ou phytophage), avec plus de 40% des individus totaux, est de loin l'espèce la plus présente sous bananier. L'espèce AB (Diptère, Phoridae ; parasitoïde de fourmis) est la seconde la plus importante avec un poids d'individus compris entre 10 et 17% du total capturé sous bananier. Les deux espèces suivantes,

Figure 11 :

ESPECES LES PLUS REPRESENTEES EN MOYENNE PAR TRAITEMENT (selon le pourcentage des impacts totaux identifiés)																
	BANDES DE GLU											PIEGES AU SOL				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	cumul	1	2	3	4	cumul
BB	Y (41%)	AB (10%)	AF (6,9%)	U (5,8%)	AI (5,1%)	D (4,2%)	R (3,9%)	V (3,4%)	AO (3,4%)	AK (3,3%)	87,6%	AAB (45%)	AAA (22%)	AZ (14%)	AAF (5,3%)	85,5%
CB2	Y (49%)	AB (16%)	AF (9,3%)	U (7,5%)	R (3,5%)	C (2,5%)	D (2,3%)	K (1,7%)	AI (1,5%)	AK (1,4%)	93,9%	AAA (40%)	AAB (15%)	AH (10%)	AAH (8,1%)	73,5%
CB1	Y (40%)	AB (17%)	AF (8,4%)	U (6,1%)	AI (5,5%)	R (4,9%)	K (3,8%)	AK (2,3%)	AO (1,9%)	D (1,8%)	92,4%	AAB (43%)	AV (7,8%)	AG (7,6%)	AW (7,6%)	66,1%
BC1	V (23%)	E (7,8%)	D (5,5%)	J (4,9%)	M (4,4%)	AD (3,5%)	AK (3,5%)	K (3,4%)	R (3,3%)	F (3,1%)	61,9%	AAB (54%)	AZ (9,4%)	O (9,1%)	AT (8,9%)	81%
BC3	V (14%)	D (13%)	E (8,3%)	J (6,2%)	M (6,1%)	U (5,6%)	C (5,5%)	AB (5,5%)	Y (5%)	AK (4,9%)	73,9%	O (38%)	AAB (22%)	AAE (9,2%)	AAA (8,6%)	77,7%
CC	Y (18%)	E (14%)	AK (11%)	C (10%)	D (8,7%)	V (7%)	AB (6,5%)	AO (4,6%)	J (2,6%)	U (2,2%)	84,8%	AAD (47%)	AAE (20%)	AAB (12%)	O (10%)	88,7%

Figure 12 :

PART DES ESPECES TOTALES DONT LA FREQUENCE DE RENCONTRE EST SUPERIEURE OU EGALE A "3 PLACETTES"																	
BB(1)	BB(2)	BB(3)	CB2(1)	CB2(2)	CB2(3)	CB1(1)	CB1(2)	CB1(3)	BC1(1)	BC1(2)	BC1(3)	BC3(1)	BC3(2)	BC3(3)	CC(1)	CC(2)	CC(3)
67,6%	75,9%	85,7%	86,9%	69,6%	75,9%	74,3%	84,4%	62,1%	100%	83,3%	88,1%	85,7%	85%	82,9%	75%	76,2%	72,1%
PART DES ESPECES TOTALES DONT LA FREQUENCE DE RENCONTRE EST SUPERIEURE OU EGALE A "2 PARCELLES"																	
BB			CB2			CB1			BC1			BC3			CC		
84,1%			84,2%			80,9%			88,2%			87,3%			92,5%		

AF (Coléoptère, Cucujidae ; détritiphage) et U (Hyménoptère, Scelionidae ; parasitoïde), ont des poids relativement moins importants et proches de ceux des espèces suivant dans le classement. Ces 4 espèces sont aussi présentes sur les traitements sous canne à sucre mais pas de façon systématique, avec un poids bien moins important et une position secondaire parmi les espèces les plus représentées. Les espèces les plus importantes sous canne à sucre n'ont pas systématiquement la même position dans le classement selon le traitement considéré, en revanche elles sont présentes dans chacun de ceux-ci. Il s'agit, par ordre d'importance, des espèces V (Diptère, Trypetidae ; phytophage), E (Diptère, Brachyptère, Acalyptère), D (Diptère, Brachyptère, Acalyptère) et J (Diptère, Syrphidae ; prédateur de pucerons). Ces espèces ont, comparativement aux espèces les plus présentes sous bananier, une contribution moins importante sur la totalité des individus capturés sous canne à sucre. Cependant elles marquent une plus grande spécificité pour les traitements sous canne puisqu'elles n'apparaissent quasiment pas dans les espèces les plus présentes sous bananier. Concernant les espèces capturées dans les pièges au sol, il ne semble pas qu'il y ait de schéma propre aux traitements sous bananier ou à ceux sous canne à sucre. Chaque traitement semble montrer un profil d'espèces différent. Seules apparaissent deux espèces dont la présence est nettement plus fréquente que celle des autres. Il s'agit de AAB (diptère) et de AAA (myriapode) qui présentent tout de même une part des individus totaux plus importante sous bananier (43 à 67%) que sous canne à sucre (12 à 54%).

Pour établir le profil exact des espèces caractéristiques d'un traitement donné, il faut être en mesure de montrer que les parcelles sous un même traitement présentent des profils très proches, et que la fréquence de rencontre intra-parcellaire des espèces contribuant à ces profils est suffisamment importante. Il s'agit en effet de distinguer les espèces « installées » de celles dites « de passage ».

La **figure 12** présente une première approche de cette analyse. Elle indique tout d'abord, au niveau de chacune des 18 parcelles (et uniquement pour les bandes de glu), la part des espèces totales dont la fréquence de rencontre est supérieure ou égale à 3 placettes. Il apparaît que les parcelles sous canne à sucre présentent les niveaux les plus élevés et les plus uniformes en intra-traitement. Ce sont les parcelles sous traitements BC1 et BC3 qui ont les meilleurs taux d'espèces dont la fréquence de rencontre est supérieure ou égale à 3 (entre 82,9 et 100% des espèces capturées). Les parcelles sous bananier présentent des taux moins élevés et moins uniformes que ceux associés aux parcelles sous canne à sucre. La part des espèces « de passage » ou « localement installées » n'est pas négligeable pour ces parcelles.

Figure 13 : Indice de Shannon moyen selon le traitement et le type de piège

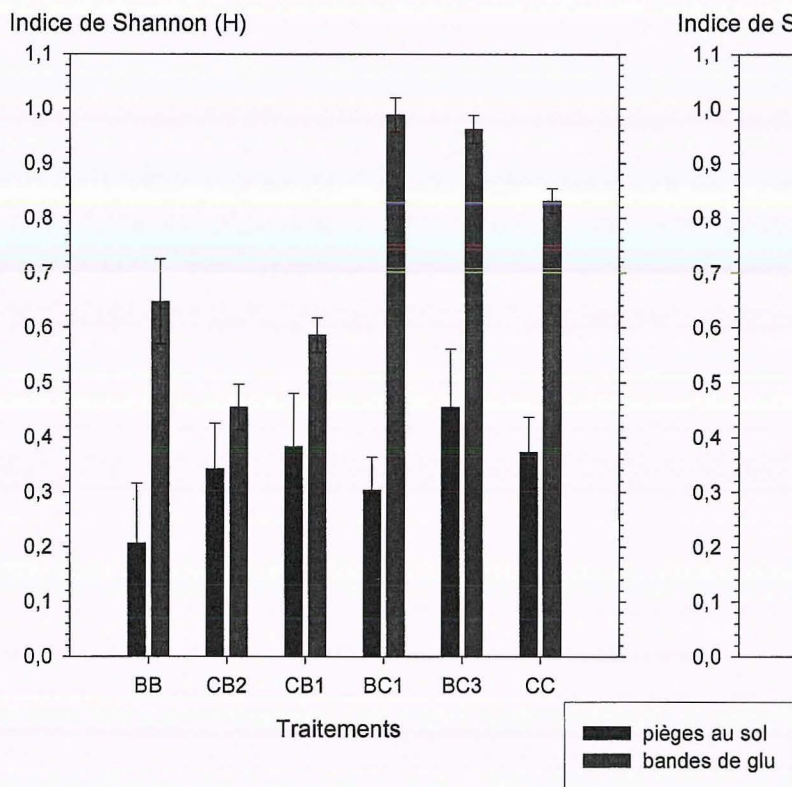


Figure 14 : Indice de Shannon global par traitement selon le type de piège

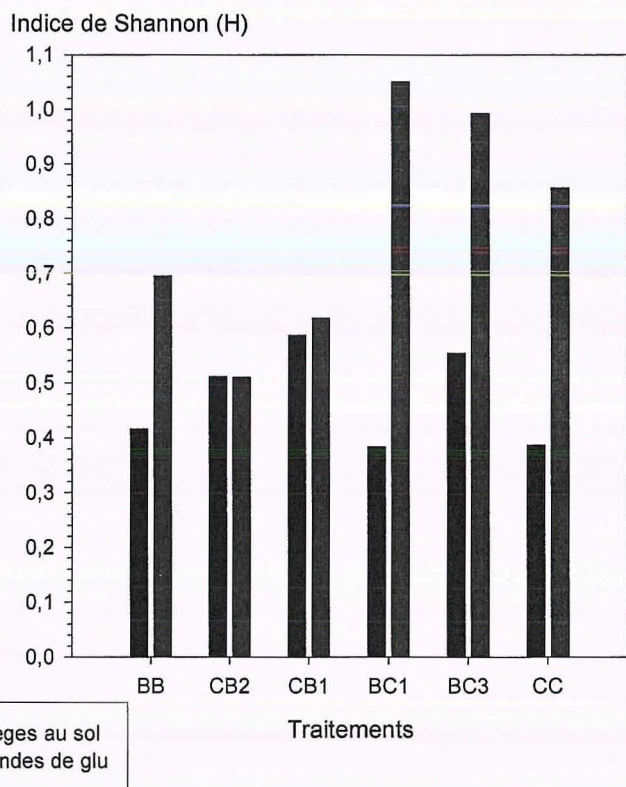


Figure 15 : Equitabilité moyenne selon le traitement et le type de piège

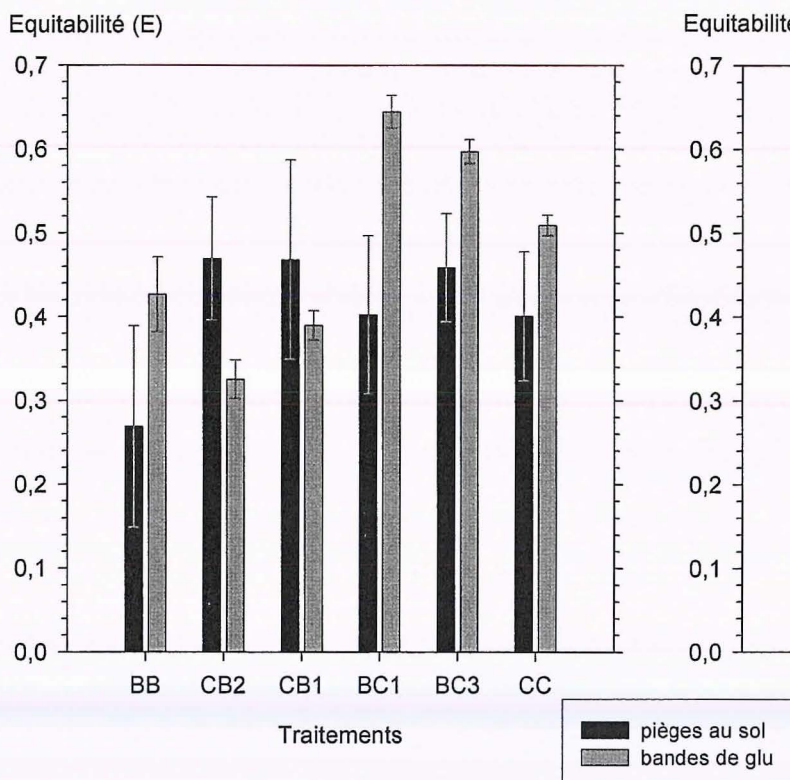
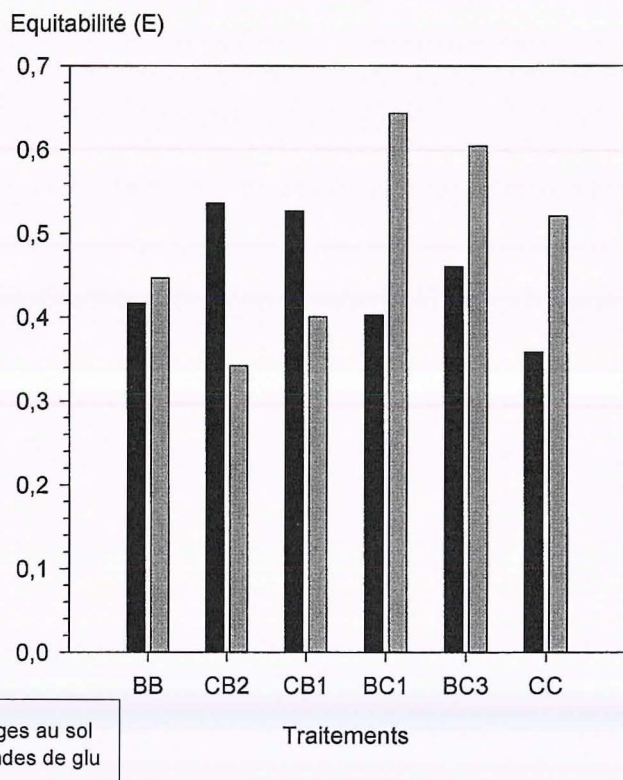


Figure 16 : Equitabilité globale par traitement selon le type de piège



Au niveau des traitements, en considérant à la fois les résultats obtenus sur bandes de glu et ceux relatifs aux pièges au sol, il apparaît que la part des espèces totales dont la fréquence de rencontre est supérieure ou égale à 2 parcelles est supérieure à 80% quel que soit le traitement considéré. Ce sont les traitements sous canne à sucre qui présentent, une fois encore, les meilleurs taux (entre 87,3 et 92,5% des espèces totales) ; les traitements sous bananier montrent des taux tout de même très satisfaisants (entre 80,9 et 84,2%). Pour la plupart des traitements, il semble donc que la grande majorité des espèces capturées soient réellement installées dans des zones étendues voire sur la totalité des parcelles associées à ces traitements.

Les indices de Shannon et d'équitabilité :

Les **figures 13** et **14** présentent respectivement les indices de Shannon moyens selon les traitements et le type de piège ainsi que les indices de Shannon globaux par traitement selon le type de piège. La considération des moyennes et des écarts-type lus sur la figure 13 ne permet pas de distinguer les traitements d'après les valeurs calculées pour le piégeage au sol. Par ailleurs, l'analyse des indices de Shannon globaux calculés pour ce même système de piégeage n'apporte rien de véritablement concluant. En revanche, les indices calculés à partir des données obtenues sur bandes de glu permettent de ségréguer les différents traitements (par ailleurs, une analyse de variance réalisée à partir des indices calculés pour les 18 parcelles a permis de différencier statistiquement les différents traitements ($P < 0,0001$)) : le traitement CB2 présente l'indice de Shannon le plus bas (autour de 0,45), les traitements BB et CB1 montrent des valeurs nettement plus importantes (respectivement 0,65 et 0,59), enfin les trois traitements sous canne à sucre présentent les valeurs les plus élevées avec tout de même une supériorité marquée pour BC1 et BC3 (respectivement 0,99 et 0,96). La comparaison des indices de Shannon globaux calculés pour le piégeage sur bandes de glu (figure 14) permet de faire la même analyse : ce sont effectivement les traitements sous canne à sucre (avec en tête BC1 et BC3) qui présentent les plus grandes diversités spécifiques ; viennent ensuite les traitements sous bananier parmi lesquels CB2 semble être le moins riche.

Les **figures 15** et **16** présentent respectivement l'équitabilité moyenne selon le traitement et le type de piège ainsi que l'équitabilité globale par traitement selon le type de piège. Comme dans le cas de l'indice de Shannon, il semble difficile de distinguer les traitements d'après les valeurs d'équitabilité calculées pour le piégeage au sol. Ce sont, encore une fois, les valeurs calculées pour le piégeage sur bandes de glu qui permettent de ségréguer les différents traitements.

Figure 17 : Distribution des parcelles sur le plan principal d'une ACP réalisée à partir des données traitées issues des comptages sur bandes de glu

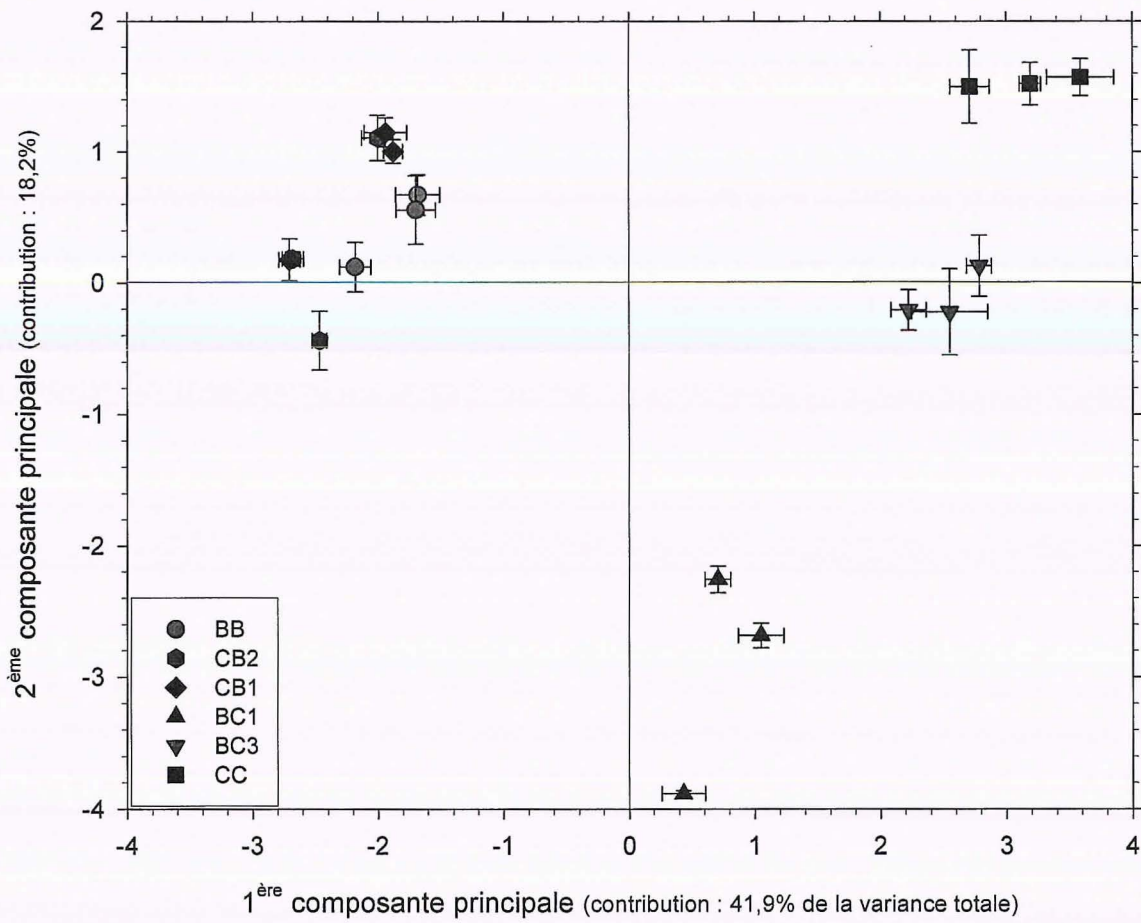
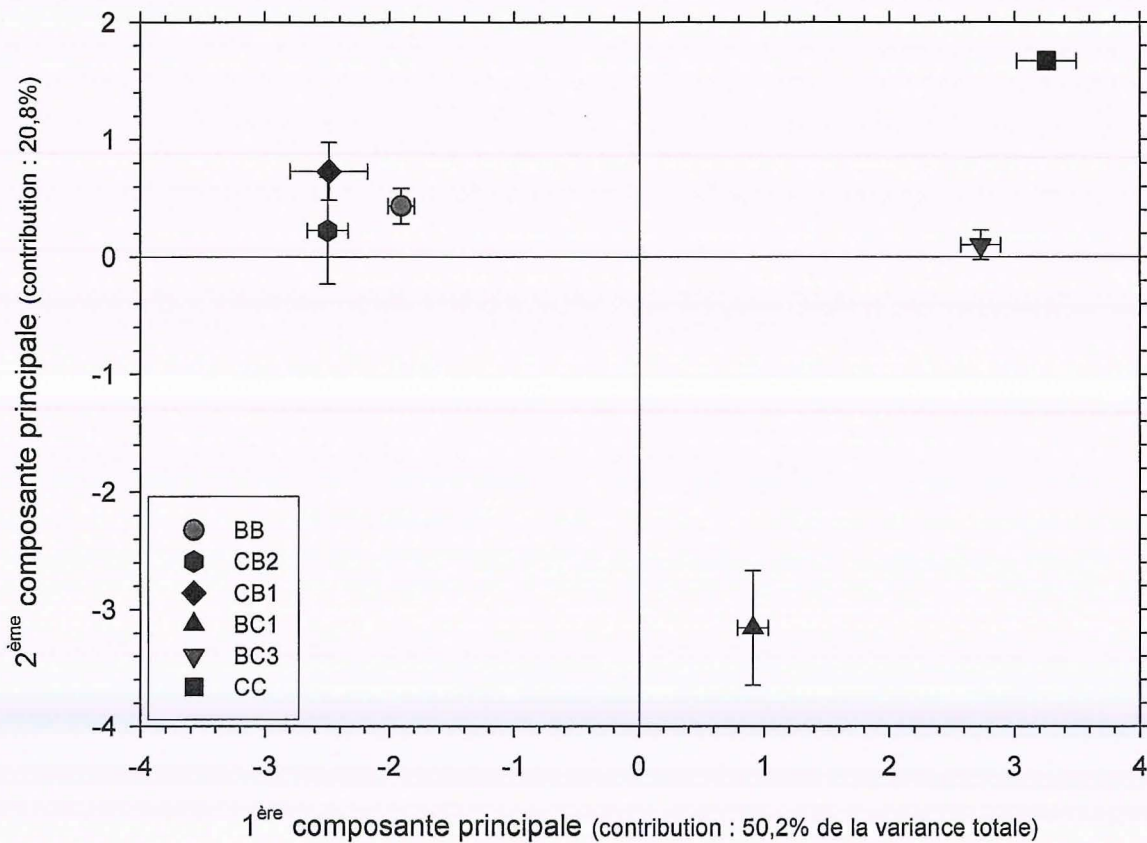


Figure 18 : Distribution des traitements sur le plan principal d'une ACP réalisée à partir des données traitées issues des comptages sur bandes de glu



Les groupes qui apparaissent et les distances relatives entre ceux-ci sont exactement les mêmes que ceux observés d'après l'étude de l'indice de Shannon. Ainsi, les traitements sous canne à sucre semblent être les plus équilibrés du point de vue de la contribution de chacune des espèces présentes sur le total des individus capturés.

Les Analyses en Composantes Principales :

Une ACP a été réalisée en premier lieu à partir des données issues des pièges au sol. Bien que les deux premières composantes principales expliquaient à elles seules près de 89% de la variance totale et que des variables (espèces) fortement explicatives des axes principaux avaient été identifiées, les individus (traitements) étaient relativement mal ségrégués sur le plan principal de cette ACP.

Les **figures 17** et **18** présentent les ACP qui ont été réalisées à partir des données collectées sur bandes de glu. Les variables utilisées correspondent aux 47 espèces trouvées sur les bandes de glu. Le logarithme base 10 a été appliqué à toutes les valeurs afin que la distribution des individus pour chacune des variables suive une loi normale (l'existence d'une relation linéaire entre la moyenne et l'écart-type des variables avait été préalablement vérifiée). La première ACP (figure 17) a été réalisée sur 90 individus (les 90 placettes) et a révélé une variance totale égale à 12,8. Les deux premières composantes principales expliquent à elles seules 60,1% de cette variance, l'ajout des deux suivantes permettant d'en expliquer plus de 68%. Cependant, l'analyse dont il est question ici ne tient pas compte des 3^{ième} et 4^{ième} composantes principales qui ne permettent pas de ségréguer significativement les différentes parcelles. Les variables qui participent le plus à la construction de la première composante principale correspondent aux espèces suivantes : D, E, J, M, O, V et AK qui sont toutes des diptères hormis O qui est un hyménoptère. Les variables participant le plus à la construction de la seconde composante principale correspondent aux espèces C, U, Y, AB, AF, AK et AO qui sont pour la plupart des diptères (seules U et AF sont respectivement un hyménoptère et un coléoptère). Toutes ces variables ont un poids individuel relativement médiocre dans la formation des deux axes principaux. Il est donc difficile d'expliquer la discrimination de tel ou tel parcelle par une variable ou un petit groupe de variables bien déterminées. En revanche, un commentaire peut être fait sur les « distances » existant entre les parcelles. Dans l'ensemble, il apparaît que les placettes d'une même parcelle sont bien représentatives de cette parcelle, ou tout du moins du traitement correspondant. Les parcelles d'un même traitement semblent elles-mêmes bien représentatives de ce traitement ou du groupe de traitements auquel il appartient. Ainsi, il apparaît que les traitements sous canne à sucre sont bien individualisés, avec tout de même une proximité plus marquée entre les traitements BC3 et CC. Les traitements sous bananier ne sont, pour leur part, pas véritablement

ségrégués dans le plan principal de cette ACP. La qualité de la représentation des 90 observations a été calculée : elle est satisfaisante (supérieure à 0,6) pour la plupart des placettes et médiocre (entre 0,2 et 0,4) pour seulement 4 placettes sous traitement BB.

La seconde ACP (figure 18) a été réalisée à partir des données agrégées pour chacune des parcelles (ACP à 18 observations). La variance totale est égale à 12,45. Les deux premières composantes principales expliquent à elles seules 70,9% de cette variance. Ce sont elles qui ségréguent le mieux les différents traitements. Les variables qui participent le plus à la construction des deux premières composantes principales sont les mêmes que celles évoquées pour l'ACP précédente (à part les espèces H et AI qui sont nouvelles dans la contribution à la formation de la première composante principale). Comme dans le cas précédent, ces variables ont un poids individuel modéré. La distribution des traitements selon cette ACP est très proche de celle décrite par l'ACP précédente. La première composante principale est celle qui opère la meilleure discrimination des traitements ; cinq groupes apparaissent : un premier avec les traitements CB2 et CB1, un second, très proche, composé de l'unique traitement BB, le troisième, le plus éloigné de tous, correspondant à BC1, et les deux derniers, très proches, correspondant respectivement à BC3 et à CC. La seconde composante principale ségrégue 3 groupes : tout d'abord l'unique traitement BC1, puis un groupe composé de BB, CB2, CB1 et BC3, et enfin le traitement CC. La qualité de la représentation des 18 observations dans le plan principal de cette ACP a été calculée : elle est satisfaisante pour l'ensemble des parcelles.

IV – DISCUSSION

Les analyses, effectuées à partir des données issues des tests de caractérisation de la microflore du sol (BiologTM) et des piégeages d'arthropodes, ont mis en évidence la plupart des notions qui permettent d'évaluer et de caractériser la biodiversité propre à chacun des traitements étudiés. Ces analyses ont été présentées suivant le même ordre pour chacun des deux niveaux de cette étude (microorganismes et arthropodes) afin d'en faciliter la comparaison et de mieux évaluer la qualité de l'information apportée par telle ou telle analyse. Quelques précisions et commentaires s'avèrent cependant nécessaires.

- L'activité du vivant :

Elle a été évaluée, dans le cas des microorganismes du sol, en comparant entre elles les moyennes des densités optiques correspondant à l'intensité de la dégradation des substrats carbonés des micro-plaques BiologTM, associées chacune à une parcelle donnée. Il ne s'agit donc pas d'une lecture de l'activité relative à la dynamique de croissance des microorganismes, mais plutôt de l'évaluation de l'intensité de leur activité trophique globale à un temps donné.

Concernant les arthropodes, la notion d'activité a été évaluée d'après la comparaison du nombre d'individus totaux capturés sur les différentes placettes (ou parcelles).

Dans le cas des plaques BiologTM comme dans celui des systèmes de piégeage mis en place, les mesures faites constituent des empreintes relativement imparfaites de la réalité. Pour ce qui est des tests BiologTM, une lecture plus précoce (ou au contraire plus tardive) des plaques aurait peut-être impliqué une discrimination des traitements un peu différente. Concernant le piégeage des arthropodes, outre le fait que certaines espèces ont pu échapper aux pièges de par leur taille ou leur morphologie particulière, les différences d'aptitude à la mobilité des espèces présentes ont pu entraîner, pour certaines d'entre elles, une représentation au niveau des pièges non conforme aux densités réelles d'individus.

Malgré tout, ces deux mesures de l'activité du vivant ont permis une première différenciation des traitements, sur des critères concrets.

- La richesse spécifique ou fonctionnelle :

Une première lecture de la diversité des aptitudes trophiques (communautés microbiennes du sol) et de la diversité des espèces (arthropodes) a été faite via le dénombrement respectif des substrats oxydés sur les plaques BiologTM et des espèces capturées dans les différents pièges. Bien que très simple et concrète, cette analyse n'a pas permis de distinguer les différents traitements (ou groupes de traitements) de manière satisfaisante.

En revanche, l'analyse comparative des indices de Shannon s'est révélée plus discriminante. L'interprétation de cet indice est pourtant identique à celle faite directement à partir du dénombrement des fonctions ou des espèces : plus le nombre d'espèces (ou de fonctions) est élevé, plus la valeur de l'indice est grande. Cependant, l'indice de Shannon permet une approche plus fine de la richesse spécifique (ou fonctionnelle) car il prend en compte la fréquence des espèces présentes (ou l'intensité des fonctions). Ainsi, des milieux pour lesquels le nombre d'espèces capturées est identique peuvent présenter des valeurs d'indice de Shannon différentes. Cet indice donne, de fait, une plus value non négligeable aux milieux présentant un bon équilibre du point de vue de la densité d'individus de chacune des espèces présentes.

Cependant, l'indice qui permet d'évaluer et de comparer spécifiquement les équilibres propres à des peuplements dont le nombre d'espèces diffère est l'équitabilité. Or il est apparu, dans le cas des communautés microbiennes du sol comme dans celui des arthropodes, que les différences entre traitements révélées par le calcul de l'indice de Shannon ont été conservées à l'identique d'après la comparaison des valeurs d'équitabilité. Il semble donc que l'indice de Shannon aurait pu suffire à décrire conjointement la richesse spécifique (ou fonctionnelle) et l'aspect équitable de la contribution des différentes espèces au sein d'une même communauté.

Il est probable que le nombre des espèces présentes ait eu moins d'influence dans la différenciation des traitements que la notion d'équitabilité intra-communautaire.

- L'Analyse en Composantes Principales :

Les ACP effectuées, de par le nombre souvent trop important des variables utilisées, n'ont pas permis de donner un sens concret à la distribution des traitements selon les premières composantes principales de chacune d'entre elles. En revanche, les distances qu'elles ont révélées entre les différents traitements ou groupes de traitements ont permis de visualiser objectivement (il s'agit de statistique descriptive) l'ampleur des différences qui avaient déjà été mises en évidence par les analyses précédemment décrites.

- L'analyse de variance :

La plupart des analyses de variance qui ont été effectuées au niveau de chacune des étapes analytiques de la biodiversité ont montré que les traitements étudiés étaient statistiquement distincts. Cela signifie que les placettes et les parcelles qui ont été sélectionnées étaient bien représentatives respectivement des parcelles et des traitements étudiés. En d'autres termes, les différences intra-parcelles ou intra-traitements étaient statistiquement négligeables en regard des différences inter-parcelles ou inter-traitements, et ce indépendamment des regroupements de traitements qui ont pu être opérés d'après les différentes analyses effectuées.

Que ce soit au travers de la comparaison des moyennes des densités optiques, de celle des indices de Shannon, ou encore de l'observation des distances par l'ACP, ce sont toujours les mêmes groupes de traitements qui sont apparus concernant le test BiologTM.

Les parcelles sous monoculture de bananier ont systématiquement fait bande à part, présentant les microorganismes du sol aux activités cataboliques non seulement les moins intenses, mais aussi les moins variées et les moins équilibrées. Les traitements CB2, CB1 et BC1 forment un groupe relativement homogène, dont les microflores du sol associées ont présenté des aptitudes trophiques supérieures, d'après ces mêmes critères, à celles constatées pour le traitement BB. Les traitements BC3 et CC ont montré, toujours selon ces critères, les aptitudes trophiques les plus élevées.

La distribution des traitements sur l'ACP confirme leur répartition selon ces trois groupes, avec cependant une légère tendance du traitement BC1 à se rapprocher du groupe formé par BC3 et CC.

Il est tout de même important de rappeler que toutes les analyses qui ont été effectuées se sont basées sur des mesures faites sur un unique échantillon de sol (lui-même issu du mélange des échantillons prélevés sur 5 placettes) pour chacune des parcelles étudiées. Il eut été souhaitable d'effectuer les tests BiologTM sur plusieurs échantillons (ou mélanges d'échantillons) pour une

même parcelle, afin d'obtenir la variabilité intra-parcellaire permettant non seulement d'identifier et de palier une éventuelle erreur de manipulation au niveau de la mise en œuvre du protocole de caractérisation des communautés microbiennes du sol, mais aussi de mieux estimer les différences entre les parcelles tout en donnant une plus grande solidité statistique à ces tests.

Concernant l'étude des arthropodes, il faut rappeler que, comme dans le cas des tests de caractérisation des communautés microbiennes du sol, le type de collecte appliquée au pièges disposés au sol n'a pas permis le calcul des variabilités intra-parcellaires. Par ailleurs, la petite taille des pièges posés au sol ainsi que l'apparente faiblesse de la diversité des arthropodes vivant à la surface du sol (comparativement à celle observée sur les bandes de glu) ont contribué conjointement à réduire l'aptitude des résultats associés à discriminer les différents traitements étudiés.

Ainsi, le commentaire qui suit ne concerne que les résultats obtenus sur les bandes de glu ou, lorsque cela a été possible, sur l'agrégation des données issues des deux systèmes de piégeage.

Concernant les individus piégés, le traitement BC1 apparaît comme celui pour lequel ils ont été les moins nombreux. Le groupe formé des traitements BB, CB2, CB1 et BC3, a présenté des niveaux de piégeage intermédiaires. Quant au traitement CC, il a montré de loin les plus fortes densités d'individus piégés par unité de temps.

Pour ce qui est de la richesse spécifique et du calcul des indices de Shannon et d'équitabilité, ce sont systématiquement les mêmes groupes qui apparaissent, à savoir : d'une part CB2 qui présente la diversité spécifique la plus faible ainsi que le moins bon équilibre dans la part prise par chacune des espèces sur l'effectif total des individus présents ; d'autre part le groupe constitué des traitements BB et CB1 qui présentent, sur ces deux critères, de meilleurs niveaux ; enfin, les traitements BC1, BC3 et CC qui se situent, toujours sur ces critères, au dessus des autres traitements.

Les ACP réalisées montrent, pour leur part, un regroupement des traitements sous bananier, tandis que les traitements sous canne à sucre sont individualisés, avec tout de même un rapprochement plus marqué entre les traitements BC3 et CC.

Il semble que les analyses effectuées d'après les résultats des piégeages des arthropodes tendent toutes à distinguer de façon marquée les traitements sous bananiers de ceux sous canne à sucre.

Les analyses liées aux tests BiologTM paraissent moins catégoriques. En effet, elles font systématiquement apparaître un groupe constitué des traitements qui sont les plus proches de la rupture culturelle provoquée par l'implantation de la canne à sucre : les traitements CB2, CB1 et BC1. Compte tenu de la part importante des espèces très mobiles (notamment 22 espèces de

diptères) sur l'ensemble des espèces capturées, il est semble raisonnable de considérer que les résultats des piégeages distinguent moins finement les traitements étudiés que ceux des tests BiologTM, pour lesquels il est plus facile d'imaginer l'influence directe de la phase culturale sur la composition et l'activité des communautés microbiennes du sol.

Quoi qu'il en soit, en combinant l'ensemble des analyses effectuées au cours de cette étude, il est possible de dégager une observation générale assez cohérente quant à l'évolution du vivant au cours des différentes étapes culturales de la rotation bananier / canne / bananier.

Tout d'abord, il semble que les traitements "témoins", c'est à dire les monocultures de banane et de canne à sucre, montrent des caractéristiques opposées du point de vue de la biodiversité. Alors que la monoculture bananière présente les activités et richesses spécifiques et fonctionnelles les plus basses, la monoculture de canne révèle la diversité biologique la plus riche et la plus équilibrée de tous les traitements étudiés. Par ailleurs, les parcelles en première et deuxième année de bananier après canne à sucre semblent bien plus proches de la monoculture de banane – d'après l'ensemble des critères attendant à la biodiversité – que les parcelles en première et troisième année de canne ne le sont de la monoculture de canne. Malgré la diminution des applications de produits phytosanitaires pendant les deux premières années de culture bananière suivant une culture de canne à sucre, il est fort probable que la fréquence et l'intensité des interventions (qu'elles soient mécaniques ou chimiques) maintenues sur les cultures de bananiers soient à l'origine de ce rapide retour à un état de diversité biologique « minimum » constaté sur les traitements CB1 et CB2.

Pour ce qui est du retour à un état de biodiversité « maximum » pour les parcelles sous culture de canne après bananier, il semble plus lent parce que tout simplement naturel. Ainsi, alors que les parcelles en première année de canne après bananier apparaissent encore relativement proches des parcelles sous CB1 ou CB2, les parcelles en troisième année de canne après bananier n'atteignent pas encore tout à fait le niveau d'équilibre et de richesse du vivant présenté par la monoculture de canne.

L'instabilité des positions relatives des traitements CB1, CB2 et BC1 (entre eux ou vis-à-vis de BB ou CC), selon les différents critères étudiés attendant à la biodiversité, témoigne probablement d'une profonde perturbation du milieu liée en grande partie à l'installation d'un nouveau matériel végétal, et affectant notamment une part importante des espèces dont la présence a été révélée dans cette étude. Cette perturbation généralisée pourrait expliquer les attaques particulièrement marquées du foreur de tige (*Diatraea saccharalis*) constatées uniquement en première année d'implantation de la canne après bananier.

Bien que les distances séparant les différents traitements étudiés aient été clairement mises en évidence et confirmées par les différentes analyses effectuées, il est apparu difficile d'identifier

précisément les déterminants biologiques ou agronomiques de la différenciation des traitements sur le plan de la diversité biologique. Au niveau des microorganismes du sol, seul un ensemble de fonctions sans dénominateur commun ont pu être mises en avant. Pour ce qui est des arthropodes, il semblerait que la différenciation des traitements se fasse essentiellement sur la présence ou l'absence d'espèces prédatrices.

Bien que les conclusions et observations émises à l'issue de cette étude soient indéniablement intéressantes, il est cependant nécessaire de souligner parmi les conditions de sa mise en œuvre celles qui sont potentiellement les plus sujettes à discussion.

Le fait que l'étude se soit déroulée non pas sur un site expérimental mais au sein de deux exploitations commerciales, où la plupart des paramètres cultureux ont été choisis indépendamment des exigences de l'expérimentation, constitue un éventuel biais quant à la pertinence des observations faites.

Ainsi, même si toutes les parcelles qui ont été suivies ont subi des pratiques culturales identiques au niveau de chacune des cultures étudiées, il aurait tout de même été souhaitable qu'elles soient toutes sous la même variété de bananier ou de canne à sucre. En effet, l'influence de la variété sur la microflore du sol (notamment via l'exsudation racinaire) et sur les populations d'arthropodes ravageurs n'est pas négligeable.

De même, compte tenu de la taille des parcelles, l'augmentation du nombre de placettes de prélèvement ainsi qu'une meilleure répartition de ces dernières aurait été souhaitable.

Par ailleurs, vu le nombre restreint d'individus piégés dans les tubes disposés au sol, peut-être aurait-il fallu mettre en place un plus grand nombre de pièges (ou des pièges plus grands) afin d'adapter le système de capture à la mobilité limitée des espèces évoluant à la surface du sol.

Ainsi, pour confirmer ou infirmer les résultats et conclusions qui ont été émises à l'issue de cette étude, il paraît nécessaire de remettre en place cette expérience, dans des conditions générales identiques mais en tenant compte des remarques faites ci-dessus et en y ajoutant un plus grand nombre de répétitions à tous les niveaux (nombre de parcelles par traitement, plusieurs tests Biolog™ par parcelles, résultats des pièges au sol identifiées pour chacune des placettes, ...). Il serait également intéressant de suivre les traitements qui n'ont pas pu être analysés dans cette étude (avant tout, les traitements BC2 et CB3), et de pousser plus loin l'étude des espèces qui ont été capturées (fonctions trophiques, relations inter-espèces, ...) afin de parfaire l'approche biologique indispensable à ce genre d'étude.

CONCLUSION

La rotation bananier / canne à sucre / bananier a déjà fait l'objet d'études plaidant en faveur de son adoption, qui contribuerait à inscrire les pratiques agricoles bananières dans un cadre de viabilité et de durabilité. D'un point de vue agronomique, les bienfaits semblent doubles : d'une part une action restructurante du sol par les racines de la canne, et d'autre part l'amélioration de l'état sanitaire des bananeraies permettant l'arrêt des applications nématicides pendant les deux années suivant leur réimplantation post canne à sucre.

Les résultats de notre étude entraînent cependant un commentaire plus contrasté.

S'il est vrai que la canne à sucre semble jouer un rôle favorable dans la mise en place d'une diversité biologique plus riche et équilibrée, il paraît abusif de prétendre que la culture du bananier peut bénéficier de tels bienfaits, ne serait-ce que pendant deux années. En effet, il apparaît que les caractéristiques de richesse et d'équilibre spécifique des parcelles en première et deuxième année de bananier après canne sont relativement proches de celle de la monoculture de bananier. Il est raisonnable de penser que l'influence conjointe des pratiques culturales et des caractéristiques physiologiques et biologiques propres à chacune des deux cultures considérées sont les déterminants majeurs de l'aptitude des milieux à mettre en place une diversité biologique spécifique. En d'autres termes, il est probablement impossible d'imposer une diversité et un équilibre biologique type « canne à sucre » dans un milieu cultivé sous bananier.

Ce commentaire devrait être précisé et confirmé par le renouvellement et l'amélioration de cette étude, ainsi que par l'approfondissement des analyses fonctionnelles et comportementales concernant les espèces observées.

BIBLIOGRAPHIE

- BESSON N., DOREL M., 1995. Introduction de la rotation culturale en culture bananière ; rapport d'exécution intermédiaire. CIRAD FLHOR.
- BIOLOG, 1993. Instructions for use of the Biolog GP and GN Microplates™. Biolog™, Hayward.
- BONAN H., PRIME J-L., 2001. Rapport sur la présence de pesticides dans les eaux de consommation humaine en Guadeloupe. Inspection Générale des Affaires Sociales (IGAS) et Inspection Générale de l'Environnement (IGE), pp.25-30.
- BULTEAU P., 2002. Compte rendu de mission en Martinique du 14 au 17 janvier 2002. G.I.E. Agro-Service, p.5.
- CHAMPION J., 1963. Le bananier. Ed. Maisonneuve et Larose.
- CIRAD FLHOR Guadeloupe, 2001. Fiche technique n°1 ; restauration de la fertilité des sols en bananeraie : la pratique d'une jachère raisonnée.
- CIRAD FLHOR, INRA, Martinique et Guadeloupe, 2000. Projet : étude des risques de pollution d'origine agricole en Martinique et en Guadeloupe ; fiche de présentation du projet.
- DE CONLONG, 1995. Results of preliminary pitfall trapping trials for potential arthropod predators of *Eldana saccharina* walker (Lepidoptera : pyralidae). Proceedings of The South African Sugar Technologists' Association, pp.79-82.
- DELVAUX B., 1989. Amélioration de la fertilité des sols et rationalisation des techniques culturales des bananeraies en Martinique. IRFA, convention régionale (bilan 1984-1989).
- DOREL M., 1993. Travail du sol en bananeraie : cas des andosols. Fruits, vol. 48, pp.77-82.
- DUELLI P., OBRIST M.K., 2003. Biodiversity indicators : the choice of values and measures. Agriculture, Ecosystems and Environment, 98 : 87-98.
- GILLER K.E., BEARE M.H., LAVELLE P., IZAC A-M.N., SWIFT M.J., 1997. Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function. Applied Soil Ecology, 6 : 3-16.
- HULUGALLE N.R., LOBRY DE BRUYN L.A., ENTWISTLE P., 1997. Residual effects of tillage and crop rotation on soil properties, soil invertebrate numbers and nutrient uptake in an irrigated Vertisol sown to cotton. Applied Soil Ecology, 7 : 11-30.
- IEDOM (Institut d'Emission des Départements d'Outre-Mer), 2003. La Guadeloupe en 2002, pp.39-49.
- LARKIN R.P., 2003. Characterization of soil microbial communities under different potato cropping systems by microbial population dynamics, substrate utilization, and fatty acid profiles. Soil Biology & Biochemistry, 35 : 1451-1466.
- LOEILLET D., 1998. La banane. Produits tropicaux ; CIRAD FLHOR Montpellier.

- LUPWAYI N.Z., RICE W.A., CLAYTON G.W., 1998. Soil microbial diversity and community structure under wheat as influenced by tillage and crop rotation. *Soil Biology & Biochemistry*, 30 : 1733-1741.
- MALLESSARD R., 1999. Pré-diagnostic de la filière de production banane de Guadeloupe. CIRAD FLHOR Montpellier.
- MCLAUGHLIN A., MINEAU P., 1995. The impact of agricultural practices on biodiversity. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 55 : 201-212.
- POSER C., 2002. Evolution du sol sous l'action des racines de la canne à sucre. CIRAD CA Guadeloupe.
- POSER C., MONSAINGEON T., 2002. Rotation banane-canne-banane : un système de production prometteur sur la région de Capesterre. CIRAD CA Guadeloupe.
- RISEDE J-M., 1999. Evaluation de cultures de rotations pour la lutte contre les nématodes parasites du bananier. CIRAD FLHOR Guadeloupe.
- RISEDE J-M., 2003. Suivi et diagnostic de l'assainissement nématologique de la rotation banane-canne à sucre-banane. CIRAD FLHOR Guadeloupe.
- SMALLA K., WACHTENDORF U., KRÖGERRECKLENFORT E., HEUER H., 1996. Which members of the bacterial population of the potato phyllosphere and rhizosphere contribute most to the Biolog community pattern ? Abstracts of the symposium on Bacterial Genetics and Ecology BAGECO 5, May 25-29, 1996, Nafplion, Greece, p. 93.
- STOVER R.H., SIMMONDS N.W., 1987. Bananas. Tropical agriculture series (3rd edition), Longman.
- TERNISIEN E., GANRY J., 1990. Rotations culturales en culture bananière intensive. Fruits ; CIRAD.
- VERCAMBRE B., 2002. Rapport de mission en Guadeloupe du 13 mai au 1^{er} juin 2002 : importance du niveau d'attaque de *Diatraea spp.*(Lep., Pyralidae) sur canne à sucre et propositions d'études sur son rôle dans les pertes en sucre. CIRAD CA.
- VERCAMBRE B., 2003. Rapport de mission en Guadeloupe du 11 au 26 mars 2003 : étude sur le rôle de *Diatraea spp.*(Lep., Pyralidae) dans les pertes en sucre en Guadeloupe – importance du niveau d'attaque sur canne à sucre à Marie-Galante. CIRAD CA.
- VIAUX P., RAMEIL V., 2004. Impact des pratiques culturales sur les populations d'arthropodes des sols de grandes cultures – déterminer des espèces «bio-indicatrices». *Phytoma - La Défense des Végétaux* - n°570, pp.8-11.

Site Internet :

FAOSTAT, 2004 ; <http://faostat.fao.org/> .

ANNEXE 1 : LA CULTURE DE LA CANNE A SUCRE EN GUADELOUPE

La canne à sucre dans le monde :

Avec plus d'un milliard de tonnes récoltées chaque année (1,333 milliards en 2003 d'après la FAO), la canne à sucre est la première production agricole mondiale. Les surfaces cultivées s'étendent sur 20,42 millions d'hectares et le rendement moyen, toujours à l'échelle mondiale, est de 65,3 tonnes/ha (FAOSTAT, 2003). Il existe cependant de fortes disparités de rendements entre les pays producteurs (et parfois même au sein de ces pays) avec des niveaux qui se répartissent entre moins de 10 tonnes/ha (Cameroun, République Centre-Africaine, Libéria, Ouganda, ...) et plus de 100 tonnes/ha (Burkina Faso, Tchad, Sénégal, Pérou (plus de 130t/ha), ...). Seulement six nations assurent plus de 70% de la production mondiale, avec en tête : le Brésil (386 millions de tonnes et plus de 5,3 millions d'hectares), l'Inde (290 millions de tonnes) et la Chine (92 millions de tonnes).

Les deux principaux débouchés pour la canne à sucre sont le sucre (146,1 millions de tonnes en 2003) et le rhum. Actuellement, 70% du sucre produit dans le monde est issu de la canne à sucre, contre 30% pour la betterave sucrière (FAOSTAT, 2003).

La canne à sucre en Guadeloupe :

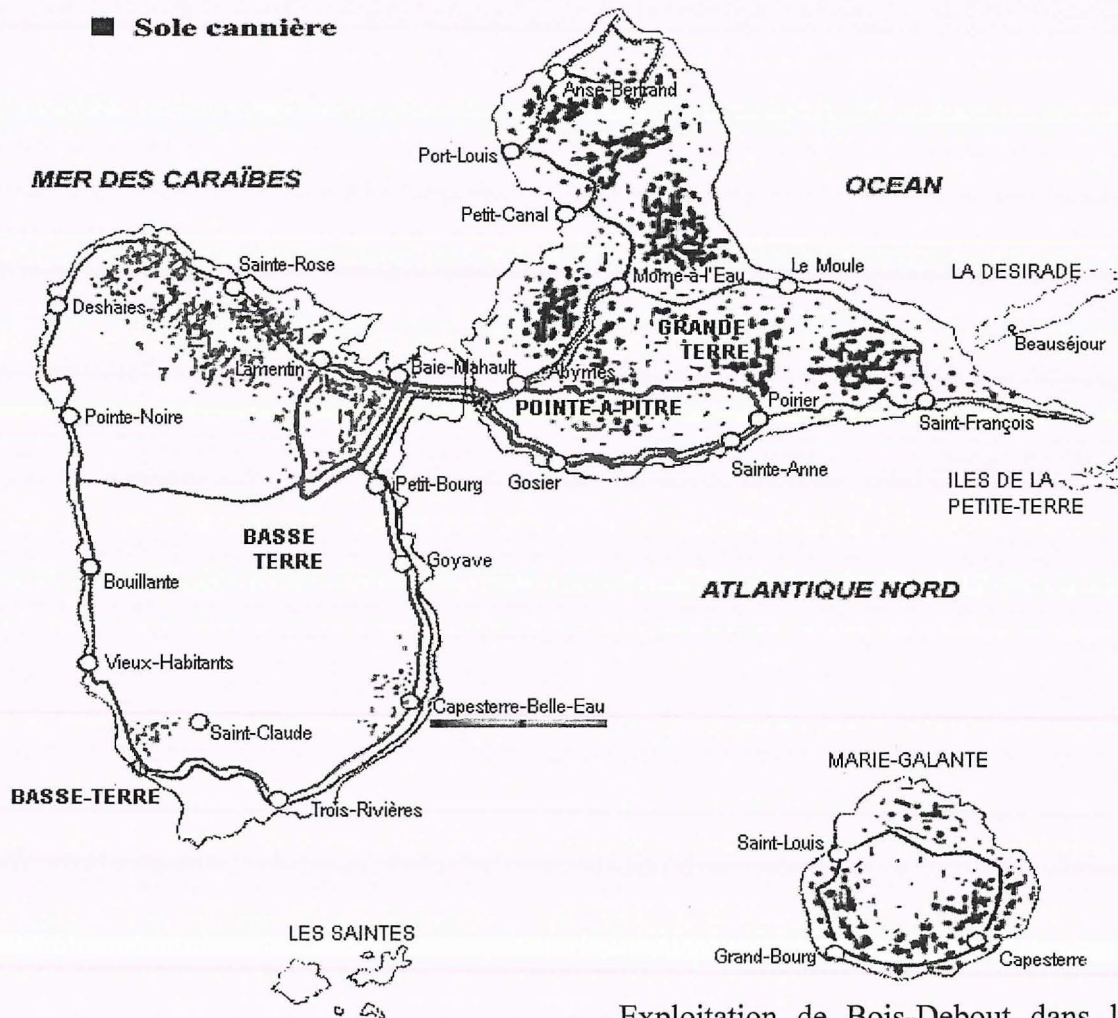
Culture la plus étendue sur l'île, la canne à sucre couvre 11.500 hectares (cf. carte en vis-à-vis) et permet une production annuelle de 820.000 tonnes brutes dont sont extraites 68.000 tonnes de saccharose et 62.000 hectolitres d'alcool pur (valeurs 2003, FAOSTAT). Les résidus agricoles ou industriels liés aux traitements subis par la canne sont principalement la mélasse (résidu liquide sucré d'où il n'est plus possible d'extraire le saccharose par cristallisation) et la bagasse (résidu fibreux résultant du pressage des tiges). Il faut noter que la combustion de cette dernière dans la centrale thermique du Moule (commune de Grande-Terre) permet une production d'électricité qui couvre près de 30% des besoins de la Guadeloupe.

La production de sucre est assurée par deux usines : l'usine de GARDEL S.A. située en Grande-Terre et l'usine de Marie-Galante. Ces dernières permettent, par ailleurs, la production d'un rhum dit «industriel» qui est issu de la mélasse. Le rhum «agricole» est lui élaboré dans une dizaine de distilleries réparties sur toute l'île. La canne achetée au producteur l'est à un prix minimum garanti et le sucre vendu sur le marché préférentiel européen l'est, lui aussi, à un prix garanti dans le cadre d'un quota fixé à un peu plus de 110.000 tonnes.

• Une filière bien organisée :

- 5740 planteurs, 11 CUMA et 40 ETA : plantation, entretien et récolte de la canne;
- 2 sucreries ;
- 11 distilleries : 9 agricoles et 2 industrielles ;
- la centrale thermique du moule ;

- les organismes de développement : les SICA (Société d'Intérêt Collectif Agricole) (SICAMA, UDCAG, SICAGRA, SICADEG) : approvisionnement en intrants, financement de l'entretien et des replantations, redistribution des aides publiques, encadrement technique, gestion du fichier planteur ;
- le CTICS (Centre Technique Interprofessionnel de la Canne et du Sucre) : coordination agronomique, contrôle qualité des cannes et des rhums ;
- le CIRAD : recherches sur les variétés, les maladies de la canne. Etude de la dynamique des intrants dans le sol, optimisation de l'irrigation, mécanisation de la culture, ... ;
- le LAPRA (Laboratoire Professionnel Régional d'Analyses) : analyses de sols ;
- la SAFER, la DAF et la Chambre d'Agriculture : encadrement technique.



Exploitation de Bois-Debout dans la zone de Capesterre-Belle-Eau.

Carte de la sole cannière en Guadeloupe (2003). (sources CIRAD / DAF)

- **Données biologiques et agronomiques :**

Les cannes cultivées actuellement (*Saccharum spp.*) sont des hybrides interspécifiques artificiels entre *S. officinarum* et l'espèce sauvage *S. spontaneum*. Ce sont des aneuploïdes complexes à forte polyploïdie ($2n > 100$) reproduits par voie végétative. La canne cultivée a une morphologie classique de poacée pérenne. Elle possède de 5 à 20 tiges (issues du tallage) hautes de 2 à 5 mètres pour un diamètre compris entre 2 et 5 centimètres. Elle est propagée par bouturage de tige à partir du développement de bourgeons axillaires (cf. figure en vis-à-vis). On distingue deux cycles : le cycle entre deux récoltes (variant entre 10 et 24 mois) et le cycle entre deux plantations dont la durée est variable et dépend surtout de critères socio-économiques (le plus souvent entre 3 et 6 ans en Guadeloupe). Le rendement décroît au fil des repousses, en liaison avec le vieillissement de la souche, l'accumulation des maladies et les pratiques culturales. L'accumulation du saccharose dans la tige se produit en fin de période de végétation, déclenchée par l'action combinée d'une baisse des températures, d'une augmentation de leur amplitude quotidienne et d'une diminution de l'alimentation hydrique.

Conduite de la culture :

- Lustrage du sol : sous-solage (si nécessaire), labour, sillonnage (20 cm de prof.) pour la pose des boutures, chaulage (basse terre). Les engrais (du type N-P-K) sont déposés au fond du sillon de plantation ou sur le rang de canne en rejeton (au plus tard, 2 mois après la coupe).
- Plantation : des cannes issues de pépinières de 8 à 10 mois sont tronçonnées en fragments de 3 à 4 nœuds (les boutures) et déposées au fond des sillons de plantation (espacés les uns des autres de 1,5 mètres environ).
- Désherbage : traitement herbicide de pré-émergence (dans les 10 jours suivant le recouvrement des plants, avec des pulvérisateurs tractés) et/ou de post-émergence (1 mois et demi à deux mois après recouvrement, avec des pulvérisateurs à main). Contre les monocotylédones : produits à base de Diuron, Hexazinone, Simazine, Amétryne, Glyphosate, ... ; contre les dicotylédones : produits à base de 2,4-D.
- Lutte contre maladies et ravageurs :

Le rat est actuellement le ravageur le plus nuisible en Guadeloupe. Ses attaques entraînent la casse des tiges, leur dessèchement et pourriture, ainsi que la prolifération de parasites secondaires à partir des blessures. Le moyen de lutte le plus efficace reste l'emploi d'anticoagulants.

Les chenilles phytophages se développent grâce à la présence de certaines mauvaises herbes. Un bon désherbage constitue le meilleur moyen de lutte.

La fumagine (champignon) se développe sur le miellat déposé par un insecte de type piqueur/suceur, le *Saccharosydnea saccharivora*. Une lutte biologique a été mise en place dans la Caraïbe afin de détruire l'insecte et donc d'éliminer la fumagine.



Bordure d'une parcelle de canne à sucre, deux semaines avant la récolte. Les tiges atteignent près de 4 mètres de hauteur. Certaines versent sous leur propre poids.

Le foreur de tige présent en Guadeloupe, *Diatraea saccharalis*, est un petit papillon nocturne dont la chenille creuse des galeries à l'intérieur des tiges. Il provoque la casse des cannes et abaisse le taux de saccharose. La lutte biologique (seul moyen préconisé par les chercheurs) consiste à faire des lâchers d'un des trois principaux prédateurs du «borer» (autre nom du foreur de tige) : la mouche de Cuba, la guêpe d'Asie et la mouche d'Amazonie.

Les insectes piqueurs-suceurs, comme les cicadelles, les pucerons et les cochenilles, prélèvent la sève, sécrètent parfois des toxines ou transmettent des maladies. La lutte chimique contre ces insectes n'est peu ou pas répandue ; elle n'est, de toute façon, pas réellement efficace. La seule issue reste, là encore, la lutte biologique. Il en va de même pour les chenilles défoliatrices et pour les destructeurs du système racinaire (ver blanc, termite, cigale ...).

Les maladies ayant les conséquences les plus graves sont l'échaudure des feuilles (provoquée par la bactérie *Xanthomonas albilineans*) et la maladie des feuilles jaunes (provoquée par le virus SCYLV). L'élaboration à partir de vitroplants «sains» des souches plantées, ainsi que la lutte contre les insectes vecteurs de ces maladies, sont les moyens les plus efficaces de limiter leur apparition.

- La récolte :

L'usine a une capacité journalière de broyage qu'elle doit respecter ; c'est pourquoi elle impose une quantité bien précise de cannes à livrer chaque jour durant toute la durée de la campagne : c'est le « quota ». Les surfaces coupées quotidiennement doivent donc ne pas dépasser une certaine limite sous peine de voir l'excédent se déprécier sur le champ.

Sur certaines exploitations, des raisons économiques, la topographie des parcelles et le choix de certaines variétés, justifient le brûlage des cannes pour faciliter la coupe mécanique ou manuelle. Le brûlage n'altère pas la qualité des cannes mais oblige à ce qu'elles soient livrées à l'usine dans les 24 heures suivant la coupe car elles sont plus sensibles à la détérioration.

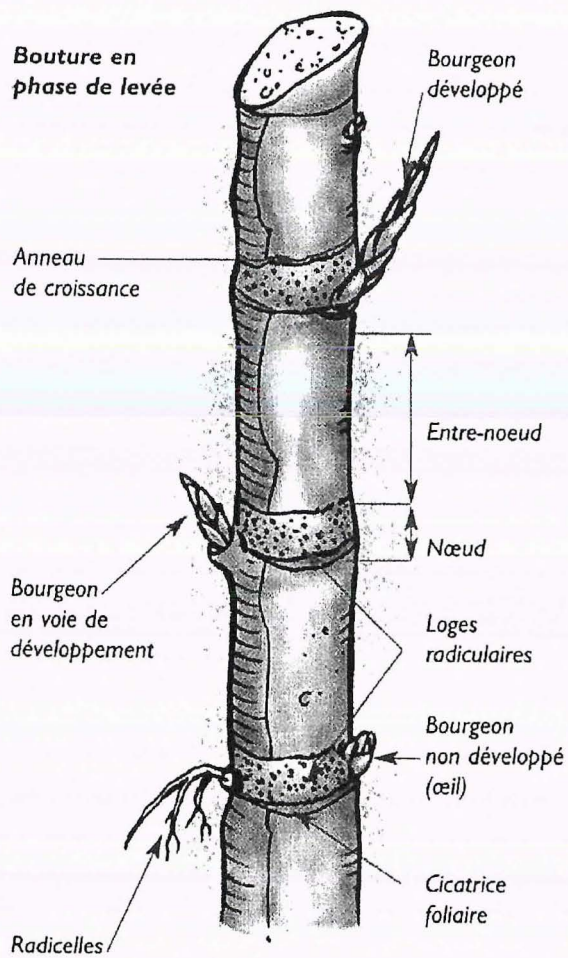
En général, la canne à sucre a entre 10 et 12 mois au moment de la récolte.

- Richesse et qualité des cannes :

Le planteur est rémunéré au tonnage de cannes qu'il apporte à la sucrerie ou à la distillerie, mais aussi à la richesse en saccharose de sa production. Dans la canne, cette richesse en saccharose décrit un gradient décroissant du bas de la tige vers le haut.

Le prix standard est calculé à partir de la richesse saccharine (RS). Celle-ci varie plus ou moins autour de 9 en fonction de :

- la teneur en saccharose ;
- la pureté du jus ;
- la teneur en fibre et en impuretés.



La bouture :

Morceau de tige de 30 à 40 centimètres, comportant 3 à 4 nœuds.

Grâce aux réserves nutritives, la bouture enfouie dans le sol va produire des bourgeons qui, en se développant, vont donner des tiges primaires.

Parallèlement, de fines racines superficielles vont se développer pour assurer la reprise pendant les deux premiers mois.

Source : manuel Fafsea : *La canne à sucre en Guadeloupe* (2000)



Repousses sur une parcelle de canne à sucre, 3 semaines après la coupe. (Juin 2004)

ANNEXE 2 : LA CULTURE BANANIERE EN GUADELOUPE

La banane dans le monde :

Avec plus de 60 millions de tonnes récoltées chaque année (69,29 millions en 2003, d'après la FAO), la banane est au deuxième rang du marché mondial des fruits, derrière les oranges. Les surfaces cultivées s'étendent sur 4,5 millions d'hectares et le rendement moyen, toujours à l'échelle mondiale, est de 15,2 tonnes/ha (FAOSTAT, 2003). Seulement sept pays assurent plus des deux tiers de la production mondiale, avec en tête : l'Inde (16,5 millions de tonnes et plus de 620.000 hectares), le Brésil (6,5 millions de tonnes) et la Chine (5,8 millions de tonnes).

L'Union Européenne est le premier importateur mondial avec un tiers des échanges totaux.

La banane en Guadeloupe :

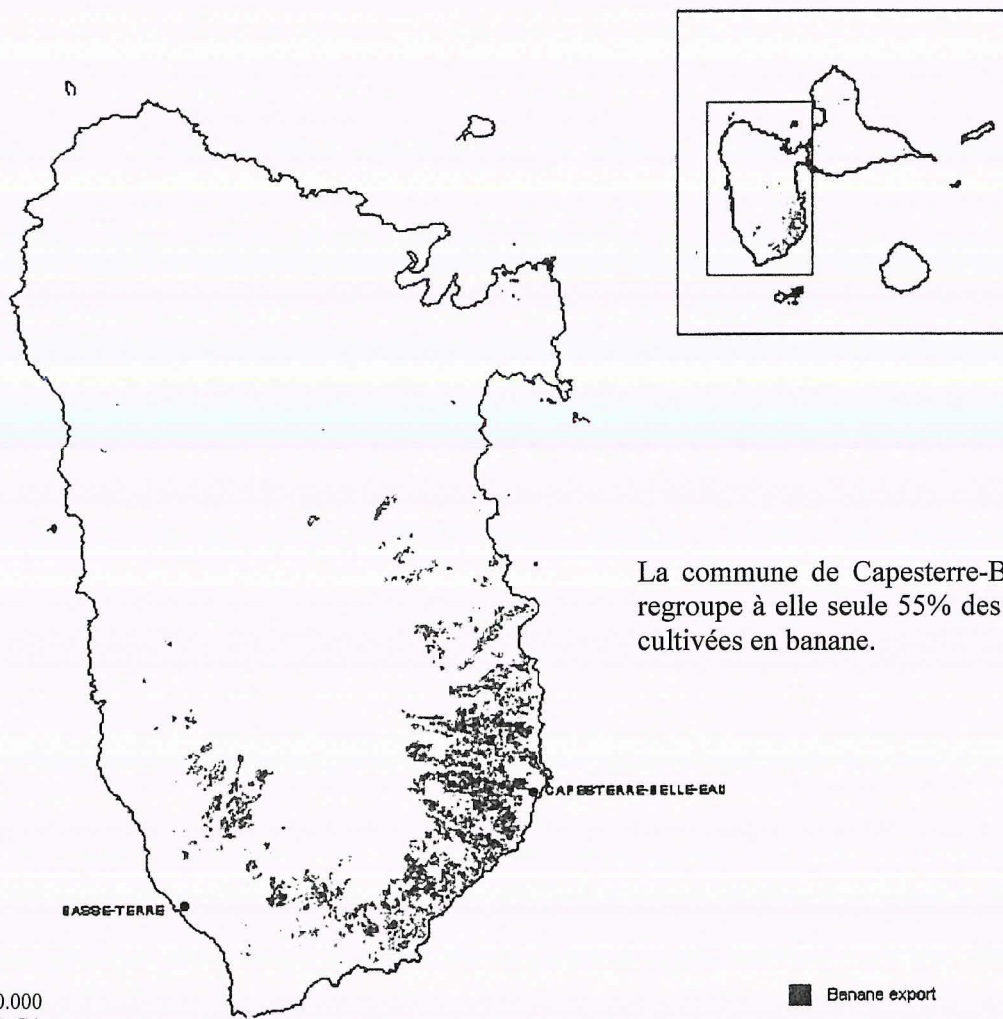
La culture de la banane est l'une des plus étendues de l'île avec 5.700 ha (cf. carte en vis-à-vis). Elle permet une production annuelle de 115.450 tonnes de bananes quasi exclusivement destinées à l'exportation vers l'Europe. La banane fait vivre plus de 600 exploitations qui assurent un rendement moyen de 20,2 tonnes/ha. Cependant, à une masse de petits producteurs familiaux (moins de 5 ha, souvent en zone d'altitude) s'opposent quelques grosses exploitations (surfaces allant de 20 à 300 ha, irriguées, en plaine). Ces sociétés bananières assurent à elles seules plus de la moitié des exportations totales.

La culture bananière est fortement consommatrice de main d'œuvre. L'entretien de la bananeraie est pratiquement exclusivement manuel : oeilletonnage, engainage, effeuillage, épandage des engrais et des produits phytosanitaires, ... Les chantiers de récolte/emballage et de plantation d'une nouvelle bananeraie sont les deux principaux chantiers des exploitations bananières. Ils nécessitent souvent un renfort de main d'œuvre.

• Une filière fragile :

La filière banane guadeloupéenne est complexe et présente des dysfonctionnements qui handicapent les producteurs. Elle est caractérisée par l'existence de deux SICA (Société d'Intérêt Collectif Agricole) : la SICA BANAGUA et la SICA KARUBANA. Ces deux groupements bananiers sont administrés par l'ensemble des acteurs de la filière : les producteurs, les exportateurs et les importateurs. Ces SICA avaient initialement quatre missions principales :

- l'information, la formation et l'appui technique à leurs adhérents respectifs ;
- la centralisation des récoltes, l'expédition et le négoce des bananes ;
- le montage et la gestion des dossiers financiers (demandes de subventions, déclarations de sinistres, ...)
- l'importation des intrants et l'approvisionnement des planteurs.



Carte de la sole bananière en Guadeloupe (2003).



Régime de bananier.

Les bananes portent encore à leur extrémité les fleurs desséchées. Les dernières bractées (pointe de couleur mauve) protégeant les ultimes fleurs ne sont pas encore tombées.

Aujourd'hui, le rôle des SICA est restreint à la centralisation de la production ainsi qu'à la gestion des dossiers financiers et des comptes de vente des planteurs. Elles continuent à approvisionner les agriculteurs en intrants mais elles sont désormais concurrencées par d'autres fournisseurs privés. Devant leurs difficultés à assurer un appui technico-économique régulier aux producteurs, il a été créé en 2000 une structure commune aux deux SICA, le Groupement d'Intérêt Economique Agro-service. Le GIE Agro-service a pour mission de fournir un conseil technique et économique personnalisé, en particulier aux petits et moyens producteurs. Cette structure bénéficie de l'appui scientifique et méthodologique du CIRAD.

Une autre structure commune aux deux SICA a été créée pour assurer les traitements aériens contre la Cercosporiose, il s'agit de SERVIPROBAN. Le GIE Agro-service et SERVIPROBAN sont financés par les planteurs par le biais de cotisations que les SICA prélèvent directement sur les comptes de ventes des planteurs.

La principale critique faite, aujourd'hui, à ces SICA est leur manque de transparence. En effet, la relation entre les SICA et les maisons d'exportation sont floues : chaque SICA possède des parts sociales dans certaines maisons d'exportation qui, elles-mêmes, participent à l'administration des SICA ... Les planteurs perdent confiance envers leur SICA et se découragent face à cette filière sur laquelle ils n'ont aucune emprise et qui ne leur laisse aucun recours.

- **Données biologiques et agronomiques :**

Les bananiers sont des plantes herbacées dont la taille du pseudo-tronc varie de 1,5 mètres à 8 mètres de hauteur selon les espèces et les cultivars. Les bananes « dessert » destinées à l'exportation appartiennent au sous-groupe des Cavendish, dont les fruits sont parthénocarpiques et stériles, et dont les plants se reproduisent par multiplication végétative. Le bananier est une plante exigeante en eau, sensible aux basses températures et au vent. Les sols doivent être sains, aérés et riches en azote et potasse. La culture du bananier est semi-pérenne, car bien que le cycle de production d'un régime soit annuel, la souche souterraine est vivace et donne naissance à de nombreux rejets latéraux (cf. figure en vis-à-vis). Un seul rejet est sélectionné ; c'est ce rejet qui donne le régime de l'année suivante. Cette succession végétative permet à une bananeraie de durer plusieurs années. Il faut aussi noter que le cycle de développement d'un pied n'est pas synchronisé avec celui de son voisin même s'ils ont été plantés à la même date. Au bout de trois ans, la désynchronisation est complète : on trouve simultanément des bananiers à tous les stades de développement dans la plantation.

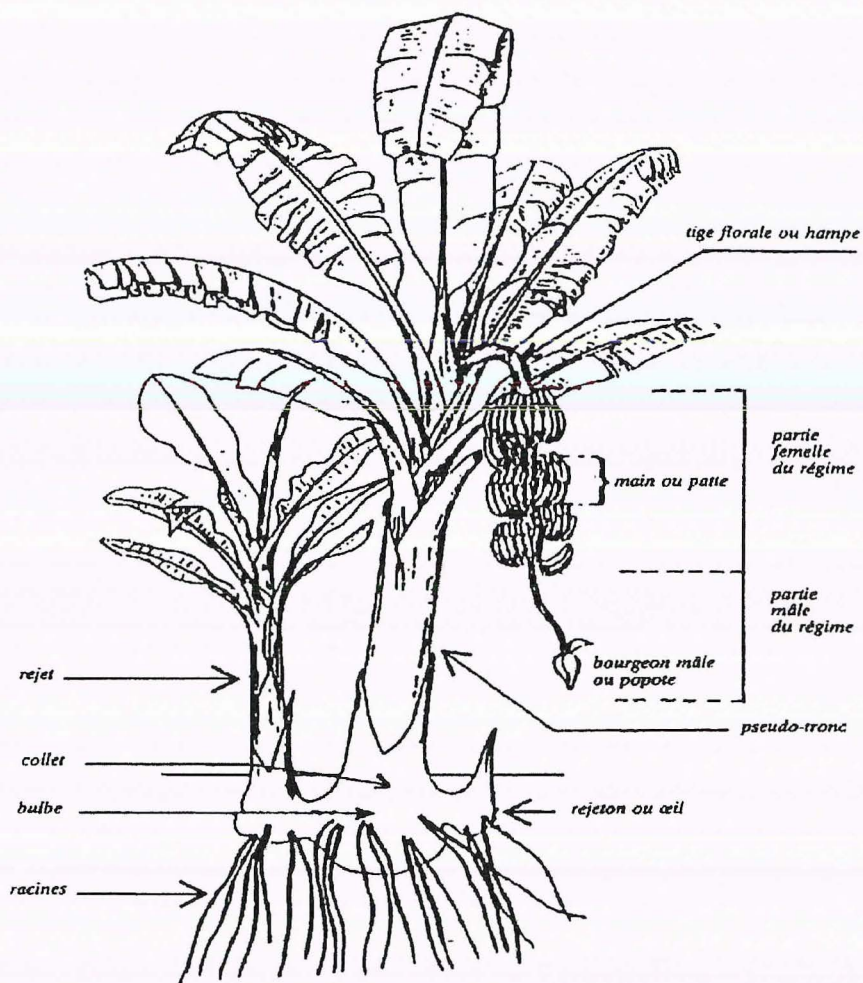


Schéma d'un bananier (d'après Champion, 1963)



Culture de bananiers (exploitation Bois Debout, Capesterre).

Les bananiers sont sensibles à des maladies virales (Bunchy top et mosaïque) ainsi qu'à la cercosporiose jaune, maladie fongique due à *Cercospora musae*. Cette maladie est très répandue et donne lieu à un traitement généralisé des zones de production bananières. Le traitement est systématique et s'effectue par pulvérisation aérienne d'un fongicide. Les principaux ennemis des bananiers sont des parasites et ravageurs du système racinaire. Les nématodes, *Radopholus similis* et *Pratylenchus coffeae*, sont les deux espèces qui font le plus de dégâts en bananeraies (nécroses racinaires). Le charançon du bananier, *Cosmopolites sordidus*, est l'insecte le plus dévastateur pour le bananier (galeries faites par les larves dans le système racinaire). Lorsque le système racinaire est endommagé, la plante toute entière est fragilisée : mauvaise nutrition qui entraîne une perte de rendement, sensibilité accrue au vent qui facilite la chute du plant, La sensibilité à de nombreuses et puissantes maladies, ainsi que la forte pression parasitaire tellurique, font de la banane une culture fortement consommatrice d'intrants et surtout de produits phytosanitaires.

Deux variétés sont principalement cultivées en Guadeloupe, toutes deux appartiennent au sous-groupe des Cavendish :

- la Poyo : variété traditionnelle, rustique, résistant bien au manque de fertilisation, mais très sensible au vent du fait de sa grande taille.
- la Grande Naine : variété plus récente qui est aujourd'hui largement dominante. Elle résiste bien aux intempéries mais est très exigeante à l'entretien (fertilisation et traitements phytosanitaires). Cette variété est produite en vitroplants, alors que la Poyo ne l'est pas (multiplication traditionnelle à partir des rejets).

Conduite de la culture :

- Préparation du sol :

Cette opération varie fortement selon la couverture végétale antérieure. Le sol doit être en particulier assez meuble pour permettre une bonne pénétration racinaire. Un sous-solage de 50 à 70 cm est nécessaire pour les sols qui ont été pâturés ou qui présentent une épaisse semelle de labour. Un drainage est indispensable si la nappe phréatique se trouve à moins de 40 à 60 cm de la surface du sol.

Lorsque la plantation se fait sur une ancienne bananeraie, les bananiers précédents doivent être détruits (à la machette ou au bulldozer selon les cas), les rejets pouvant être éliminés avec des herbicides. Le sol doit être désinfecté afin de réduire au maximum les populations de nématodes et de charançons.

- Plantation :

La plupart des plantations se font, aujourd'hui, à partir de vitroplants sains qui ont été cultivés en pépinière.

La plantation se fait dans des trous individuels ou dans un sillon, de manière mécanique ou manuelle.

La densité de plantation des cultivars les plus communs varie entre 1600 et 2200 pieds/ha. De nombreux schémas de plantation existent (en lignes simples ou jumelées par exemple).

- Oeilletonnage :

Il s'agit de choisir le meilleur rejet, celui qui produira le régime de la saison suivante. Il convient de maintenir la densité initiale de la plantation, on ne sélectionne donc qu'un unique rejet par pied-mère. L'élimination des autres rejets (oeilletonnage) est, la plupart du temps, manuelle (élimination chimique : hormones de synthèse).

- Contrôle de l'enherbement :

Lorsque la bananeraie est assez développée, elle possède une canopée fermée qui fait de l'ombre et limite donc le développement des mauvaises herbes. En revanche, au début du cycle (5 premiers mois) le contrôle des mauvaises herbes est un problème majeur. La gestion des plantes adventices se fait à la machette et surtout aux herbicides (Glyphosate, Paraquat).

- Fertilisation minérale :

Elle concerne surtout l'azote (N) et le potassium (K). Les engrais sont apportés manuellement à la base de chaque bananier (plus rarement, par les systèmes d'irrigation). Les doses apportées : 300 à 600 kg de N/ha/an (surtout sous forme d'urée) fractionnés en 4 à 12 apports, et de 400 à 800 kg de K/ha/an en 1 à 2 fois.

- Irrigation :

La banane est une culture très exigeante en eau (besoins : environ 100 à 120 mm/mois). Les systèmes d'irrigation sont souvent employés (aspersion sur frondaison, aspersion sous frondaison, goutte à goutte).

- Protection des fruits :

Effeuillement hebdomadaire : on enlève 1 ou 2 feuilles par arbre pour éviter le contact avec le régime.

Gainage : on place le régime dans une gaine de polyéthylène afin de le protéger contre les attaques d'insectes.

Etayage et tuteurage : afin d'éviter la chute des bananiers sous le poids du régime et/ou sous l'action du vent.

- Protection phytosanitaire : Maladies virales : lutte par éradication des pieds atteints et de leurs rejets.

Maladies fongiques : Fusariose (aucun remède mais variétés résistantes) ; Cercosporiose (8 à 18 traitements aériens par an (fongistatiq. + fongicide systémiq.)) ; Anthracnose (thiabendazole sur fruits avant l'emballage).

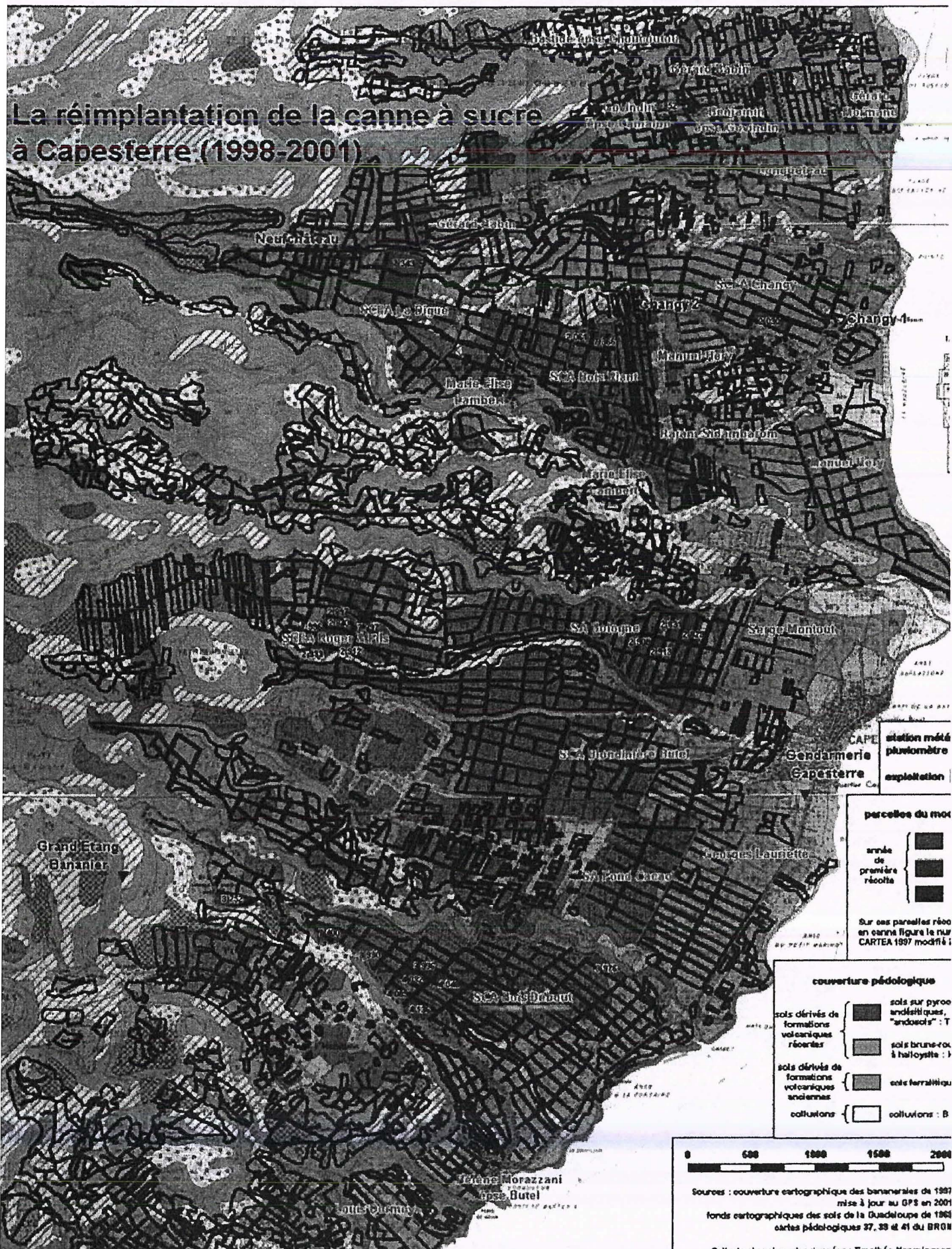
Charançons : insecticides autour de la base des plants (carbofuran-terbufos, fipronil) ; pièges à phéromones.

Nématodes : lutte préventive : matériel sain (vitroplants) sur sol sain (jachère, rotation culturale) ; nématicide.

- Récolte : une à plusieurs fois par semaine, de façon manuelle. Tout le régime est récolté en même temps.

ANNEXE 3 : COUVERTURE CARTOGRAPHIQUE DES BANANERAIES ET DE LA CANNE A SUCRE SUR FOND PEDOLOGIQUE DE LA REGION DE CAPESTERRE EN 2001

La réimplantation de la canne à sucre à Capes terre (1998-2001)



ANNEXE 4 : PROTOCOLE DE CARACTERISATION DES COMMUNAUTES MICROBIENNES DU SOL

(Smalla *et al.*, méthode adaptée)

Extraction du « jus microbien »

Pour chaque échantillon : (1 échantillon = 1 parcelle)

- Prélever 5g, les déposer dans un erlen-meyer de 250mL
- Ajouter 25mL d'une solution saline stérile (NaCl 0,85%)
- Mettre sous agitation latérale pendant 1 heure à 200 tours/minute
- Transvaser le contenu dans un tube conique et mettre à centrifuger pendant 10 minutes à 500G
- Récupérer le surnageant dans un tube de centrifugation stérile, et mettre à ultra-centrifuger pendant 10 minutes à 10 000G
- Eliminer doucement le surnageant et reprendre le culot dans 20mL de solution saline
- Ultra-centrifuger pendant 10 minutes à 10 000G
- Eliminer doucement le surnageant et reprendre le culot dans 25mL de solution saline

Inoculation des micro-plaques BiologTM

Pour chaque échantillon : (1 échantillon = 1 parcelle)

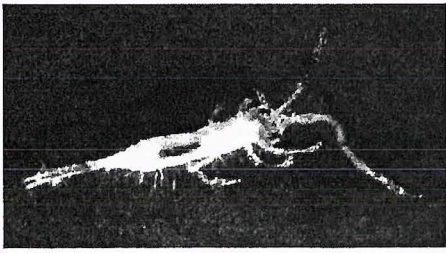
- Déverser le contenu de chaque tube de « jus microbien » dans une boîte de pétri
- Inoculer les 96 puits de chaque plaque à l'aide d'une micro-pipette (Pipetman[®]) à 8 branches, à raison de 140µL de « jus microbien » par puits

Lecture des micro-plaques BiologTM

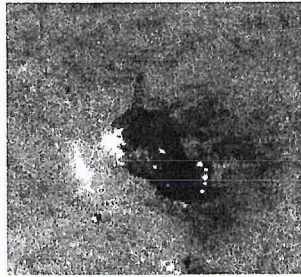
Utilisation d'un appareil de lecture de plaques ELISA (ELX 800).

Lecture à 595 nanomètres.

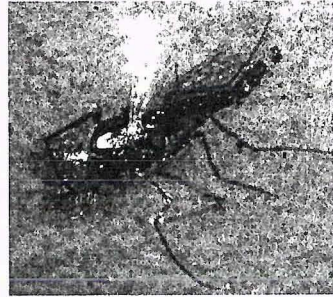
ANNEXE



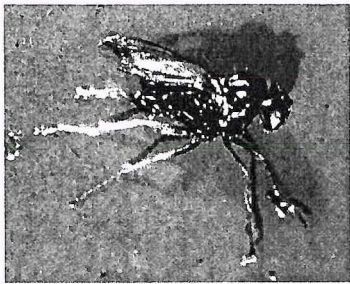
A



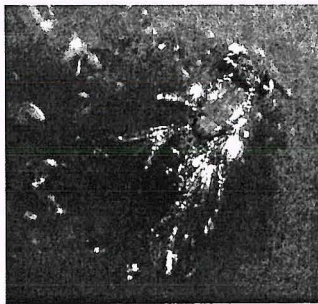
B



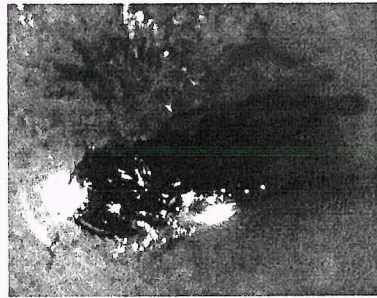
C



D



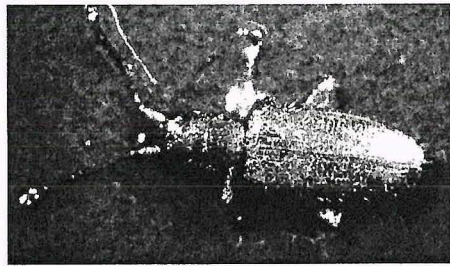
E



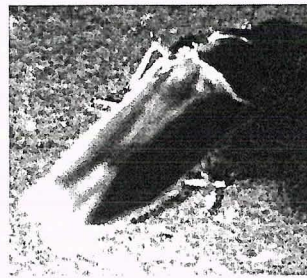
F



G



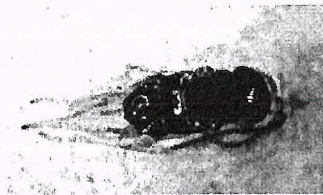
H



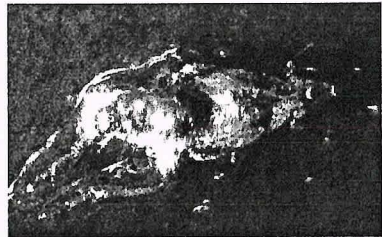
I



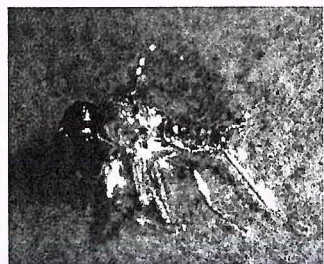
J



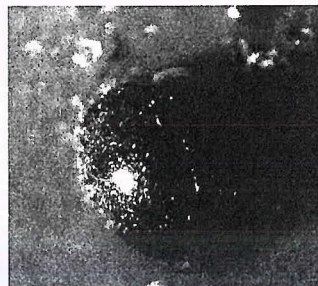
K



L



M



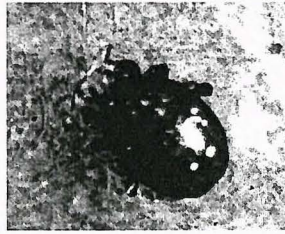
N



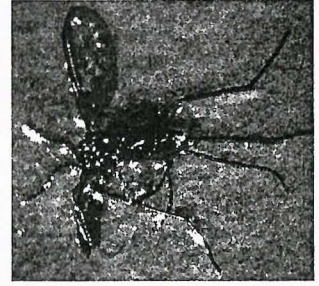
O



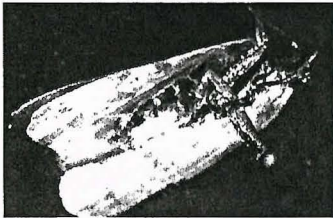
P



Q



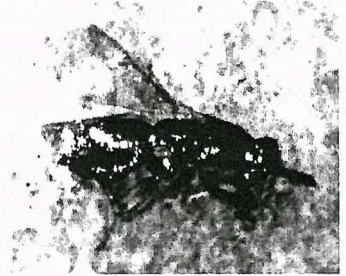
R



S



T



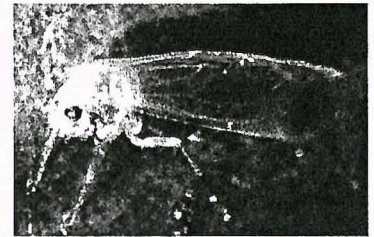
U



V



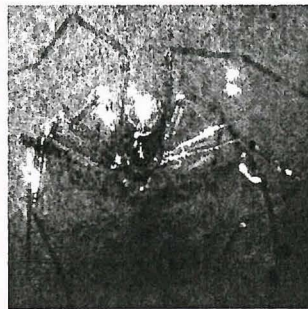
W



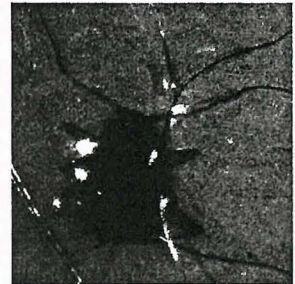
X



Y



Z



AA



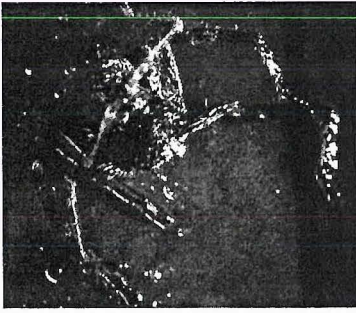
AB



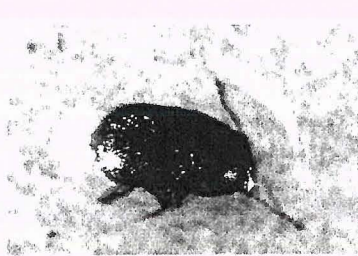
AC



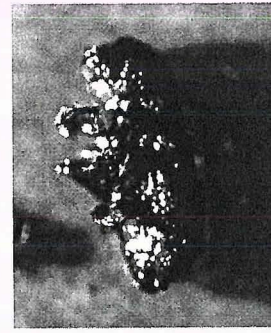
AD



AE



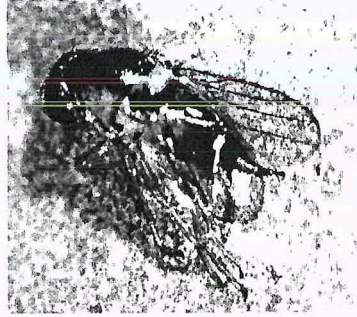
AF



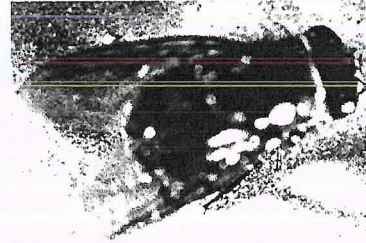
AG



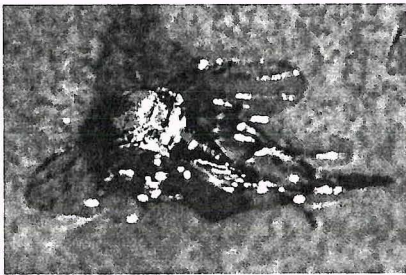
AH



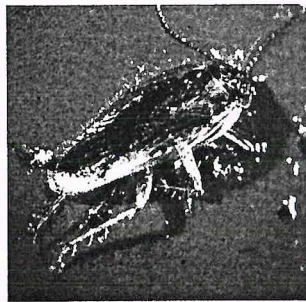
AI



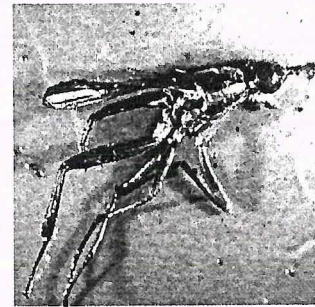
AJ



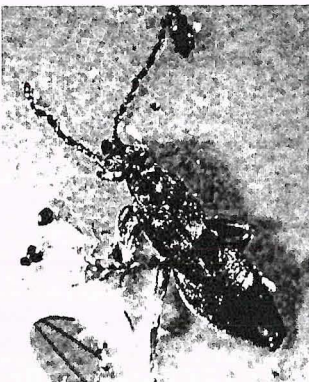
AK



AL



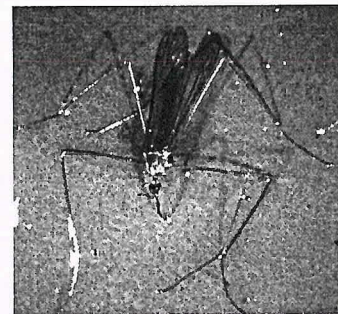
AM



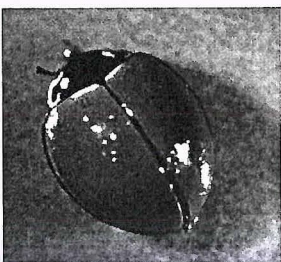
AN



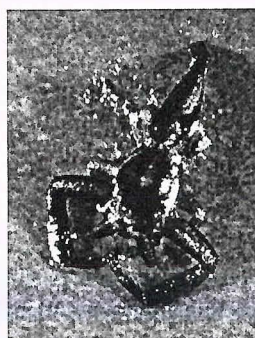
AO



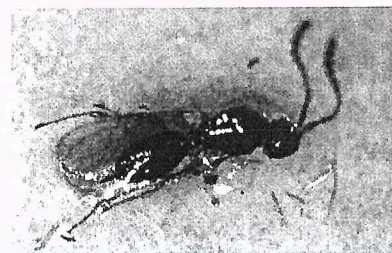
AP



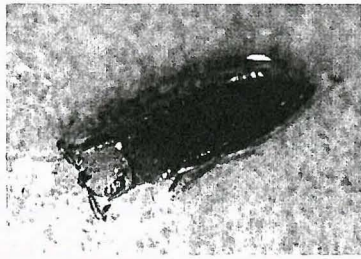
AQ



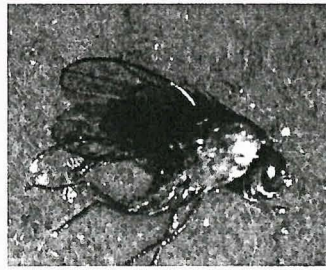
AR



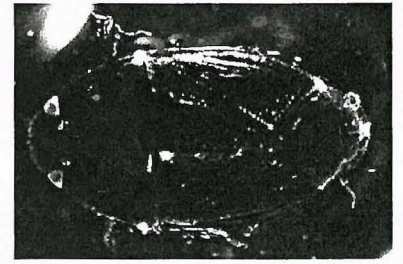
AS



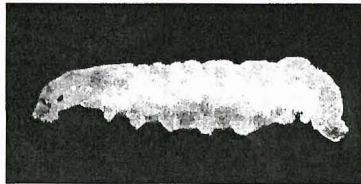
AT



AU



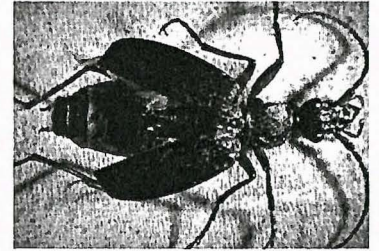
AV



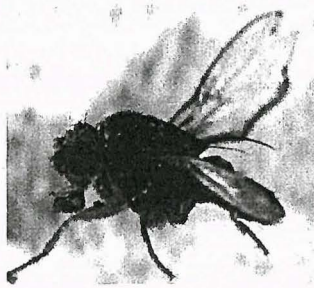
AW



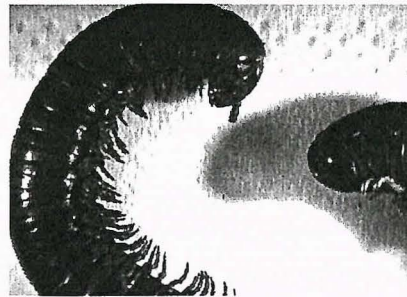
AX



AY



AZ



AAA



AAB



AAC



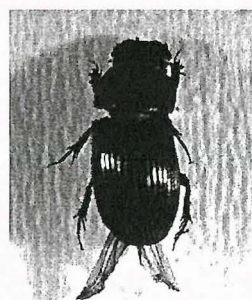
AAD



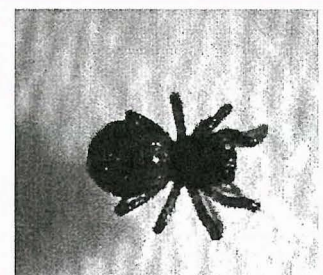
AAE



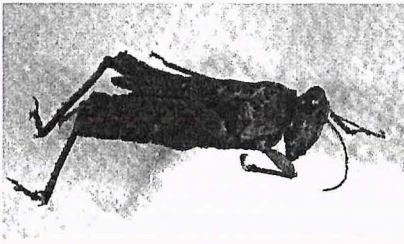
AAF



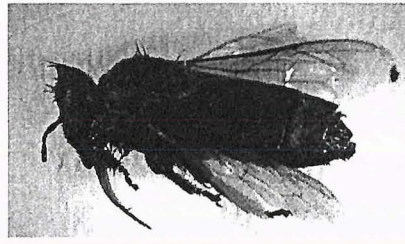
AAG



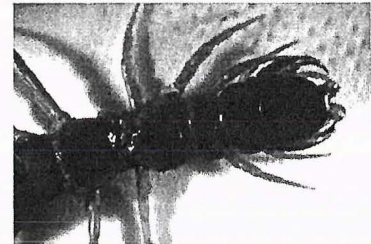
AAH



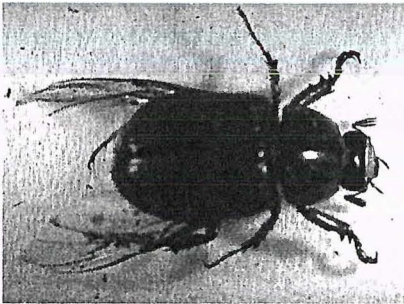
AAI



AAJ



AAK



AAL

LEGENDE

(g) présent sur les bandes de glu

(t) présent dans les tubes

Identifiant	Longueur (mm)	Largeur (mm)
A (g)	1	< 0,5
B (g)	< 0,5	< 0,5
C (g)	1,5	0,5
D (g)	2	1
E (g)	2	1
F (g)	1	< 0,5
G (g)	1	0,5
H (g)	4	1
I (g)(t)	2,5	1
J (g)	1,5 - 2	1
K (g)	1,5	0,5
L (g)	1,5 - 2	1
M (g)	1	0,5
N (g)	2	1,5
O (g)(t)	1 - 2,5	0,5 - 1
P (g)	1	< 0,5
Q (g)	< 0,5	< 0,5
R (g)	1,5	0,5
S (g)	10	5
T (g)	6	3
U (g)	1	0,5
V (g)	5	1,5 - 2

Identifiant	Longueur (mm)	Largeur (mm)
W (g)	2	1,5
X (g)	2	1
Y (g)	0,5	< 0,5
Z (g)	1	1
AA (g)	< 0,5	< 0,5
AB (g)	1	< 0,5
AC (g)(t)	1,5 - 2	1
AD (g)	4	2
AE (g)(t)	3	2
AF (g)	1,5	1
AG (g)(t)	2	1,5
AH (g)	4	1,5
AI (g)	2	1
AJ (g)	6	3
AK (g)	2	1
AL (g)	10	4
AM (g)	8	3
AN (g)(t)	2	1
AO (g)	1,5	1
AP (g)	6	2
AQ (g)	4	3
AR (g)	3	1,5

Identifiant	Longueur (mm)	Largeur (mm)
AS (g)	2,5	1
AT (g)	2	0,5
AU (g)	2	0,5
AV (t)	3	2
AW (t)	3	0,5
AX (t)	3	1
AY (t)	20	5
AZ (t)	2	0,5
AAA (t)	15 - 100	2 - 5
AAB (t)	2,5	0,5 - 1
AAC (t)	28	5
AAD (t)	8	2
AAE (t)	1 - 1,5	0,5
AAF (t)	2,5	1
AAG (t)	5	2
AAH (t)	1	1
AAI (t)	7,5	2
AAJ (t)	12	4
AAK (t)	90	5
AAL (t)	13	6