Table des matières

Remerciements……..……..……...1
Liste des figures……...……..……...…….....3
Liste des tableaux……..……..……4
INTRODUCTION……..5
SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE……...6
1. Biodiversité, réseaux trophiques et régulation 6
1.1. Relations entre biodiversité et réseaux trophiques 6
1.2. Rôle des prédateurs généralistes dans le contrôle des bioagresseurs 6
2. Système biologique étudié..... 7
2.1. Culture du bananier 7
2.1.1. Description du bananier *Musa sp.* 7
2.1.2. Phases de développement..... 7
2.1.3. Diversité des systèmes de culture..... 7
2.1.4. Bioagresseurs 8
2.2. Le charançon du bananier *Cosmopolites sordidus* (Germar) 8
2.2.1. Origine du charançon 8
2.2.2. Dégâts du charançon 8
2.2.3. Biologie et cycle de vie 8
2.2.4. Protection intégrée contre le charançon du bananier 9
2.3. Ennemis naturels potentiels de *Cosmopolites sordidus* 10
2.3.1. Parasitoïdes..... 10
2.3.2. Champignons et nématodes entomopathogènes..... 10
2.3.3. Prédateurs généralistes 10
3. Etude des réseaux trophiques..... 11
3.1. Généralités concernant l'analyse isotopique 11
3.2. Signature isotopique des végétaux 12
3.3. Transmission des isotopes dans les réseaux trophiques 12
MATERIEL ET METHODES……..13
1. Sites expérimentaux 13
2. Caractérisation des parcelles..... 13
3. Méthodes de piégeage de la macrofaune 14
4. Dispositif expérimental 14
5. Traitement des échantillons..... 15
5.1. Identification des taxa 15
5.2. Préparation des échantillons pour l'analyse isotopique 15
6. Méthodes d'analyse statistique 16
RESULTATS……17
1. Caractérisation des parcelles..... 17
2. Espèces piégées et abondance..... 18
3. Analyse isotopique..... 21
4. Effet du gradient d'intensification..... 22
DISCUSSION……...24
1. Caractérisation des parcelles d'étude..... 24
2. Caractérisation du réseau trophique par analyse isotopique..... 24
3. Abondance des taxa..... 25
4. Effet de l'intensification..... 26
5. Potentiel de régulation de *Cosmopolites sordidus* 26
6. Perspectives et améliorations 27
CONCLUSION……28

Références bibliographiques……..29
Annexes……..34

Liste des figures

Figure 1 : Effets possibles de l'augmentation de la biodiversité végétale sur la structure du réseau trophique et la régulation potentielle du charançon du bananier……..…...….5

Figure 2 : Charançon du bananier adulte……..……....7

Figure 3 : Larve de charançon du bananier……...7

Figure 4 : Galeries de larves dans un bulbe de bananier……..……7

Figure 5 : Dégâts de charançons sur une parcelle……7

Figure 6 : Cycle biologique de *Cosmopolites sordidus*……8

Figure 7 : Illustration de l'enrichissement trophique et détermination du niveau trophique à l'aide du $\delta^{15}N$…….....11

Figure 8 : Localisation des parcelles d'étude……...……...12

Figure 9 : Mise en place du quadrat…….....13

Figure 10 : Positionnement de l'appât type larve.....13

Figure 11 : Positionnement de la capsule de phéromone.....13

Figure 12 : Piégeage instantané à l'aide d'une larve de charançon.....13

Figure 13 : Dispositif expérimental montrant la position des quadrats et des différents types de pièges sur une parcelle expérimentale située au centre des parcelles étudiées.…….…….……..14

Figure 14 : Deux types de piégeage réunis formant une répétition……14

Figure 15 : Echelle d'intensification des systèmes de cultures étudiés……...17

Figure 16 : Abondance tous taxa confondus sur chaque parcelle……...……....18

Figure 17 : Nombre de taxa différents sur chaque parcelle……18

Figure 18 : Abondance moyenne de charançons par piège sur chaque parcelle (+ erreur standard)……..19

Figure 19 : Abondance moyenne de fourmis par piège sur chaque parcelle (+ erreur standard)……20

Figure 20 : Corrélation entre les abondances de charançons (abondance moyenne cumulée sur 4 semaines de piégeage) et de fourmis (données de piégeage appariées avec le piégeage des charançons, sans les données de la parcelle galva (gal))……...……..20

Figure 21 : Valeurs moyennes (± erreur standard) des $\delta^{13}C$ et $\delta^{15}N$ des taxa collectés……..20

Figure 22 : Valeurs moyennes (± erreur standard) des $\delta^{13}C$ et $\delta^{15}N$ des fourmis collectées……..22

Figure 23 : Relation entre l'abondance des charançons du bananier et l'indicateur d'intensification……....21

Figure 24 : Relation entre l'abondance des fourmis et l'indicateur d'intensification……21

Figure 25 : Relation entre les teneurs en $\delta^{15}N$ des fourmis (Fam. *Formicidae*) et l'indicateur d'intensification……..23

Figure 26 : Relation entre les teneurs en $\delta^{15}N$ des carabes (*Galerita tristis*) et l'indicateur d'intensification…...23

Figure 27 : Relation entre les teneurs en $\delta^{15}N$ des forficules (*Euborellia caraibea*) et l'indicateur d'intensification……...22

Figure 28 : Relation entre les teneurs en $\delta^{15}N$ des araignées (Fam. *Lycosidae*) et l'indicateur d'intensification...22

Liste des tableaux

Tableau 1 : Variables mesurées pour caractériser chaque parcelle…….12

Tableau 2 : Variables caractérisant les parcelles. ……...16

Tableau 3 : Tableau des taxa piégés……....17

Tableau 4 : Espèces de fourmis piégées. …….…….....18

Introduction

Seize millions de tonnes de bananes desserts sont exportées chaque année, représentant ainsi une part importante des productions agricoles des pays tropicaux. Cette production repose encore largement sur la pratique de monocultures intensives pérennisées par l'utilisation de volumes importants d'intrants (engrais et produits phytosanitaires) et par la sélection de cultivars à haute productivité mais souvent sensibles à différents bioagresseurs. Ces modes de production induisent la dégradation des différentes composantes de la fertilité des sols et des impacts environnementaux négatifs importants. Aux Antilles françaises, ces problèmes environnementaux sont magnifiés dans leur contexte insulaire, où les cultures se font à proximité des zones d'habitation et de réserves naturelles. De plus, les problèmes économiques, liés à la variation du prix de vente, le coût de la main d'œuvre élevé, et les récentes exigences réglementaires (plan écophyto DOM) sont susceptibles de remettre en cause la pérennité de la filière.

Dans ce contexte, des systèmes de culture innovants répondant à de nouveaux cahiers des charges économiques et environnementaux doivent être mis au point. Plusieurs voies sont explorées qui, au delà d'un mode de conduite raisonné, visent à l'intégration de jachères, de rotations, de plantes associées et plus généralement à la restauration du fonctionnement écologique de ces agrosystèmes, tout en restant compatibles avec les contraintes économiques et sociales de cette filière. La simplification chimique de ces systèmes, justifiée par la lutte contre les bioagresseurs majeurs, est remise en cause.

En Martinique, divers systèmes de culture sont rencontrés, dont les conduites diffèrent notamment par leur degré d'intensification (intrants, densité). Cette étude a pour objectif de mieux comprendre les effets de l'augmentation de l'intensification des systèmes de culture sur la structuration des communautés du réseau trophique de la litière du sol des bananeraies. L'étude portera plus particulièrement, sur le réseau trophique intégrant le charançon du bananier (*Cosmopolites sordidus*, Germar) sur une échelle d'intensification comprenant neuf parcelles. Parmi les modifications relatives à la structure des réseaux trophiques, les liens qui concernent la régulation du charançon sont particulièrement importants pour la durabilité des systèmes de cultures bananiers. Répondre à ces questions permettrait d'évaluer les potentialités de régulation des populations des bioagresseurs, par l'instauration de nouveaux équilibres entre communautés. Cette étude vise à comprendre les liens trophiques entre le charançon et les prédateurs généralistes en utilisant une approche isotopique des réseaux trophiques. La méthode d'analyse des isotopes stables du carbone et de l'azote permet d'identifier les ressources alimentaires utilisées, d'analyser la niche trophique des espèces et leur positionnement trophique. Parallèlement, des analyses d'abondance ont été menées afin de caractériser quantitativement le réseau trophique.

Une présentation plus détaillée du contexte de l'étude et des principales définitions nécessaires à la compréhension du sujet est faite dans une première partie de synthèse bibliographique. Dans une deuxième partie, sont décrits le dispositif expérimental et les différentes méthodes d'analyse qui ont contribué à cette expérimentation. Les résultats sont présentés, puis discutés, dans une troisième et une quatrième partie.

RapportGratuit.com

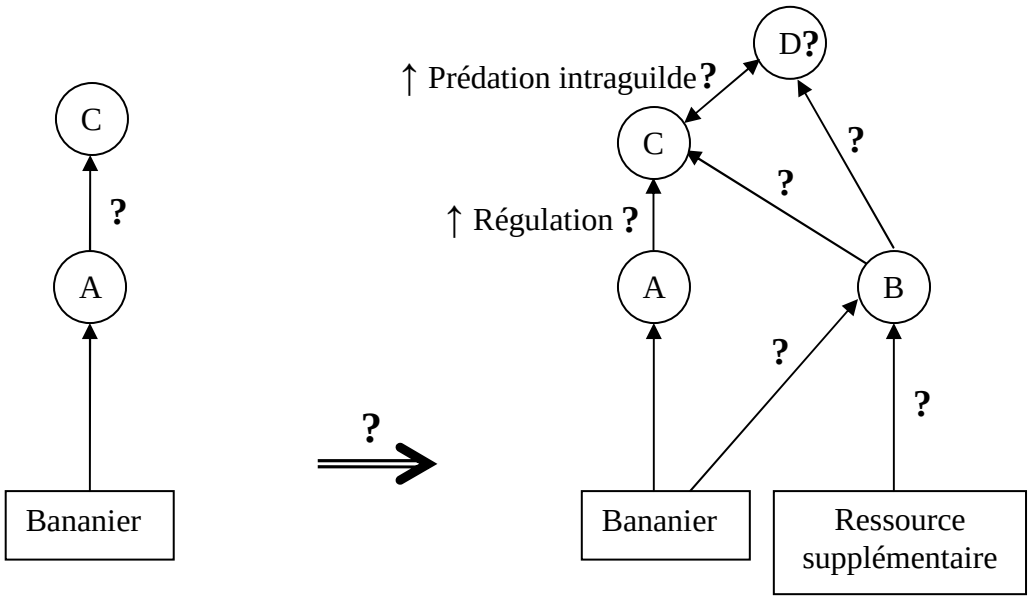


Figure 1 : Effets possibles de l'augmentation de la biodiversité végétale sur la structure du réseau trophique et la régulation potentielle du charançon du bananier.
A, B, C et D sont des éléments de la macrofaune, A étant le charançon du bananier.
Les flèches simples en traits pleins représentent les liens trophiques entre les différents éléments du réseau : à la base de la flèche se trouve l'organisme consommé par celui qui est à la pointe de la flèche.

Synthèse bibliographique

1. Biodiversité, réseaux trophiques et régulation

Un réseau trophique est défini par l'ensemble des relations alimentaires et des flux d'énergie entre organismes au sein d'un écosystème. Il constitue l'élément majeur de la fonctionnalité des écosystèmes.

1.1. Relations entre biodiversité et réseaux trophiques

Le concept de réseau trophique apparaît comme une nouvelle étape clef pour étudier le fonctionnement des agro-écosystèmes, spécialement dans le cas de systèmes où l'on souhaite diminuer ou remplacer les apports d'intrants chimiques par une complexification écologique.

De manière générale, la diversification des producteurs primaires des agrosystèmes permet une diminution de la population de ravageurs (Altieri & Letourneau, 1982). Cette diversification peut influer sur différents processus associés aux populations de bioagresseurs :

- Augmentation et diversification des prédateurs et des parasitoïdes (Root, 1973; Russell, 1989),
- Difficulté des bioagresseurs à trouver leur hôte (Vandermeer, 1989),
- Limitation du déplacement des phytophages du à l'ajout d'une plante non hôte (Barrière physique (Perrin & Phillips, 1978), barrière chimique (Tahvanainen & Root, 1972)).

Ainsi, les adventices, les résidus de culture, un mulch et une prolifération des détritivores peuvent contribuer à l'élaboration d'un agro-écosystème plus complexe et diversifié, pouvant indirectement favoriser les prédateurs généralistes. De nombreuses études démontrent le fait que les adventices peuvent ainsi favoriser les prédateurs, tout en maintenant des rendements acceptables (Altieri & Letourneau, 1982).

D'autres études ont montré que l'augmentation de la biodiversité ne réduit pas automatiquement la pression des bioagresseurs (Heemsbergen *et al.*, 2004; Landis *et al.*, 2000). Une communauté composée d'espèces ayant des effets différents sur l'écosystème, et pas seulement un grand nombre d'espèces, semble plus apte à améliorer le fonctionnement de l'écosystème et indirectement la prédation (Heemsbergen *et al.*, 2004). La figure 1 présente les effets possibles d'une augmentation de la biodiversité végétale sur un réseau trophique.

1.2. Rôle des prédateurs généralistes dans le contrôle des bioagresseurs

Les différentes espèces des réseaux trophiques des agro-écosystèmes et en particulier les prédateurs généralistes, peuvent jouer un rôle important dans le contrôle des ravageurs (Cardinale *et al.*, 2003; Carter & Rypstra, 1995; Costamagna *et al.*, 2007).

Une augmentation de la biodiversité, favorisant les ravageurs et les auxiliaires, permet un meilleur contrôle des pullulations de ravageurs (Chen & Wise, 1999). Un effet engendré par cette modification de la structure trophique peut être une plus grande prédation intraguilde des prédateurs et ainsi une plus faible prédation des ravageurs. En effet, la prédation intraguilde, commune chez les prédateurs généralistes, est favorisée par une structure d'habitat complexe (Arim & Marquet, 2004; Rickers *et al.*, 2006) (Figure 1).

Cependant les prédateurs généralistes ont une position unique dans le contrôle des bioagresseurs car ils peuvent se développer rapidement en se nourrissant de détritivores favorisés par l'addition d'une ressource organique, mais aussi de phytophages appartenant à différents réseaux trophiques (Rickers *et al.*, 2006).

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

2. Système biologique étudié

2.1. Culture du bananier

2.1.1. Description du bananier Musa sp.

Les bananiers appartiennent à l'ordre des Scitaminales (ou Zingibérales). Ceux sont des Monocotylédones à fleurs asymétriques zygomorphes, appartenant à la famille des *Musaceae* (Lassoudière, 2007). Cette famille comprend 3 genres, dont le genre *Musa*. Ce dernier regroupe 4 sections, dont les *Eumusa*. Il comprend 2 espèces principales :

- *Musa acuminata* (AA) (diploïde A)
- *Musa balbisiana* (BB) (diploïde B)

Le groupe triploïde AAA représente la quasi-totalité des cultivars à fruits destinés à l'exportation, dont le cultivar Cavendish, comprenant le cultivar moyen Grande Naine, cultivar étudié par la suite.

Le bananier est une herbe géante de grande taille sans tige végétative aérienne. La tige souterraine (corme ou bulbe) est le lieu de formation des racines, des feuilles et de l'inflorescence. C'est à ce niveau que se différencient également les rejets, qui s'enracinent et se développent à leur tour. Le système radiculaire est fasciculé et l'émission de racines se fait durant toute la phase végétative. Le pseudotronc, ou faux tronc, résulte de l'imbrication des gaines foliaires les unes dans les autres. Le « cigare foliaire » monte au centre, comme, par la suite, l'inflorescence. Les fleurs sont toujours du même type, mais la conformation des inflorescences est très variable (Lassoudière, 2007).

2.1.2. Phases de développement

Un cycle (ou une génération) est la durée allant de la récolte du cycle n à la récolte du cycle n+1. Cette dernière est généralement comprise entre 8 et 11 mois en Martinique, selon les particularités de la parcelle.

Le développement d'un plant de bananier est divisé en 3 phases distinctes (Lassoudière, 2007) :

- Phase végétative : Indépendance progressive du rejet (environ 4 mois).
- Phase reproductive : Initiation et développement de l'inflorescence (environ 3 mois).
- Phase de croissance des fruits : Maturation (environ 3 mois).

2.1.3. Diversité des systèmes de culture

En Martinique, différents systèmes de culture sont rencontrés (Lassoudière, 2007) :

- Systèmes de culture vivriers

Les bananiers sont plantés isolés, en touffes près des habitations ou des villages. Ils sont associés avec d'autres espèces : vergers vivriers et fruitiers, jardins créoles permanents fertilisés par les déchets végétaux ménagers.

- Systèmes de monoculture ou de cultures associés semi-extensifs

Il s'agit souvent d'exploitations familiales de petites surface (1 hectare et même moins). Elles sont mal adaptées à une commercialisation à distance, et encore moins aux marchés transcontinentaux.

- Systèmes de monoculture intensive

L'intensification ne peut se réaliser que si l'agriculteur a la possibilité et les moyens de protéger sa culture des maladies et des ravageurs et d'entretenir la fertilité du sol. Actuellement ces systèmes de culture utilisent de manière croissante des rotations culturales, notamment avec de la canne à sucre.

Figure 2 : Charançon du bananier adulte.
(source : F. Vinatier CIRAD, 2009)

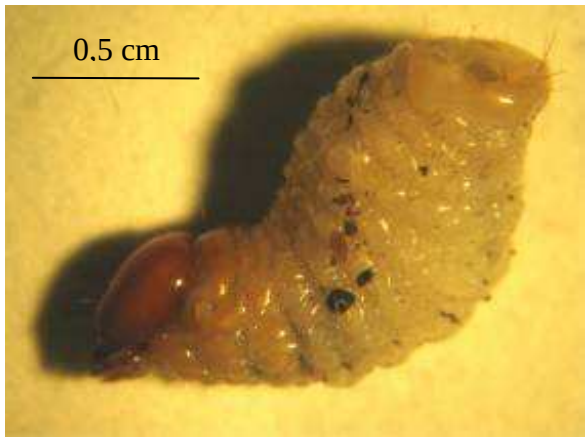


Figure 3 : Larve de charançon du bananier.
(source : R. Kulagowski, 2009)

Figure 4 : Galeries de larves dans un bulbe de Bananier. (source : R. Kulagowski, 2009)

Figure 5 : Dégâts de charançons sur une parcelle.
(source : R. Kulagowski, 2009)

2.1.4. Bioagresseurs

La pression parasitaire sur le bananier est due principalement à trois ravageurs majeurs : *Mycosphaerella musicola*, agent fongique responsable de la maladie de Sigatoka (ou cercosporiose jaune) ; *Radopholus similis*, nématode, agent causal de nécroses racinaires et bulbaires, pouvant être associé à d'autres espèces de nématodes et parasites telluriques ; *Cosmopolites sordidus*, insecte « foreur », dont la larve cause des dégâts importants sur les bulbes des bananiers, entrainant la chute de ces derniers (Ganry, 2004).

2.2. Le charançon du bananier *Cosmopolites sordidus* (Germar)

2.2.1. Origine du charançon

Le charançon *Cosmopolites sordidus* (Germar, 1824) (*Coleoptera* : *Curculionidae*) (Figures 2 et 3) est originaire du Sud-est asiatique et a progressivement envahi les plantations des différentes contrées tropicales. L'aire d'origine de *C. sordidus* est similaire à celle du bananier (Stover & Simmonds, 1987). Sa présence a été notée dans les Antilles Françaises dès 1929 (Hustache, 1932).

2.2.2. Dégâts du charançon

Par les dommages qu'il occasionne, le charançon du bananier est considéré comme le plus nuisible de tous les ravageurs du bananier (Vilardebo, 1973). Les charançons adultes sont attirés par des substances volatiles qui émanent des plantes hôtes (Gold *et al.*, 2001; Treverrow, 1985), les bulbes coupés les attirant tout particulièrement.

En creusant les galeries (Figure 4), les larves perturbent l'émission racinaire, tuent les racines existantes, et limitent l'absorption des éléments nutritifs. Ceci a pour conséquence une réduction de la vigueur des plants, un retard de leur floraison et un accroissement de leur sensibilité aux autres ravageurs et maladies.

Les dégâts du charançon entraînent donc des baisses de production du fait de la perte de bananiers (plants morts ou cassés à la base) (Figure 5), ainsi qu'une réduction du poids des régimes (Gold *et al.*, 2001). Dans le cas de bananeraies moyennement infestées (plus de 2 charançons par piège et par jour) la perte de rendement attribuée varie de 30 à 60% (Vilardebo, 1973).

2.2.3. Biologie et cycle de vie

Le charançon du bananier est l'un des principaux ravageurs des souches sauvages et cultivées du genre *Musa* (banane, plantain, abaca) (Gold *et al.*, 2001). Son cycle biologique se réalise en totalité sur le bananier (Figure 6).

L'adulte mesure de 9 à 16 mm de long. Sa cuticule est très dure, de couleur noire et son rostre allongé. L'insecte présente un phototropisme négatif, un hygrotropisme positif, un instinct grégaire et une attitude feinte de mort (Delattre, 1980; Treverrow, 1993). Ils présentent une grande résistance au jeûne. La durée de vie est normalement d'un an, mais peut s'étendre jusqu'à quatre ans.

La dispersion de l'insecte se fait principalement par la marche, et semble limitée et lente. La question du vol est sujette à diverses interprétations selon les auteurs. Bien que l'adulte dispose d'ailes fonctionnelles, il a quasiment jamais été observé en vol (Gold *et al.*, 2001).

Les mâles produisent une phéromone d'agrégation (sordidine) lorsqu'ils ont été en contact avec du pseudotronc et probablement après s'en être nourris. Cette phéromone, principalement produite pendant la nuit, attire les individus des deux sexes (Lemaire, 1996).

Le taux de ponte est communément estimé à 1 œuf par semaine et le sex-ratio est de 1 : 1. La femelle dépose ses œufs, blancs et de forme ovale, un à un dans des trous qu'elle creuse à

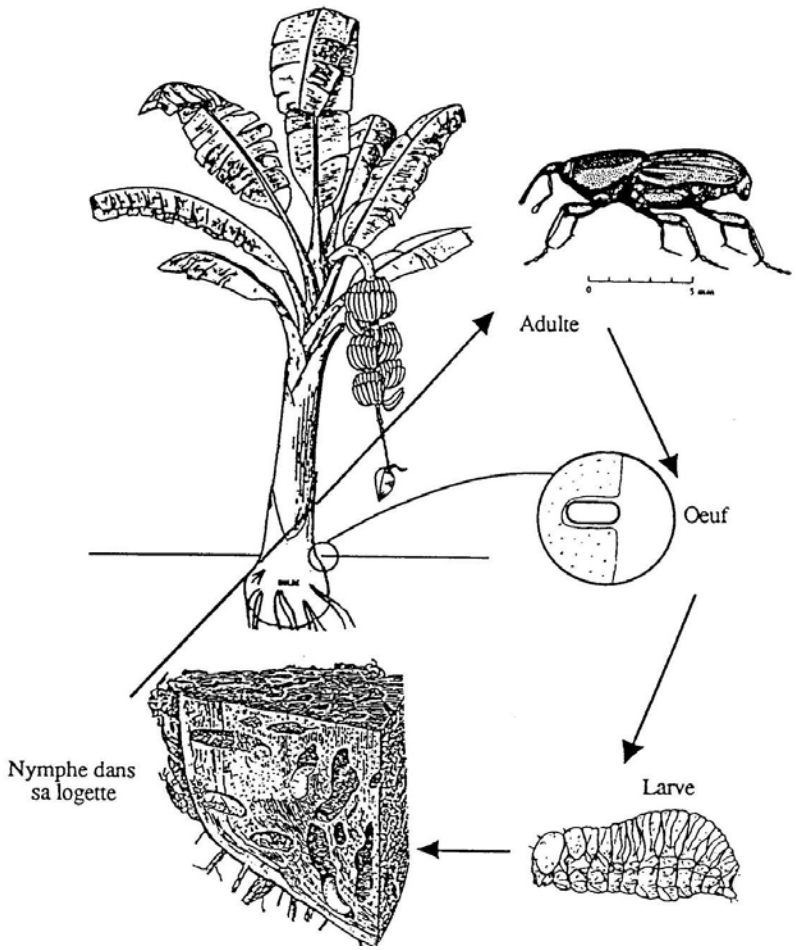


Figure 6 : Cycle biologique de *Cosmopolites sordidus*. (source : McCormack, Gerald. Cook Islands Biodiversity Database, 2009)
Dans le sens des aiguilles d'une montre : hôte (bananier, *Musa sp.*), adulte, œuf, larve et bulbe de bananier présentant une nymphe et des galeries de larves.

l'aide de son rostre. Elle pond généralement dans les gaines foliaires et à la partie supérieure du bulbe, en choisissant de préférence les plants qui ont atteint le stade de la floraison.

La larve mesure 10 à 12 mm de long à la fin de sa croissance. Elle est apode, son corps est faiblement recourbé et d'aspect ventru. Elle est de couleur blanc-crème avec une tête brun-rouge foncé et volumineuse, armée de fortes mandibules (Treverrow, 1985). Elle creuse des galeries à la périphérie du corme, leur diamètre augmentant progressivement. Les larves passent par 5 à 8 stades larvaires. Le taux de développement dépend de la température. En conditions tropicales, la période séparant la ponte du stade adulte est d'environ 5 à 7 semaines. Les œufs ne se développent pas en dessous de 12°C ; cela explique sans doute pourquoi on rencontre rarement le charançon du bananier au-dessus de 1600 mètres d'altitude.

La nymphe est blanche et mesure 12 mm de long (Treverrow, 1985). Les adultes émergents sont de couleur brun-rouge puis virent au noir lors du durcissement de l'exosquelette.

2.2.4. Protection intégrée contre le charançon du bananier

- Utilisation de variétés de bananiers résistantes

La résistance du bananier à *C. sordidus* consiste en un phénomène d'antibiose (relation entre deux ou plusieurs organismes qui s'effectue au détriment de l'un d'eux) se manifestant lors de la ponte avec une mortalité importante des larves et un développement ralenti sur les variétés résistantes (Kiggundu *et al.*, 2003; Lemaire, 1996)

- Mesures prophylactiques

L'utilisation de plants sains (vitroplants) permet de limiter l'infestation initiale des bananeraies et retarde l'accroissement de la population pendant plusieurs cycles culturaux.

Le drainage des parcelles est à effectuer, le développement du charançon du bananier étant favorisé dans les sols humides (Gold *et al.*, 2001).

L'adulte recherche de manière privilégiée des débris végétaux humides, tels que des faux troncs fraîchement coupés. Le simple fait de laisser les stipes verticaux, en effectuant une coupe au plus proche du bouquet foliaire, après récolte, restreint l'habitat et les ressources alimentaires de l'adulte.

- Rotations culturales

Etant donné son caractère sédentaire et sa grande résistance au jeûne, le charançon peut survivre en l'absence de plante-hôte pendant au moins un cycle cultural (Gold *et al.*, 2001). Ainsi une jachère, de plantes non hôtes, doit être maintenue au minimum 12 mois avec une « ceinture » de pièges limitant la dispersion des individus vers les bananeraies avoisinantes. Actuellement, on constate un développement important de la rotation banane/canne sucrière en Martinique. La biodiversité est plus grande sous culture de canne à sucre et le sol est assainit, d'où une production bananière améliorée (Vercambre *et al.*, 2008).

- Piégeage de masse des adultes

Le piégeage des adultes est réalisé à l'aide de pièges de type Barber munis de capsules de phéromone (sordidine) de type Cosmolure®. La densité est de 4 pièges/ha et le comptage des individus est réalisé toutes les 2 semaines avec renouvellement de l'eau savonneuse. Tous les mois, les capsules sont renouvelées et les pièges sont déplacés de 20 m. Cette méthode permet d'espérer moins de 10 % de bulbes atteints et une augmentation de 10 à 20 % du poids des régimes (Alpizar *et al.*, 2002).

- Lutte chimique

Très largement utilisée dans le passé, la lutte chimique est à l'origine de pollutions rémanentes des sols et des eaux (Gold *et al.*, 2001). Au 1er juin 2009, on ne dispose pas d'insecticide spécifique contre le charançon du bananier. La lutte se fait à l'aide d'un nématicide à action insecticide (fosthiazate, 20g/pied) au voisinage de la base des pieds de bananiers.

On sait aujourd'hui que le charançon peut développer une résistance à la plupart des familles de pesticides. Le recours à des techniques alternatives devient alors une nécessité.

- Lutte biologique

Un contrôle relativement efficace des populations de charançons peut être envisagé à l'aide de pièges combinant organismes entomopathogènes (nématodes ou champignons) et phéromone de synthèse. Les charançons transitant par le piège dans lequel ils sont infestés par l'agent pathogène, deviennent alors capables de réinfester d'autres congénères avant de mourir. Cette méthode demande à être vulgarisée, son coût et sa production à grande échelle restent encore limitant.

Enfin, les recherches sont à poursuivre afin de caractériser l'efficacité du contrôle par des ennemis naturels potentiels. Cette partie sera précisée ultérieurement (paragraphe 2.3. Ennemis naturels potentiels de *Cosmopolites sordidus*).

2.3. Ennemis naturels potentiels de *Cosmopolites sordidus*

2.3.1. Parasitoïdes

Il semble intéressant de souligner le peu d'informations disponibles sur l'existence de parasitoïdes de *C. sordidus*. Leur présence n'est pas impossible, sachant que les œufs de *Curculionidae* sont souvent parasités par des micro-hyménoptères (Sirjusingh *et al.*, 1992).

2.3.2. Champignons et nématodes entomopathogènes

Les essais de lutte biologique en conditions de laboratoire ont été prometteurs contre les adultes et les larves de *C. sordidus* avec les champignons entomopathogènes *Beauveria bassiana* et *Metarrhizium anisopliae*. Par contre, l'effet de traitements dans des conditions d'expérimentation plus proches de la pratique s'est révélé faible ou nul (Gold *et al.*, 2001).

Les nématodes entomopathogènes *Steinerma sp.* et *Heterorhabditis sp.* s'attaquent aux adultes et aux larves de charançons dans les champs, mais leur coût et le fait qu'ils ne sont efficaces qu'en présence de fortes densités de populations de charançons empêchent pour l'instant de généraliser leur utilisation (Gold *et al.*, 2001).

2.3.3. Prédateurs généralistes

Plusieurs études ont été menées depuis les années 1980 dans l'objectif de retrouver les prédateurs et les parasites de *Cosmopolites sordidus* dans son aire d'origine. Ainsi, plusieurs espèces de prédateurs des larves du charançon du bananier furent identifiées (Abera-Kalibata *et al.*, 2006; Greathead, 1986) :

Coléoptères : *Plaesius javanus, Plaesius laevigatus, Hololepta quadridentata, Hololepta spp.* (famille des *Histeridae*) ; *Belonuchius ferrugatus, Leptochirus unicolor* (famille des *Staphylinidae*) ; *Cathartus sp.* (Famille des *Sylvanidae*) ; *Dactylosternum hydrophiloides, Dactylosternum abdominale* (famille des *Hydrophilidae*).

Dermaptères : 3 espèces appartenant aux familles des *Chelisochidae*, *Forficulidae* et *Labiidae*.

Dans l'ouest du Kenya, les prédateurs potentiels de *C. sordidus*, tous polyphages, sont recensés (Koppenhofer *et al.*, 1992). La prédation concerne essentiellement les œufs et les larves de *C. sordidus*. Le Coléoptère *Dactylosternum abdominale* peut éliminer 40 à 50 % des

œufs de *C. sordidus*, ce qui n'est pas négligeable si l'on considère la faible fécondité de ce ravageur.

Le manque de spécialisation des prédateurs du charançon du bananier semble limiter leur capacité à atteindre les œufs, les larves et les pupes du charançon du fait qu'ils soient confinés à l'intérieur de la plante (Koppenhofer *et al.*, 1992; Koppenhofer, 1993). Les fourmis semblent faire exception à cette limite vu leur capacité à creuser le sol, trouver les œufs à la surface du rhizome et à parcourir les galeries des larves (Abera-Kalibata *et al.*, 2007). Elles présentent un potentiel de prédation intéressant du à leur abondance dans les bananeraies et du fait que les individus ne sont pas affectés par la satiété, raisonnant au niveau de la colonie (Room, 1971). A Cuba, les fourmis prédatrices *Pheidole megacephala* et *Tetramorium guineense* se révèlent efficaces (Casteñieras, 1982). Cette dernière espèce, en particulier, est responsable de 67 % de la mortalité larvaire dans les zones très infestées et de 83 % de la mortalité larvaire dans les zones peu infestées. Le contrôle du charançon par les fourmis a été proposé en Afrique (Greathead, 1986), dans une partie de l'Asie et des Iles Pacifiques (Gold *et al.*, 2001); pourtant aucune étude a été menée afin d'évaluer leur potentiel de régulation (Abera-Kalibata *et al.*, 2007).

En Guadeloupe, les espèces généralistes *Azteca spp.*, *Solenopsis geminata*, *Wasmannia auropunctata* et *Pheidole fallax* pourraient déjà contribuer partiellement au contrôle naturel de *C. sordidus* (Sirjusingh *et al.*, 1992) si les bananeraies n'étaient pas traitées chimiquement.

Les essais de lutte biologique tentés à la Jamaïque et aux îles Fidji à l'aide d'un vertébré, le crapaud *Bufo marinus* peuvent être mentionnés à titre indicatif. Cette espèce, très vorace d'insectes, consommerait un grand nombre de charançons (Cuillé, 1950).

Aux Antilles, on connait l'existence de prédateurs et de parasites divers dont, pour la plupart, l'impact sur les populations de *Cosmopolites sordidus* n'a pas encore été évalué. Leur efficacité en tant qu'agents de lutte biologique reste donc à démontrer (Sirjusingh et al., 1992).

3. Etude des réseaux trophiques

L'analyse des réseaux trophiques peut s'effectuer soit en réalisant des observations directes du comportement alimentaire des individus de l'écosystème étudié, soit en analysant les contenus stomacaux d'individus piégés. Ces méthodes peuvent permettre un aperçu de la structure du réseau trophique. Cependant, celles-ci sont souvent difficiles à mettre en place (observations impossibles, individus de petites tailles, …) et fournissent une information dont la validité est limitée dans le temps (Gannes *et al.*, 1998). L'analyse des variations naturelles d'isotopes stables est de plus en plus utilisée en écologie animale. Elle permet la caractérisation de la structure de réseaux trophiques (Ponsard & Arditi, 2000). Ceci étant particulièrement adapté dans le cas où les organismes polyphages prédominent, comme c'est le cas de la litière du sol (Oelbermann & Scheu, 2002).

3.1. Généralités concernant l'analyse isotopique

Les principaux atomes qui constituent les molécules du vivant sont généralement présents sous forme de plusieurs isotopes, c'est-à-dire comportant le même nombre de protons et d'électrons, mais un nombre différent de neutrons (Remaud & Akoka, 2004).

Les paramètres servant à décrire et à mesurer les phénomènes de répartition isotopique sont définis comme suit :

- Rapport isotopique R : égal au quotient du nombre d'isotopes lourds sur le nombre d'isotopes légers d'un élément donné. Ainsi le rapport isotopique du carbone 13 (^{13}C) est défini comme : $R = {}^{13}C/{}^{12}C$.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

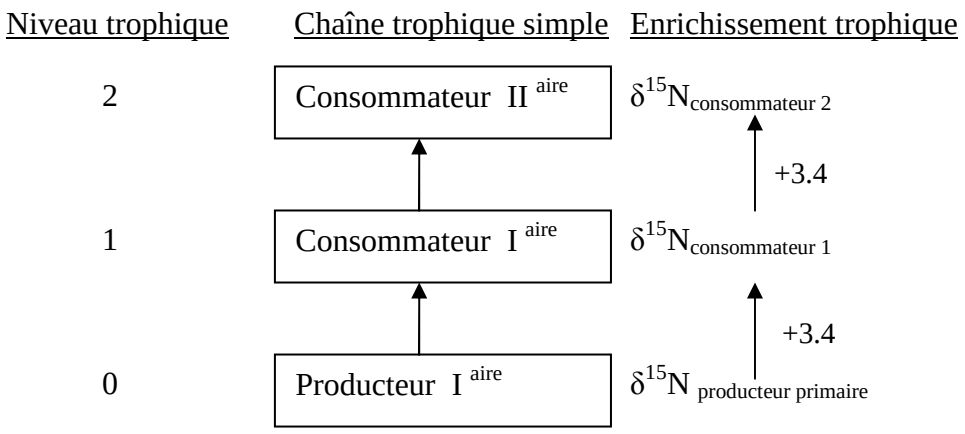


Figure 7 : Illustration de l'enrichissement trophique et détermination du niveau trophique à l'aide du $\delta^{15}N$.
Enrichissement trophique $\delta^{15}N=3.4 \pm 1.1$ (Minagawa & Wada, 1984)

- Proportions isotopiques : exprimées en unités relatives, δ désignant l'écart entre la teneur de l'échantillon considéré et un standard conventionnel. La déviation isotopique δ est donc définie comme : δ = 1000*(Rech - Rref)/Rref (en ‰) où Rech et Rref sont respectivement les rapports isotopiques de l'échantillon à mesurer et de l'échantillon de référence ou standard.

Les standards sont le Pee Dee Belemnite (PDB) pour le carbone : $^{13}C/^{12}C$ = 0.0112372, et l'azote atmosphérique pour l'azote : $^{15}N/^{14}N$ = 0.0036765 (Anderson & Polis, 1998; Hobson *et al.*, 1994)

3.2. Signature isotopique des végétaux

Le carbone des végétaux porte une signature isotopique différente selon leur type de métabolisme et leur milieu. Les plantes à métabolisme photosynthétique de type C3 possèdent une déviation $\delta^{13}C$ de l'ordre de -28 ‰ en moyenne en zone tempérée et de -30 ‰ en zone tropicale (Medina *et al.*, 1999; Remaud & Akoka, 2004).

Ainsi pour le bananier, *Musa* sp. : $\delta^{13}C$ = -26.5 ‰ (Yakir & Israeli, 1995)

3.3. Transmission des isotopes dans les réseaux trophiques

- Transmission de ^{13}C

Dans le règne animal, une analyse du carbone total de l'individu donne une indication précise quant à son régime alimentaire (Ponsard & Arditi, 2000). Les tissus animaux sont très faiblement enrichis en ^{13}C comparés à leur source de nourriture : 0.4 ± 1.4 ‰ (Gearing *et al.*, 1984). Les valeurs en ^{13}C sont donc largement conservées dans les chaînes alimentaires, et fournissent des informations concernant l'identité du producteur primaire.

- Transmission de ^{15}N

L'enrichissement trophique isotopique ΔN est la différence entre le $\delta^{15}N$ d'un organisme et celui de sa nourriture. L'enrichissement trophique vaut en moyenne 3.4 ± 1.1 ‰ (Minagawa & Wada, 1984).

La signature en azote d'un organisme permet donc de déterminer le niveau trophique de l'espèce considérée (Ponsard & Arditi, 2000) (Figure 7).

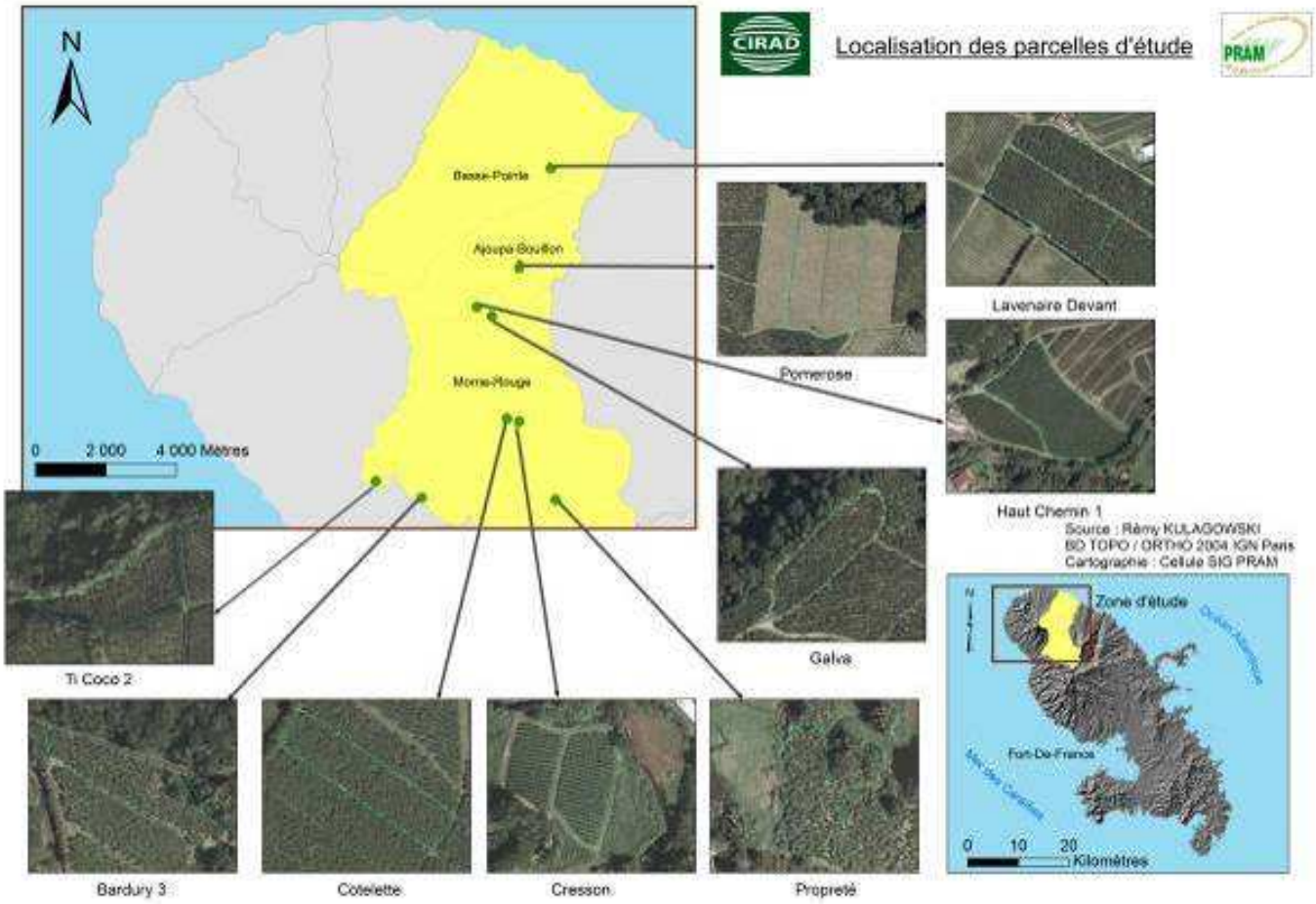


Figure 8 : Localisation des parcelles d'étude. (source : R. Kulagowski avec l'aide de S. Edmond, 2009)

Tableau 1 : Variables mesurées pour caractériser chaque parcelle.

Parcelle	
Année de plantation	
Densité de plantation (pieds/ha)	
Couverture végétale	Biomasse végétale (kg/m²) Richesse floristique (nombre d'sp.)
Intrants (du 01/01/09 au 31/07/09)	IFT Insecticides IFT Herbicides IFT Fongicides Fertilisation (UN)
Nombre moyen de doigts/régime	
Régime (% de pieds)	
Hauteur (m)	
Circonférence (cm)	
Particularités	
Indicateur d'intensification	
Rang de la parcelle sur l'échelle d'intensification	

Matériel et méthodes

1. Sites expérimentaux

Les parcelles étudiées se situent sur le quart Nord-Atlantique de l'île (Figure 8 et Annexe A). Au total 9 parcelles, impliquant 5 exploitants, sont étudiées :

- Habitation Pecoul (Commune de Basse Pointe) (Coordonnées géographiques : 14° 50' 23"N ; 61° 06' 27"O)
- Habitation Proban-Eden (Ajoupa Bouillon) (14° 48' 50"N ; 61° 06' 57"O)
- Habitation Morne Coco (Ajoupa Bouillon) (14°48' 11"N ; 61° 07' 38"O)
- Habitation Abd el Kader (Morne Rouge) (14° 48' 03"N ; 61° 07' 23"O)
- Habitation Les Figuiers (2 parcelles) (Morne Rouge) (14° 46' 25"N ; 61° 07' 13"O / 14° 46' 21"N ; 61° 07' 01"O)
- Habitation Parnasse (2 parcelles) (Morne Rouge) (14° 45' 20"N ; 61° 09' 24"O / 14° 45' 16"N ; 61° 08' 33"O)
- Propreté (Morne Rouge) (14° 45' 15"N ; 61° 06' 24"O)

Ce choix est justifié par l'objectif d'obtenir un large gradient d'intensification, avec des situations bien marquées, tout en restant dans des situations pédoclimatiques proches. De plus, la pression du charançon du bananier est globalement plus importante dans cette zone de l'île, ainsi que les surfaces en bananeraies.

2. Caractérisation des parcelles

Douze variables ont été prises en compte afin de caractériser les parcelles (Tableau 1). L'âge des plantations varie entre 4 et 7 ans, avec une moyenne de 5 ans. Considérant que la bananeraie est désynchronisée à la fin de la troisième année de plantation (Tixier *et al.*, 2004), les parcelles étudiées sont considérées comme homogènes sur ce point. La densité représente le nombre de pieds de bananiers plantés sur 1 ha.

La méthode des quadrats est utilisée afin de caractériser la couverture végétale du sol (Fournier & Planchon, 1998; Pollnac *et al.*, 2008). Ainsi, l'échantillonnage dans chaque parcelle est réalisé à l'aide d'un quadrat de 1 m² (Figure 9). Ce dernier est posé sur le grand rang à proximité de deux angles de la placette expérimentale (Figure 13).

A l'aide de cette méthode, la biomasse et la richesse floristique sont évaluées.

- Biomasse (kg/m²) : masse fraîche végétale à l'intérieur du quadrat.
- Richesse : nombre d'espèces différentes dans le quadrat. Les espèces sont identifiées ensuite. L'identification est réalisée à l'aide de plusieurs flores (Fournet & Hammerton, 1991; Fournet, 2002) et appuyée par Michel Delblond (Conservatoire Botanique des Antilles Françaises de la Martinique). Pour ces 2 variables, la moyenne des 2 relevés est prise en compte.

Les intrants utilisés sur la parcelle permettent le calcul d'un indice récapitulatif (fertilisation) ou d'un IFT (Indice de Fréquence de Traitement) afin de pouvoir comparer les parcelles sur une période de 7 mois (du 01/01/09 au 31/07/09). Les IFT sont calculés pour les insecticides, herbicides et fongicides. La fertilisation est estimée par le total des unités d'azote (UN ou kg N/ha) épandues durant cette période pour chaque parcelle.

Le pourcentage de pieds présentant un régime a été enregistré sur 10 bananiers à l'intérieur de la placette expérimentale, toujours selon le même schéma, pour chaque parcelle. Sur ces mêmes bananiers, la hauteur (du collet au cœur du bouquet foliaire) et la circonférence du pseudotronc (à 1m du sol) ont été mesurées.

Un indicateur d'intensification, similaire à celui développé par (Philpott *et al.*, 2008), a été calculé afin de synthétiser les variables les plus importantes en un seul paramètre. La valeur de cet indicateur peut varier sur une échelle de 0 à 3, la valeur la plus élevée représente le

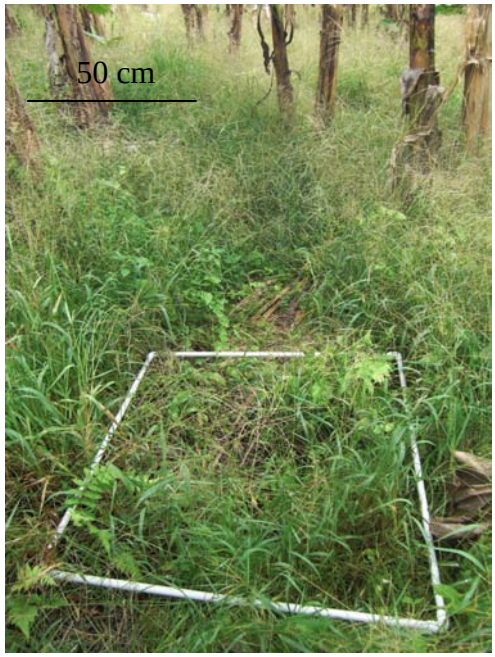


Figure 9 : Mise en place du quadrat. (source : R. Kulagowski, 2009)

Figure 10 : Positionnement de l'appât type larve. (source : R. Kulagowski, 2009)

Figure 11 : Positionnement de la capsule de phéromone. (source : R. Kulagowski, 2009)

Figure 12 : Piégeage instantané à l'aide d'une larve de charançon. (source : R. Kulagowski, 2009)

système de culture le plus intensif. Pour calculer cet indicateur, 4 variables ont été prises en compte : densité, circonférence, biomasse végétale et fertilisation. Pour chacune de ces variables, les valeurs sont divisées par la plus forte valeur observée, afin d'obtenir une échelle de 0 à 1, puis additionnées. Les valeurs de la densité et de la circonférence ont été combinées afin de représenter la ressource en bananier disponible. Au final, cet indicateur d'intensification intègre des estimations de la ressource en bananier, de la ressource en adventices et du mode de conduite de la culture. Il permet ainsi de positionner les parcelles étudiées sur une échelle d'intensification.

3. Méthodes de piégeage de la macrofaune

Deux types de piège sont utilisés afin de capturer la macrofaune (animaux de taille comprise entre 2 et 80 mm (Decaëns *et al.*, 2004)) :

- Piège de type « Barber » (ou « fosse ») :

Les pièges Barber consistent en un contenant enterré surmonté d'un couvercle le protégeant des intempéries. Le contenant est rempli au un tiers d'eau savonneuse et un panier percé est placé au fond afin de récupérer facilement les individus piégés. Ce type de piège permet de capturer la majorité des arthropodes « marcheurs », dont les prédateurs généralistes et les charançons, selon l'appât intégré (respectivement : larve de charançon (Figure 10) ou capsule de phéromone (Figure 11)). Afin de maximiser le piégeage, le choix de placer deux pièges Barber, un sans et un autre avec appât, a été réalisé au vu d'une possible attirance de l'appât observée dans des études préliminaires (non présentées).

Ainsi pour chaque piège (8 par parcelle), les individus sont une première fois séparés par espèce, dénombrés, puis sont placés dans des flacons de 40 mL (un flacon par taxon et par parcelle) pour une identification plus précise au laboratoire.

- Piège de type « instantané » :

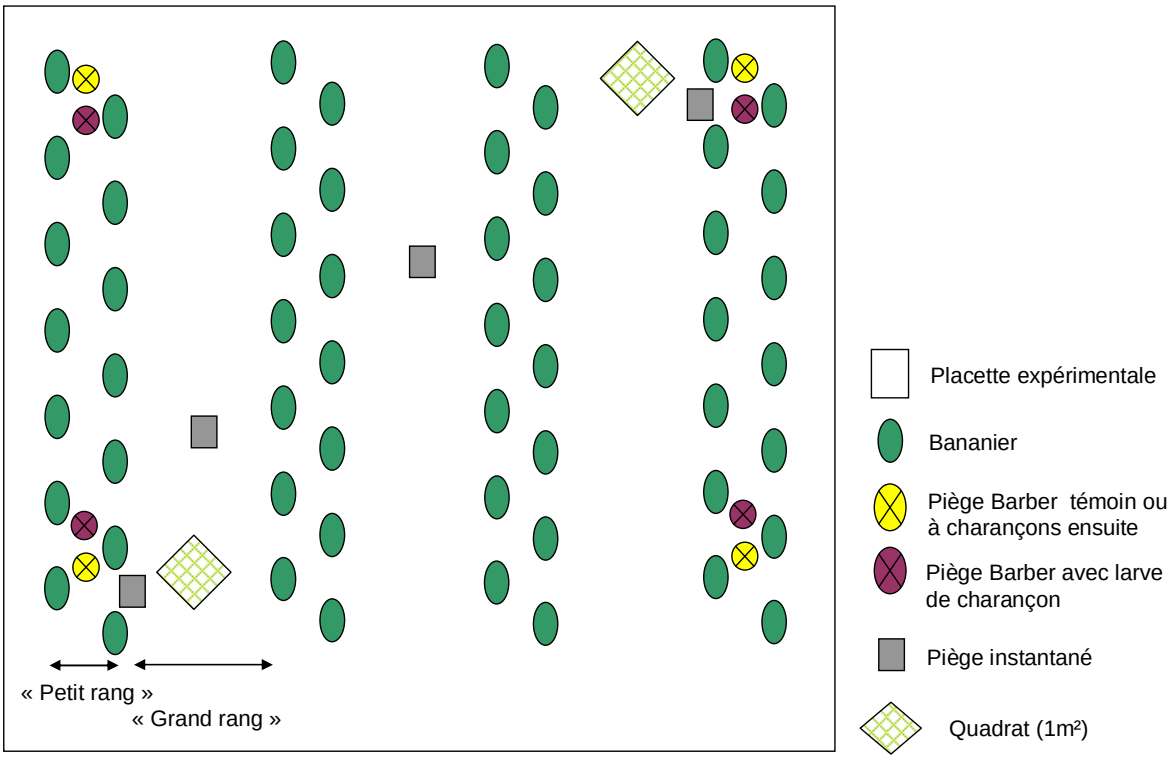
Les pièges sont constitués d'une boite du type Tupperware® (19*24 cm) dont le couvercle est posé au sol. Le couvercle présente une larve de charançon emballée dans de la moustiquaire et épinglée en son centre (Figure 12). Le couvercle est ensuite recouvert d'une barquette (24*33 cm) en aluminium afin de protéger le dispositif des intempéries (pluie, vent) et de la prédation hors macrofaune (oiseaux, crapaud…). Les pièges sont relevés au bout d'environ 24 heures en refermant le Tupperware® à l'aide de la deuxième partie qui le compose. Ce type de piégeage a semblé particulièrement adapté à la capture de fourmis, dans des essais préliminaires.

Ainsi pour chaque piège (4 par parcelle), les fourmis sont une première fois séparées par espèce, dénombrées, puis sont placées dans des flacons (un flacon par taxon et par parcelle) afin de les identifier plus précisément au laboratoire.

4. Dispositif expérimental

Sur chacune des parcelles, une placette expérimentale (ou parcelle élémentaire) (15*20 m) au centre de ces dernières est délimitée, afin de supporter le dispositif expérimental. Ce dernier comprend les deux types de piège énoncés précédemment (Figure 13).

Les pièges de type Barber sont au nombre de 8 par placette expérimentale. Ils représentent les 4 répétitions du dispositif (Figure 14). Ce nombre a été jugé comme étant un bon compromis en termes de contraintes pratiques, tout en permettant une appréciation correcte des prédateurs. De plus, ce dispositif est celui préconisé afin d'obtenir un piégeage efficace des charançons du bananiers, réalisé par la suite.



.

Figure 13 : Dispositif expérimental montrant la position des quadrats et des différents types de pièges sur une parcelle expérimentale située au centre des parcelles étudiées.

Figure 14 : Deux types de piégeage réunis formant une répétition.
(source : R. Kulagowski, 2009)

D'abord, les pièges sont munis d'une larve de charançon et d'un morceau de corme de bananier, facilitant la recherche de proie des différents prédateurs (Tinzaara *et al.*, 2005). Un piège Barber, sans appât, est également placé à 20 cm de ce-dernier de manière à pouvoir mesurer l'attractivité potentielle de l'appât. L'ensemble des pièges est visité tous les 2 jours, les individus piégés sont classés, dénombrés et amenés au laboratoire. L'eau savonneuse est renouvelée, la larve de charançon laissée telle quelle, le cas échant. La durée de piégeage est de 6 jours consécutifs, du 20 au 26 mai.

Concernant le piégeage instantané, une attention particulière a été portée sur le fait de placer les pièges sur le petit rang ou sur le grand rang. Deux pièges placés sur chacun des deux choix permettent de limiter d'éventuelles différences et de caractériser le plus globalement possible la placette expérimentale. Afin d'avoir des données appariées entre le nombre de charançons et de fourmis piégés, seules les valeurs des pièges placés dans le petit rang, proches des pièges Barber, sont prises en compte dans l'étude de la corrélation entre ces 2 taxa (2 répétitions par parcelle). Les valeurs des pièges instantanés dont la larve était absente lors du relevé ont été supprimées. Le piégeage s'est effectué du 8 au 9 juillet.

Enfin, l'ensemble des pièges est retiré de la placette hormis les pièges Barber sans appât dans lesquels une capsule de phéromone (type Cosmolure®) est disposée dans chacun d'eux. Ceci ayant pour objectif d'évaluer le niveau de population de charançons du bananier de la parcelle étudiée en réalisant un relevé chaque semaine pendant 1 mois (du 10 juillet au 7 août).

5. Traitement des échantillons

5.1. Identification des taxa

L'identification des individus piégés, sous loupe binoculaire, se fait jusqu'au niveau de l'espèce, dans la mesure du possible. Plusieurs guides d'identification sont utilisés (Chinery, 2002; Delvare & Aberlenc, 1989). Eddy Dumbardon (FREDON Martinique) a été sollicité pour l'identification de certains taxa. La famille d'une araignée couramment rencontrée (le genre de cet individu semble encore non répertorié en Martinique) a pu être déterminée par Patrick Maréchal (Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris). L'identification précise des différents individus de fourmis a été réalisée en collaboration avec Jacques Delabie (Université de Santa Cruz, Brésil).

Les individus identifiés sont classés ensuite selon leur régime alimentaire lorsqu'il est connu (Delvare & Aberlenc, 1989).

5.2. Préparation des échantillons pour l'analyse isotopique

Les individus piégés de chaque parcelle, regroupés par espèce et séance de piégeage, sont congelés jusqu'à ce qu'ils soient traités. Concernant les individus de grande taille (grillon, scolopendre, lézard…), un seul spécimen, ou une partie de celui-ci, peut constituer un échantillon d'analyse. Les taxa de petite taille (lampyres, fourmis, diplopodes…) sont regroupés de manière à composer un échantillon de plusieurs individus du même taxon, atteignant le poids final minimal (1 mg). Ces échantillons sont ensuite lyophilisés pendant 48 heures, avant d'être réduits en poudre à l'aide d'un mortier et un pilon (Neilson *et al.*, 1998; Schmidt *et al.*, 2004). Ces échantillons sont alors placés dans des capsules en étain standard (4*3.2 mm) afin de contenir 1 mg (+/- 0,2 mg) de poudre.

L'ensemble des capsules est envoyé pour des analyses par Spectrométrie de Masse des Rapports Isotopiques (SMRI) (Annexe B) au laboratoire d'analyse (Scottish Crop Research Institute) de Dundee en Ecosse. Les valeurs en $\delta^{13}C$ et $\delta^{15}N$ de chaque capsule sont reçues environ 6 semaines après l'envoi.

6. Méthodes d'analyse statistique

Les analyses statistiques sont réalisées avec le logiciel R (R Development Core Team).

Pour l'analyse de l'abondance il y quatre répétitions, une répétition étant un piège (ou 2 pièges lorsqu'on cumul les données des pièges avec et sans larve). L'analyse statistique de l'abondance est réalisée à l'aide d'un modèle linéaire généralisé (GLM pour Generalized Linear Model) avec distribution Poissonienne des erreurs (Crawley, 2007). La variable mesurée est le nombre d'individus piégés. Les facteurs sont les taxa (26 modalités), les répétitions (4 modalités), les parcelles (9 modalités) et l'interaction entre ces facteurs. On vérifie qu'il n'y a pas de sur-dispersion en comparant la déviance résiduelle et le nombre de degrés de liberté résiduels. Dans le cas de sur-dispersion, on utilise l'argument « Quasi-Poisson », au lieu de « Poisson », dans la fonction GLM (Crawley, 2007).

Les données isotopiques des parcelles ont été regroupées entre les répétitions afin d'obtenir des échantillons de tailles suffisantes. Le nombre de données est donc égal au nombre d'échantillons par taxon. Les données de $\delta^{15}N$ et de $\delta^{13}C$ sont soumises à une analyse de la variance qui inclut les effets des parcelles, des taxa et de leurs interactions. Les conditions d'application (normalité des résidus et homoscédasticité) sont vérifiées visuellement par un graphique quantile-quantile et un graphique représentant les résidus en fonction des valeurs calculées par le modèle. Les résidus sont normalisés par une transformation Boxcox.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Tableau 2 : Variables caractérisant les parcelles. (les tirets représentent les données manquantes)

				Couverture végétale		Intrants (du 01/01/2009)										
Parcelle	Code	Année de plantation	Densité (pieds/ha)	Biomasse végétale (kg/m²)	Richesse floristique (nombre sp.)	IFT Insecticides	IFT Herbicides	IFT Fongicides	Fertilisation (UN)	Nb moyen de doigts/régime	Régime (%)	Hauteur (m)	Circonférence (cm)	Particularités	Indicateur d'intensification	Rang de la parcelle sur l'échelle d'intensification
Lavenaire devant	ldt	2002	1900	0,279	3	0	2,29	2,45	262	125	60	2,5	64		2,353	8
Pomerose	pom	2005	1754	0,871	6,5	0	0,71	5,52	232	155	30	2,0	47		1,600	5
Haut chemin 1	mco	2004	1032	0,255	10,5	0	2,50	-	56	107	30	2,4	56		1,569	4
Galva	gal	2003	1813	0,720	7	0	0,00	0,00	0	119	40	2,6	56	Abandon depuis 5 ans	1,233	2
Cotelette	cot	2004	1045	0,450	2,5	0	2,33	-	294	132	40	2,6	64		2,058	7
Cresson	cre	2003	1027	0,125	4,5	0	0,83	-	138	105	40	2,4	60		1,916	6
Ti coco 2	tco	2004	1732	1,140	4	0	0,00	0,00	136	112	30	2,9	70	Fin de production	1,279	3
Bardury 3	bdy	2005	1818	0,423	5,5	1,64	0,60	1,51	400	123	40	2,6	73	Pente importante	2,607	9
Propreté	pro	2003	938	0,389	6,5	0	0,00	0,00	0	61	50	1,9	47	Abandon depuis 15 ans	1,226	1

Résultats

1. Caractérisation des parcelles

Les résultats des variables rapportées ou mesurées pour chaque parcelle sont synthétisés dans le tableau 2. Les densités de plantation varient assez fortement. La plus faible densité est de 938 pied/ha (code : pro, dans le tableau 2) et la plus élevée est de 1900 pieds/ha (ldt). Cette forte hétérogénéité était recherchée.

Concernant la couverture végétale du sol, la biomasse varie de 0,125 (cre) à 1,140 kg/m² (tco) et la richesse de la flore s'étend de 2,5 (cot) à 10,5 sp./m² (mco) (Annexe C). Chaque parcelle diffère par sa richesse floristique et par sa ressource potentielle en adventices.

L'IFT insecticide concerne une seule parcelle (bdy) en 2009. Des traitements ont été réalisés sur certaines parcelles les années précédentes, notamment fin 2008, mais ces données sont manquantes pour certaines exploitations rendant la variable inexploitable. Les IFT herbicides par parcelle varient de 0 (gal, tco et pro) à 2,33 (cot), et les IFT fongicides de 0 (gal, tco et pro) à 5,52 (pom) (données manquantes pour certaines parcelles). L'indice de fertilisation varie de 0 (gal, pro) à 400 UN (bdy).

Le pourcentage de pieds présentant un régime varie de 30 (pom, mco et tco) à 60 % (ldt). Le nombre moyen de doigt par régime est biaisé par des pratiques agronomiques, différentes selon l'exploitation, consistant à éliminer un certain nombre de mains. La hauteur moyenne varie de 1,9 (pro) à 2,9 m (tco) et la circonférence moyenne varie de 47 (pro, pom) à 73 cm (bdy). On observe une forte corrélation positive entre la hauteur et la circonférence (R^2=0,74 ; P=0,002), ces 2 variables représentant, entres autres, des indicateurs de la biomasse du bananier.

L'indicateur d'intensification s'étend de 1,226 à 2,607 sur une échelle ayant un maximum de 3 (Figure 15) (voir paragraphe Matériel et méthodes-2, pour le calcul).

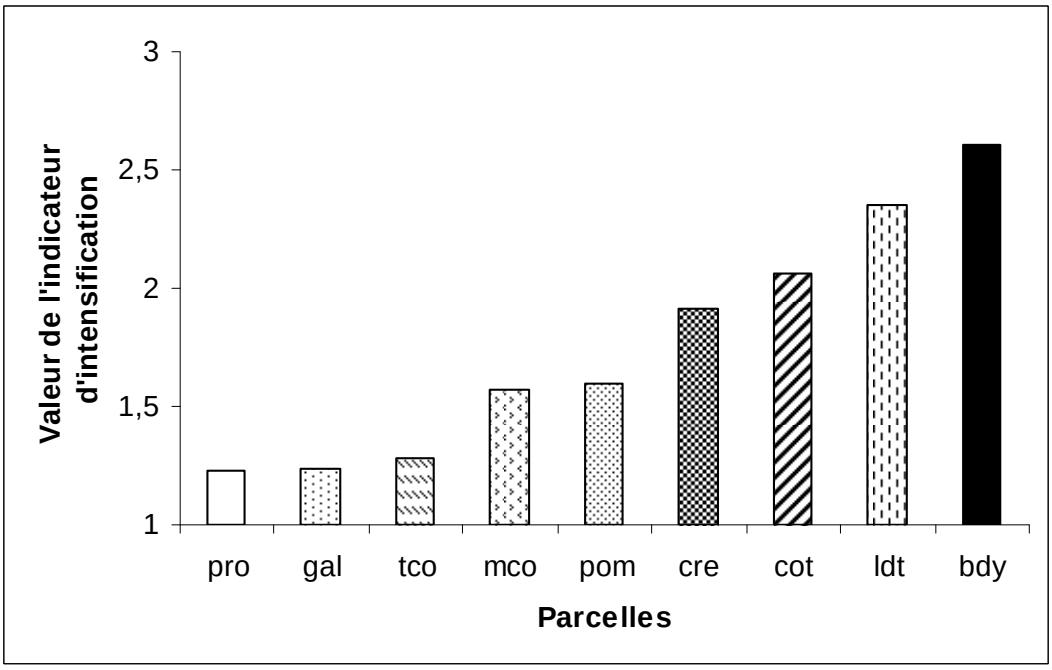


Figure 15 : Echelle d'intensification des systèmes de cultures étudiés.

Les parcelles pro, gal et tco prennent des valeurs d'indicateurs proches et présentent les valeurs les plus faibles. Les parcelles pom et mco semblent également proches, à un niveau plus élevé. Le reste des parcelles (cre, cot, ldt et bdy) montre des différences entre elles, avec des niveaux d'indicateur plus élevés.

Tableau 3 : Tableau des taxa piégés.

Régime alimentaire	Taxon	Code	Classe	Ordre	Famille	Genre et/ou espèce	Individus piégés	Parcelles									
								ldt	pom	mco	gal	cot	cre	tco	bdy	pro
Phytophage	Charançon	1	*Hexapoda*	*Coleoptera*	*Curculionidae*	*Cosmopolites sordidus*	25	1	6	2	2	7	2	1	1	3
Phytophage	Lampyre adulte	2	*Hexapoda*	*Coleoptera*	*Lampyridae*		73	11	5	5	0	39	8	0	3	2
Phytophage	Hanneton	3	*Hexapoda*	*Coleoptera*	*Scarabaeidae*	*Phyllophaga pleei*	8	0	8	0	0	0	0	0	0	0
Phytophage	Criocère	4	*Hexapoda*	*Coleoptera*	*Chrysomelidae*		1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Phytophage	Punaise 1	5	*Hexapoda*	*Heteroptera*	*Cydnidae*		5	1	1	1	1	0	1	0	0	0
Phytophage	Punaise 2	6	*Hexapoda*	*Heteroptera*	*Pentatomidae*		1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Phytophage	Criquet	7	*Hexapoda*	*Orthoptera*			5	0	5	0	0	0	0	0	0	0
Phytophage	Grillon	8	*Hexapoda*	*Orthoptera*	*Gryllidae*	*Grillus assimilis*	11	0	4	1	0	0	0	2	3	1
Phytophage	Chenille	9	*Hexapoda*	*Lepidoptera*			10	0	0	0	1	1	0	2	5	1
Total Phytophage							139	13	29	9	5	47	11	6	12	7
Prédateur	Carabe 1	10	*Hexapoda*	*Coleoptera*	*Carabidae*	*Chlaenius sp.*	35	4	16	3	1	2	1	4	4	0
Prédateur	Carabe 2	11	*Hexapoda*	*Coleoptera*	*Carabidae*	*Galerita tristis*	14	0	4	2	7	0	0	1	0	0
Prédateur	Lampyre larve	12	*Hexapoda*	*Coleoptera*	*Lampyridae*		50	0	2	7	0	7	32	0	0	2
Prédateur	Staphylin	13	*Hexapoda*	*Coleoptera*	*Staphylinidae*		6	0	0	0	0	0	0	0	1	5
Prédateur	Coccinelle	14	*Hexapoda*	*Coleoptera*	*Coccinelidae*		1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Prédateur	Araignée	15	*Arachnida*	*Araneae*	*Lycosidae*		26	3	13	1	1	0	2	5	1	0
Prédateur	Scolopendre	16	*Chilopoda*	*Scolopendromorpha*	*Scolopendridae*	Scolopendra sp.	4	1	0	1	0	1	1	0	0	0
Prédateur	Grenouille	17	*Amphibia*	*Anura*	*Leptodactylidae*	*Eleutherodactylus jonhstonei*	2	0	0	1	0	0	0	0	0	1
Prédateur	Lézard	18	*Reptilia*	*Squamata*	*Gymnophtamidae*	*Gymnophtalmus pleei*	2	1	0	0	0	0	0	0	1	0
Total Prédateur							140	9	35	15	9	10	36	11	7	8
Prédateur ou omnivore	Fourmis	19	*Hexapoda*	*Hymenoptera*	*Formicidae*		631	15	41	68	121	0	0	12	312	62
Prédateur ou omnivore	Forficule	20	*Hexapoda*	*Dermaptera*	*Carcinophoridae*	*Euborellia caraibea*	10	0	4	0	2	2	0	2	0	0
Total Prédateur ou omnivore							641	15	45	68	123	2	0	14	312	62
Détritivore	Diptère jaune	21	*Hexapoda*	*Diptera*	*Micropezidae*		2	0	0	2	0	0	0	0	0	0
Détritivore	Iule	22	*Diplopoda*	*Spirobolida*	*Rhinocricidae*		57	22	7	5	3	9	2	5	1	3
Détritivore	Mille pattes	23	*Diplopoda*	*Polydesmida*	*Paradoxosomatidae*		306	0	216	6	0	22	0	36	26	0
Détritivore	Cloporte	24	*Crustacea*	*Isopoda*			29	0	0	0	0	0	0	27	2	0
Total Détritivore							394	22	223	13	3	31	2	68	29	3
Saprophage	Tenebrion	25	*Hexapoda*	*Coleoptera*	*Tenebrionidae*	*Tenebrio sp.*	3	0	0	0	0	0	2	0	0	1
Saprophage	Blatte	26	*Hexapoda*	*Blattoptera*	*Blattidae*	*Periplaneta americana*	3	0	0	0	1	0	0	0	0	2
Total Saprophage							6	0	0	0	1	0	2	0	0	3
Total tous taxa confondus							1320	59	332	105	141	90	51	99	360	83

2. Espèces piégées et abondance

- Piégeage des différents taxa :

Au cours de l'expérimentation, 1320 individus ont été piégés dans les pièges Barber sans phéromone, représentant 26 taxa différents (Tableau 3 et Annexe D). Le type de piège (avec ou sans larve) ne présente pas d'effet significatif sur l'abondance (Déviance=1,1 ; ddl=1 ; 1872 ; P=0,600). Au vu du nombre d'individus piégés, il a été choisit de cumuler les abondances de ces 2 types de piège. Les taxa se répartissent en 139 individus phytophages, 140 individus prédateurs, 641 individus prédateurs ou omnivores, 394 individus détritivores et 6 individus saprophages. En moyenne, 11 taxas différents ont été piégés par parcelle, avec en moyenne 76 individus par parcelle. L'abondance, tous taxa confondus, montre des différences entre les parcelles (Figure 16), cependant le nombre de taxa différents piégés par parcelle semble peu variable (Figure 17). On note que les prédateurs (prédateurs et prédateurs/omnivores) sont majoritairement les plus piégés (781 individus). Les insectes sociaux (fourmis) prédominent largement par rapport au reste des taxa (631 individus) (Tableau 3).

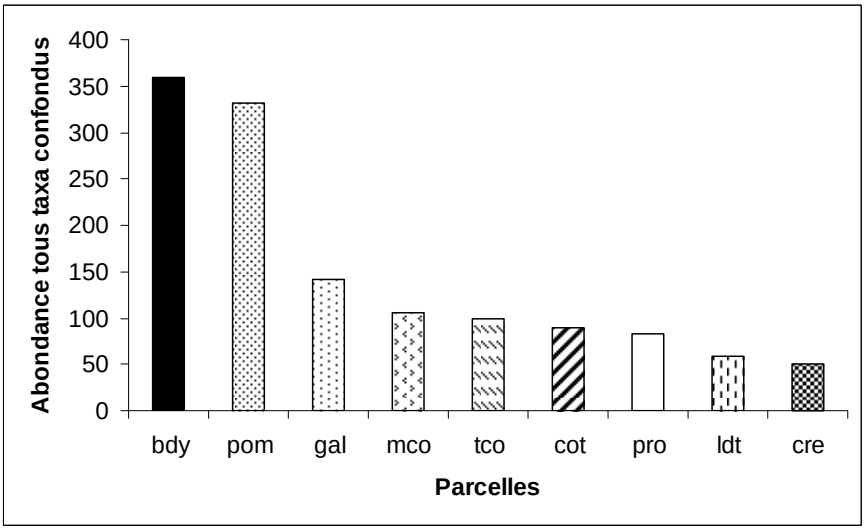


Figure 16 : Abondance tous taxa confondus sur chaque parcelle.

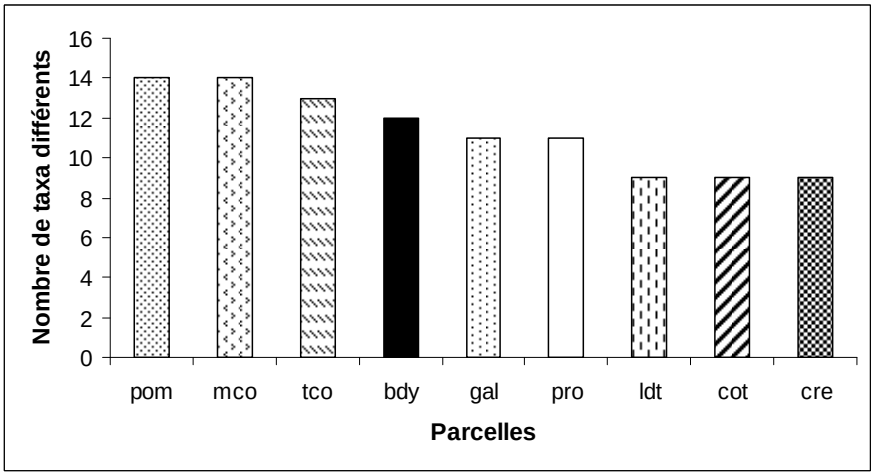


Figure 17 : Nombre de taxa différents sur chaque parcelle.

Tableau 4 : Espèces de fourmis piégées.

Nom commun	Nom latin	Code	Sous-famille
-	*Odontomachus bauri*	odo	*Ponerinae*
Fourmis de feu tropicale	*Solenopsis geminata*	sol	*Myrmicinae*
Petite fourmis de feu	*Wasmannia auropunctata*	was	*Myrmicinae*

- Piégeage des charançons :

Lors du piégeage de charançons, 2987 individus ont été piégés (Figure 18). Les moyennes de charançons piégés, sur la durée totale du piégeage, varient de 16 à 256 charançons par piège et par parcelle. Un GLM, avec une distribution Poissonienne, montre que l'effet des parcelles (Déviance=1618,74 ; ddl=8 ; 135 ; P<0,0001) et des semaines de piégeages (Déviance=171,10 ; ddl=3 ; 134 ; P<0,0001) ont un effet significatif sur l'abondance de charançons. Il n'y a pas d'interaction entre les parcelles et les semaines (Déviance=43,20 ; ddl=8 ; 126 ; P=0,535) (Annexe E).

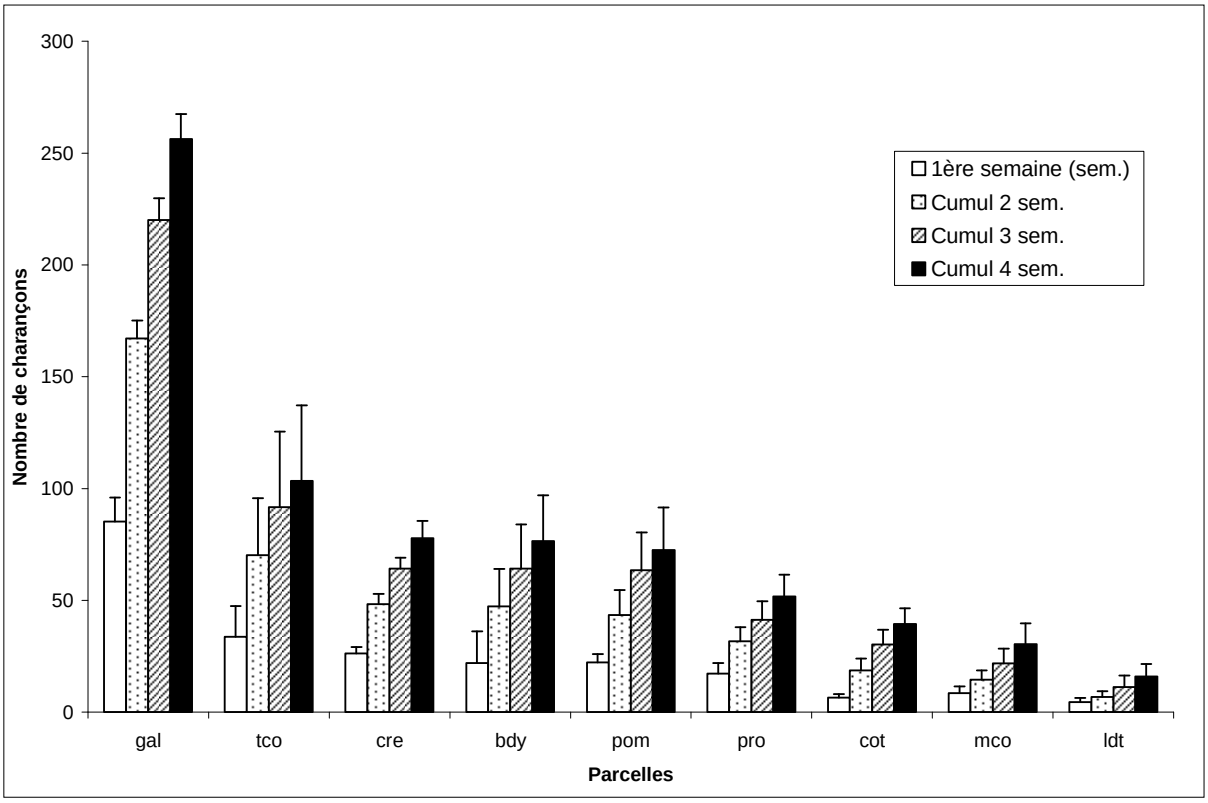


Figure 18 : Abondance moyenne de charançons par piège sur chaque parcelle (+ erreur standard).
Cumul de l'abondance sur 1,2,3 ou 4 semaines de piégeage.

- Piégeage instantané des fourmis :

Au total, 1053 fourmis ont été piégées (Figure 19). Le piégeage instantané présente une moyenne de piégeage de 0 à 186 fourmis par répétition et par parcelle. Ainsi, 3 espèces de fourmis ont pu être déterminées : *Odontomachus bauri* (odo), *Solenopsis geminata* (sol) et *Wasmannia auropunctata* (was) (Tableau 4). La même analyse statistique que précédemment (GLM, distribution Poissonienne) montre un effet significatif des parcelles sur l'abondance de fourmis (Déviance=2308,93 ; ddl=8 ; 27 ; P<0,0001) (Annexe E). La position du piège (petit rang ou grand rang) n'a pas montré d'effet significatif (Déviance=50,23 ; ddl=1 ; 22 ; P=0,140).

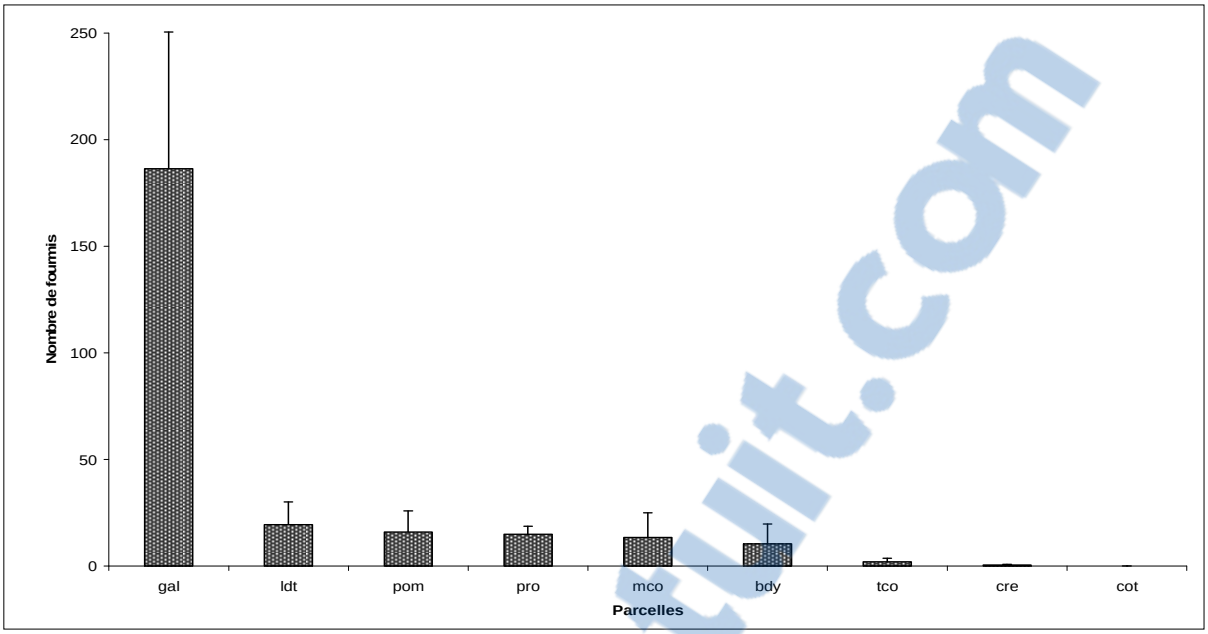


Figure 19 : Abondance moyenne de fourmis par piège sur chaque parcelle (+ erreur standard).

- Etude de la corrélation entre l'abondance de charançon et l'abondance de fourmis :

Les valeurs d'une parcelle (gal) largement supérieures à celles des autres parcelles, ont été retirées du jeu de données dans l'étude de la corrélation entre les abondances de ces 2 taxa. Les particularités de cette parcelle sont présentées en discussion.

L'abondance de charançons et l'abondance de fourmis sont corrélées négativement (R^2=0,55 ; P=0,010) (Figure 20).

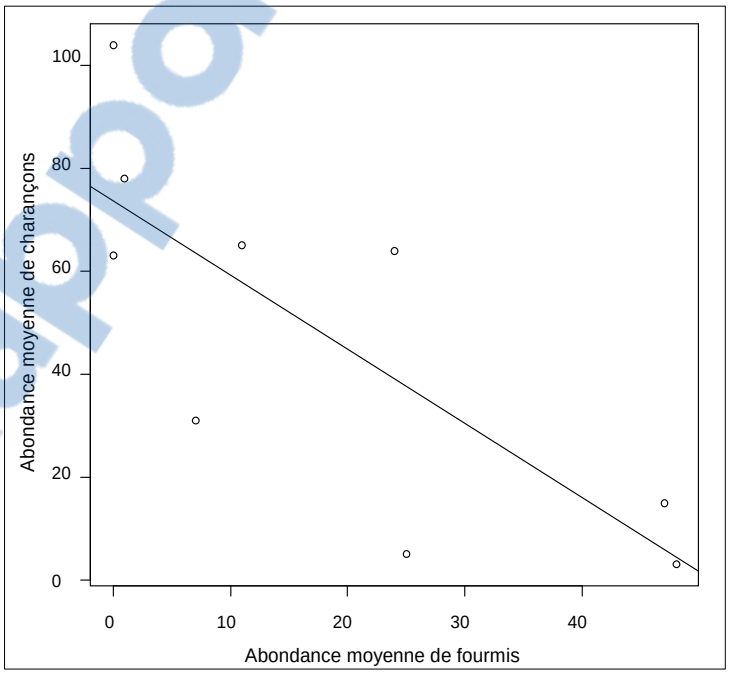


Figure 20 : Corrélation entre les abondances de charançons (abondance moyenne cumulée sur 4 semaines de piégeage) et de fourmis (données de piégeage appariées avec le piégeage des charançons, sans les données de la parcelle galva (gal). (R^2=0,55 ; P=0,010)

Rapport-Gratuit.com

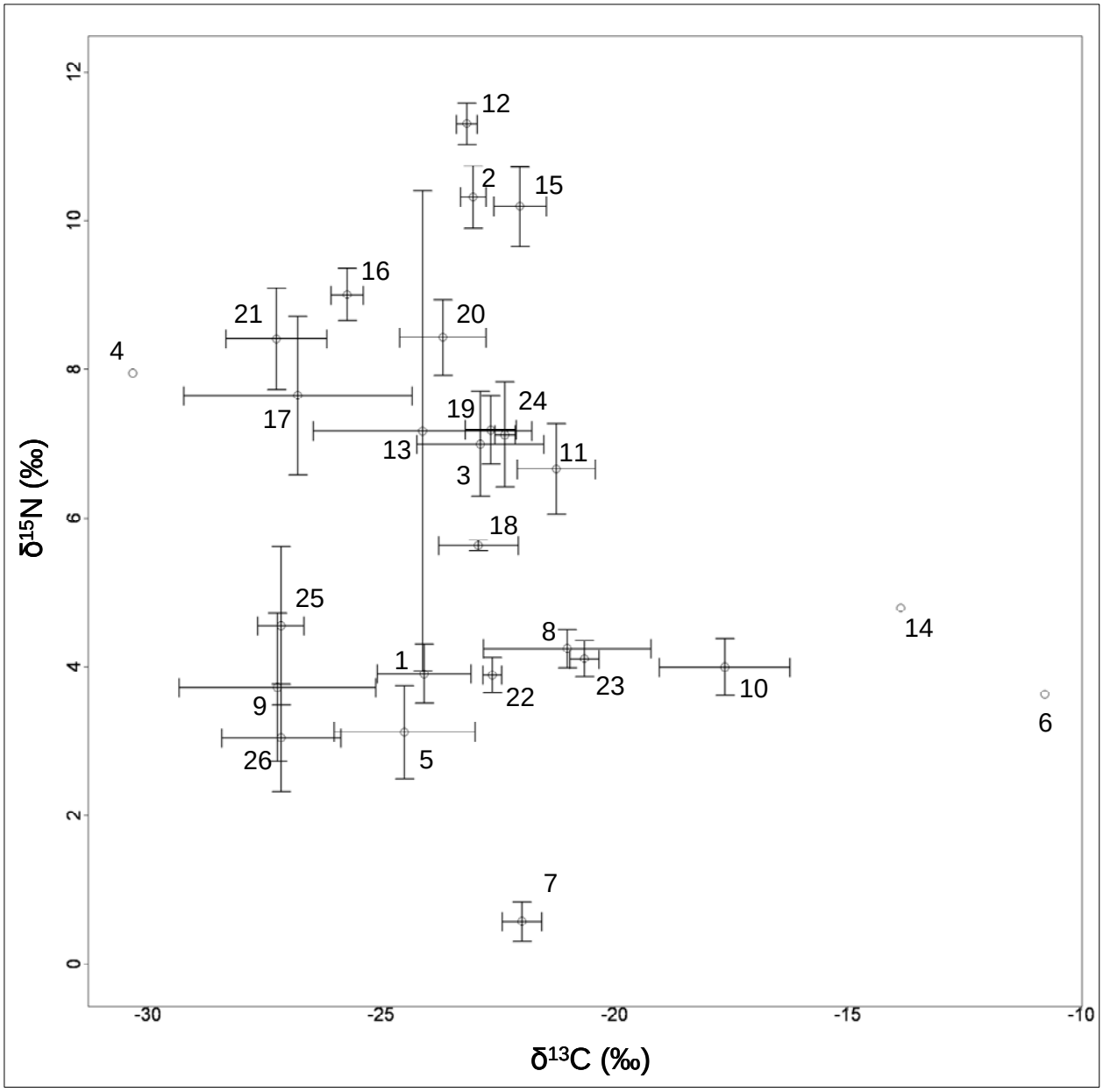


Figure 21 : Valeurs moyennes (± erreur standard) des $\delta^{13}C$ et $\delta^{15}N$ des taxa collectés.
1 : charançon, 2 : lampyre adulte, 3 : hanneton, 4 : criocère, 5 : punaise1, 6 : punaise2, 7 : criquet, 8 : grillon, 9 : chenille, 10 : carabe1, 11 : carabe2, 12 : lampyre larve, 13 : staphylin, 14 : coccinelle, 15 : araignée, 16 : scolopendre, 17 : grenouille, 18 : lézard, 19 : fourmis, 20 : forficule, 21 : diptère jaune, 22 : iule, 23 : mille pattes, 24 : cloporte, 25 : ténébrion, 26 : blatte.

3. Analyse isotopique

La figure 21 présente les valeurs moyennes (± erreur standard) en $\delta^{15}N$ et en $\delta^{13}C$ pour chaque taxon piégé. Au final, 274 échantillons différents ont été analysés. Les valeurs moyennes en $\delta^{15}N$ et en $\delta^{13}C$ sont comprises entre -0,09 et 14,67 ‰, et -32,01 et -10,77 ‰, respectivement.

- Teneurs en $\delta^{13}C$:

D'après l'analyse de variance, les taxa ($F_{29,167}$=10,52 ; P<0,001), les parcelles ($F_{12,167}$=13,89 ; P<0,001) et l'interaction entre ces 2 facteurs ($F_{65,167}$=2,81 ; P<0,001) ont un effet significatif sur les valeurs de $\delta^{13}C$. Les valeurs de $\delta^{13}C$ présentent des variations allant de -10,77 à -32,01 ‰. La moyenne des valeurs de $\delta^{13}C$ de l'ensemble des échantillons est de -22,53 ‰ (± 0,24 ‰). L'analyse de ces moyennes montre que les phytophages ont une valeur moyenne de -23,49 ‰, les prédateurs de -22,25 ‰, les détritivores de -22,01 ‰ et les saprophages de -27,15 ‰.

- Teneurs en $\delta^{15}N$:

D'après l'analyse de variance, les taxa ($F_{29,167}$=34,91 ; P<0,001), les parcelles ($F_{12,167}$=11,01 ; P<0,001) et l'interaction entre ces 2 facteurs ($F_{65,167}$=2,07 ; P<0,001) ont un effet significatif sur les valeurs de $\delta^{15}N$. L'analyse des moyennes des $\delta^{15}N$ indique que les prédateurs et les prédateurs/omnivores ont des valeurs moyennes de 7,49 ‰ et 7,91 ‰ respectivement, alors que les phytophages, les détritivores et les saprophages ont des valeurs moyennes de 5,25 ‰, 4,38 ‰ et 3,88 ‰ respectivement. Les prédateurs et les prédateurs/omnivores ont donc des niveaux trophiques supérieurs aux autres.

Dans cette étude, le charançon du bananier (code : 1, sur Figure 21 et Tableau 3) montre des valeurs moyennes de $\delta^{13}C$ de -24,08 ‰ et de $\delta^{15}N$ de 3,90 ‰. Les fourmis (19) ont des valeurs moyennes de -22,76 ‰ et de 7,29 ‰ ($\delta^{13}C$ et $\delta^{15}N$, respectivement), les forficules (20) de -23,31 ‰ et de 8,42 ‰, les araignées (15) de -21,80 ‰ et de 9,55 ‰ et les lampyres (2 et 12) (moyennes des larves et des imagos) de -23,10 ‰ et de 10,80 ‰.

Concernant les fourmis issues du piégeage instantané, 3 espèces sont répertoriées : *Odontomachus bauri* (odo), *Solenopsis geminata* (sol) et *Wasmannia auropunctata* (was). Ces 3 espèces présentent des valeurs en $\delta^{13}C$ et $\delta^{15}N$ différentes (Figure 22).

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

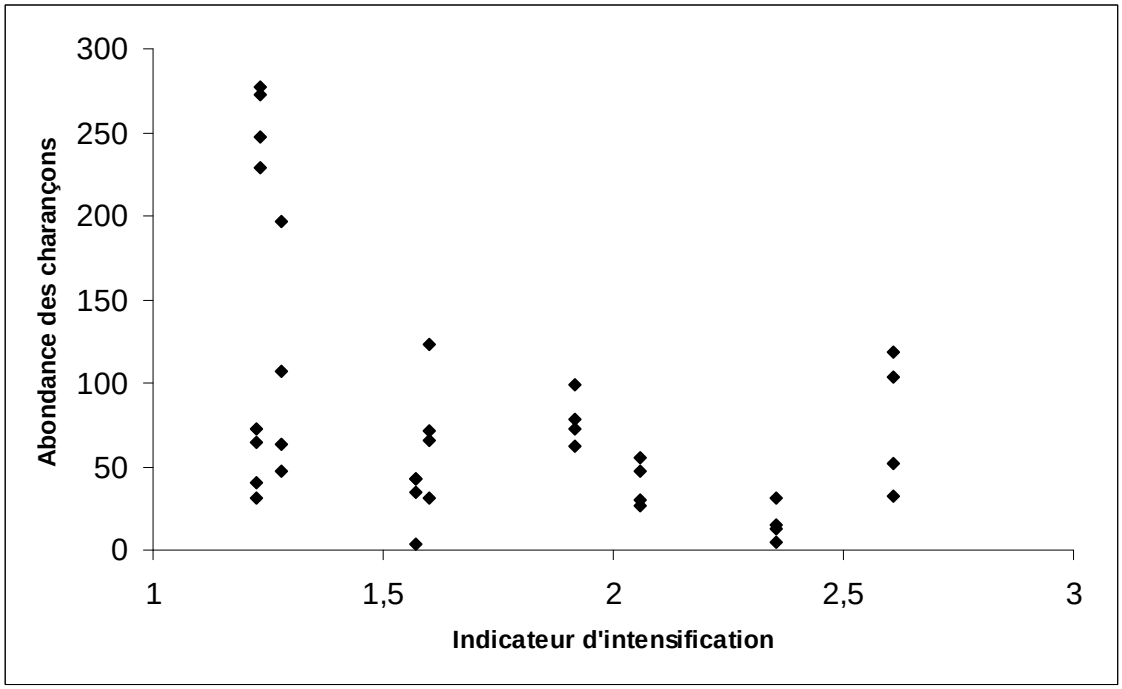


Figure 23 : Relation entre l'abondance des charançons du bananier et l'indicateur d'intensification.

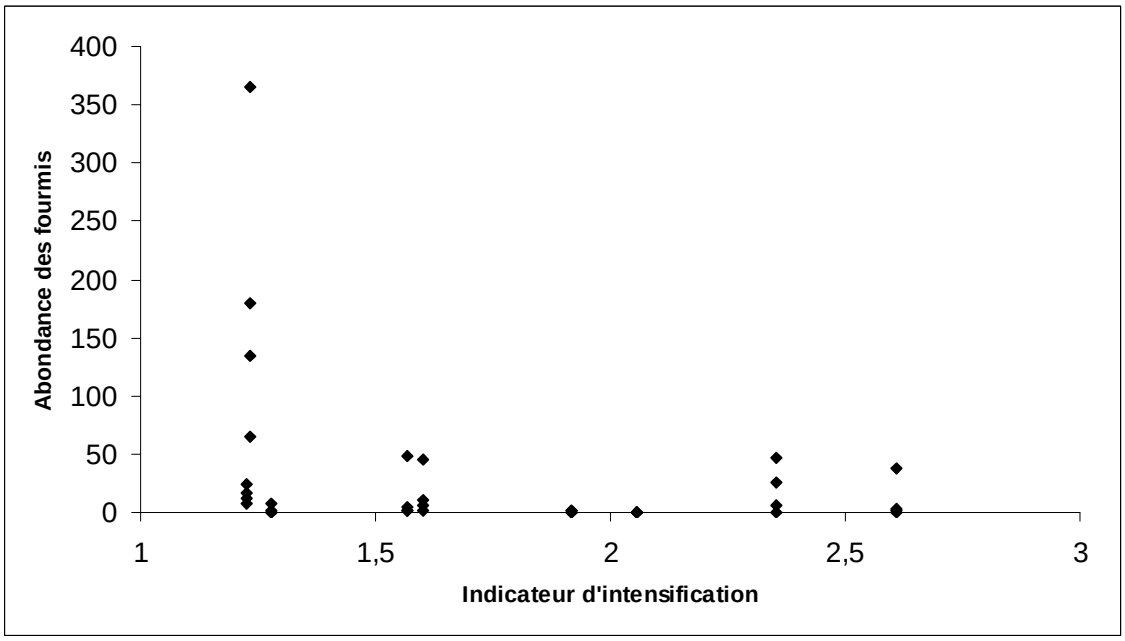


Figure 24 : Relation entre l'abondance des fourmis et l'indicateur d'intensification.

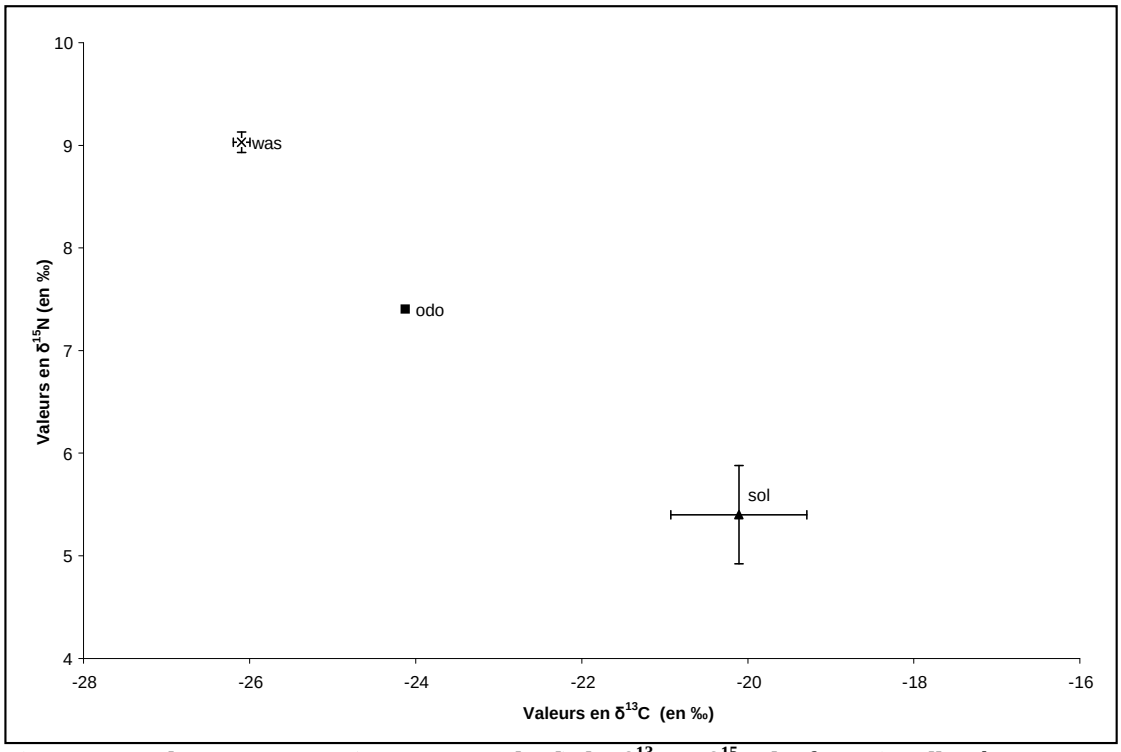


Figure 22 : Valeurs moyennes (± erreur standard) des $\delta^{13}C$ et $\delta^{15}N$ des fourmis collectées.
odo : *Odontomachus bauri* ; sol : *Solenopsis geminata* ; was : *Wasmannia auropunctata*

Les individus *W. auropunctata* ont des valeurs moyennes de $\delta^{13}C$ de -26,10 ‰ et de $\delta^{15}N$ de 9,03 ‰. Cette valeur en $\delta^{15}N$ est la plus élevée de ces 3 espèces. L'espèce *O. bauri* montre des valeurs moyennes de -24,13 ‰ et de 7,40 ‰ ($\delta^{13}C$ et $\delta^{15}N$, respectivement) et *S. geminata* de -20,11 ‰ et de 5,40 ‰.

4. Effet du gradient d'intensification

Afin de mesurer l'effet du gradient d'intensification, l'indice d'intensification définit précédemment est utilisé.

- Effet sur l'abondance :

Globalement, les abondances des phytophages, détritivores et saprophages cumulées ne présentent pas de différences significatives en fonction des niveaux de l'indicateur d'intensification (R^2=0,14 ; P=0,928). L'abondance des prédateurs ne présente pas de différences significatives en fonction de la variable (R^2=0,14 ; P=0,873).

Les valeurs élevées d'une parcelle (gal) tendent à montrer une légère diminution de l'abondance des charançons du bananier en fonction du gradient d'intensification (R^2=0,15 ; P=0,010) (Figure 23). Cependant, cette tendance ne se retrouvant pour aucune autre parcelle, si on exclut ces valeurs la relation semble alors absente (R^2=0,01 ; P=0,307, sans les valeurs de gal). Ce choix et les particularités de cette parcelle seront présentés dans la discussion. L'abondance des fourmis ne montre pas de différences significatives (R^2=0,07 ; P=0,062) (Figure 24), la même parcelle que précédemment (gal) possédant des valeurs extrêmes.

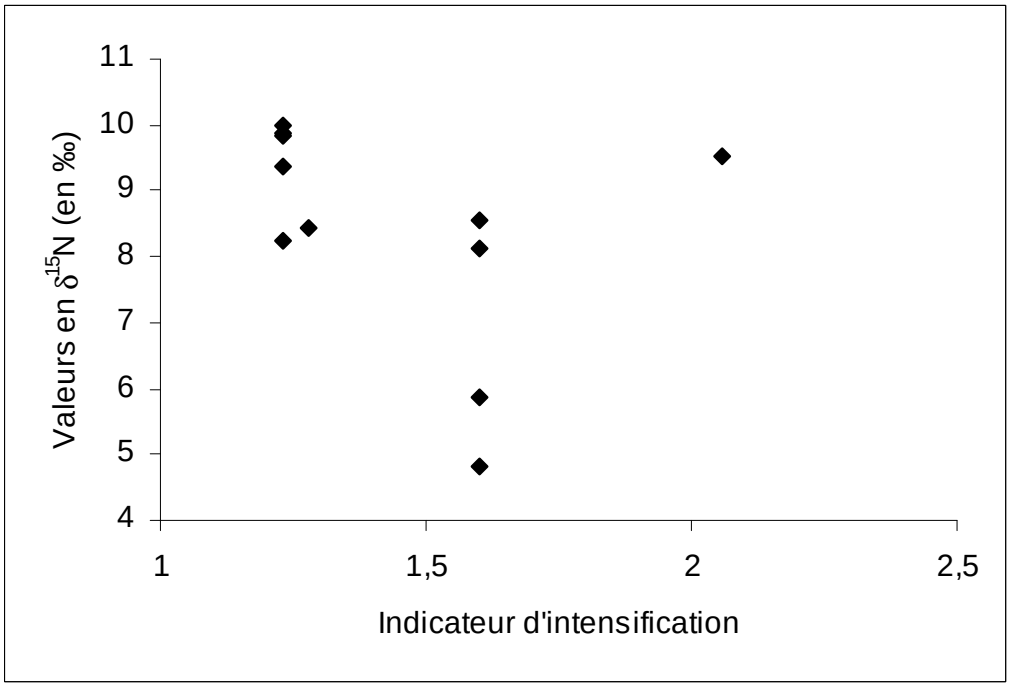


Figure 27 : Relation entre les teneurs en $\delta^{15}N$ des forficules (*Euborellia caraibea*) et l'indicateur d'intensification.

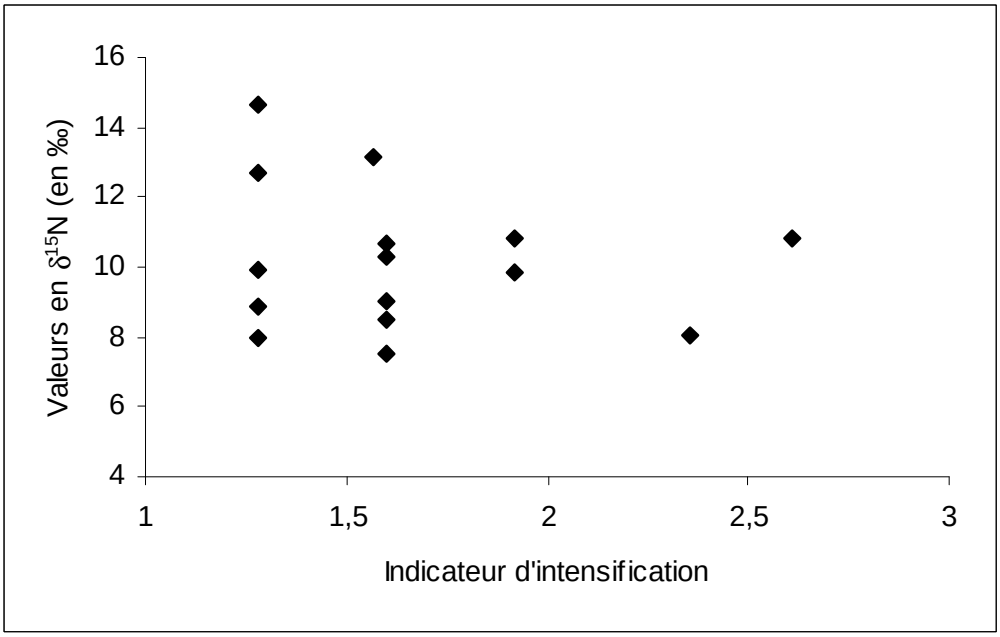


Figure 28 : Relation entre les teneurs en $\delta^{15}N$ des araignées (Fam. *Lycosidae*) et l'indicateur d'intensification.

- Effet sur les teneurs en isotopes stables :

Concernant les teneurs en isotopes stables ($\delta^{13}C$ et $\delta^{15}N$) du charançon du bananier, celles ci ne varient pas en fonction de l'indicateur d'intensification (R^2=0,04 ; P=0,879 et R^2=0,03 ; P=0,606, respectivement). Cependant, les valeurs en $\delta^{15}N$ des fourmis montrent une forte corrélation négative (R^2=0,74 ; P<0,001), variant de 4,68 ‰ à 9,37 ‰ (Figure 25).

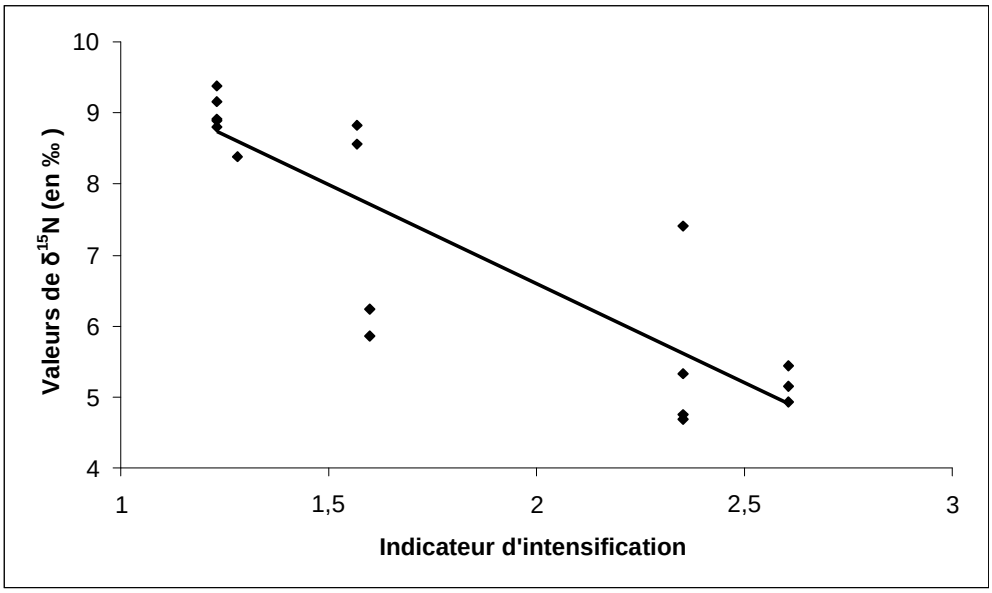


Figure 25 : Relation entre les teneurs en $\delta^{15}N$ des fourmis (Fam. *Formicidae*) et l'indicateur d'intensification.

Parmi les prédateurs, les carabes (*Galerita tristis*) suivent cette même tendance (R^2=0,57 ; P<0,001) (Figure 26). Les forficules (Figure 27) et les araignées (Figure 28) ne semblent pas afficher cette tendance (R^2=0,05 ; P=0,550 et R^2=0,01 ; P=0,350, respectivement).

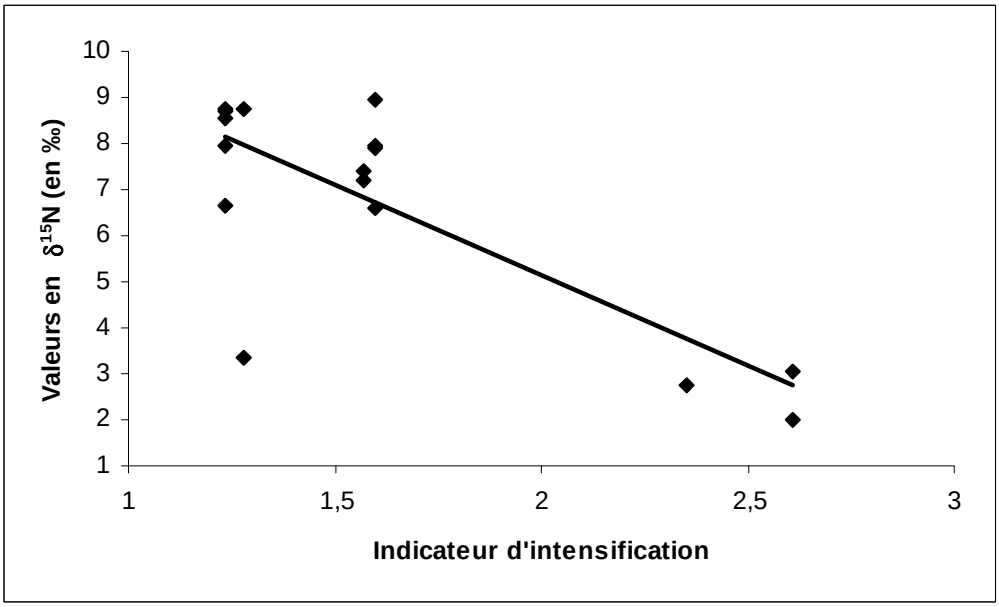


Figure 26 : Relation entre les teneurs en $\delta^{15}N$ des carabes (*Galerita tristis*) et l'indicateur d'intensification.

Discussion

1. Caractérisation des parcelles d'étude

Les différentes variables prises en compte afin de caractériser les parcelles semblent refléter assez précisément l'intensification du système de culture. Les parcelles ayant les valeurs d'indicateur d'intensification les plus faibles comprennent les 2 bananeraies abandonnées (pro et gal). Les parcelles semblant présenter un mode de conduite intensif, de part la structure de l'exploitation dans laquelle elles se trouvent, affichent les valeurs d'indicateur d'intensification les plus élevées (bdy, ldt).

La parcelle galva (gal) possède les abondances de fourmis et de charançons les plus élevées. Cette parcelle, totalement laissée à l'abandon, n'est plus en production depuis 5 ans. Les bananiers n'étant plus œilletonnés, les rejets se développent de manière incontrôlée, amenant à une forte densité de pieds et un système proche de la plantation en touffe. Les régimes tombés au sol représentent également une quantité de ressource alimentaire possible beaucoup plus élevée que sur le reste des parcelles (sur la deuxième parcelle abandonnée (pro) les régimes sont régulièrement récoltés par des particuliers). Le fait d'avoir piégé un nombre élevé de charançons sur cette parcelle peut s'expliquer par la forte densité de bananiers, l'absence de toute pratique agronomique sur la parcelle, favorisant le développement du ravageur. Contrairement à la deuxième parcelle abandonnée, celle-ci est d'un abandon relativement récent et semble constituer une ressource alimentaire importante pour le charançon. Parallèlement, le nombre élevé de fourmis piégées n'appartient qu'à une seule espèce : *Wasmannia auropunctata*. Cette espèce est définie comme invasive, fortement compétitive et super-prédatrice (Wetterer & Porter, 2003). Cela expliquerait l'absence d'autres arthropodes, et notamment d'autres espèces de *Formicidae* (Armbrecht & Ulloa-Chacon, 2003) et le fait qu'elle ne contrôle qu'en partie le charançon du bananier. Ne reflétant pas les tendances suivies par les autres parcelles d'étude, ces valeurs concernant les abondances des charançons et des fourmis ont été retirées des données afin de mieux rendre compte des tendances affichées par le reste des parcelles.

2. Caractérisation du réseau trophique par analyse isotopique

Les prédateurs et omnivores ont des teneurs en $\delta^{15}N$ significativement supérieures aux phytophages, détritivores et saprophages. Ceci confirme que le $\delta^{15}N$ dépend bien du régime alimentaire dans le système étudié (Ponsard et Arditi, 2000). On peut remarquer toutefois quelques particularités. Les teneurs en $\delta^{15}N$ des adultes de lampyres (code : 2, sur Figure 21 et tableau 3) sont proches de celles des larves de lampyres (12). Or, les larves sont prédatrices, mais les adultes, phyllophages, se nourrissent peu. Il semble alors que ces derniers gardent les traces du régime alimentaire qu'ils avaient au stade larvaire. Les araignées (15) possèdent les teneurs en $\delta^{15}N$ parmi les plus élevées, suggérant leur place de super-prédateurs. Les *Micropezidae* (21) et les cloportes (24), détritivores, possèdent des teneurs plus élevées que celles des autres détritivores (22, 23). Les criocères (4) et les hannetons (3) ont également des valeurs plus élevées que les autres phytophages. En revanche, les carabes *Chlaenius sp*. et la larve de coccinelle ont des valeurs plus faibles que les autres prédateurs. Ces individus pourraient appartenir à un réseau trophique différent de celui du bananier et utiliser une ressource extérieure à la parcelle ou inconnue, ayant une signature isotopique en $\delta^{13}C$ et $\delta^{15}N$ différente de celle du bananier. Ces résultats doivent cependant être analysés avec précaution

car l'enrichissement trophique isotopique des consommateurs est inconnu, or il peut varier fortement en fonction du régime alimentaire (Halaj *et al.*, 2005).

Globalement, l'analyse des différents taxa a permis de définir la structure du réseau trophique du charançon du bananier. La signature isotopique du bananier en $\delta^{13}C$ est de -26,5 ‰ (Lavigne, 2008). Dans cette étude, le charançon du bananier a bien la signature en $\delta^{13}C$ du bananier et montre des valeurs moyennes de $\delta^{13}C$ de -24,08 ‰ et de $\delta^{15}N$ de 3,90 ‰. Les prédateurs potentiellement intéressants peuvent être identifiés en recherchant ceux qui ont des valeurs en $\delta^{13}C$ proches du bananier et du charançon, et des valeurs en $\delta^{15}N$ au moins 2,5 ‰ au dessus de celle du charançon. Les taxa qui ont des valeurs en $\delta^{15}N$ particulièrement élevées peuvent se nourrir également d'autres prédateurs. Dans cette étude, les prédateurs potentiels du charançon semblent avoir des teneurs moyennes de $\delta^{13}C$ comprises entre -24,11 ‰ et -21,25 ‰ et de $\delta^{15}N$ variant de 6,66 ‰ à 11,30 ‰. Cela regroupe ainsi 6 taxa : lampyres, araignées, forficules, fourmis (taxon général), staphylins et carabes (*Galerita tristis*).

Les teneurs en isotopes stables des prédateurs sont différentes en fonction des taxa, montrant la diversité des proies potentielles et l'importance de la prédation intraguilde. Une augmentation de la prédation intraguilde limite la régulation des bioagresseurs (Noia *et al.*, 2008; Okuyama, 2009) et amène à un enrichissement en $\delta^{15}N$ des prédateurs (Ponsard & Arditi, 2000). Il paraît difficile dans cette étude d'établir la contribution relative de la prédation intraguilde à l'enrichissement en ^{15}N. Une caractérisation plus précise de la position trophique des prédateurs nécessiterait des expérimentations en laboratoire afin de préciser les niveaux en $\delta^{15}N$ des différents taxa.

3. Abondance des taxa

Les différentes méthodes de piégeage ont permis de recenser les principaux taxa de la macrofaune de la litière d'une bananeraie. Bien que dans des études préliminaires (non présentées) les larves de charançon utilisées en tant qu'appâts semblaient montrer un effet, cet effet n'a pas été retrouvé par la suite. Le piégeage avec phéromone a permis de bien caractériser la pression du charançon du bananier et de pouvoir comparer les parcelles entre elles. Les populations de fourmis ont pu être bien définies, notamment à l'aide du piégeage instantané. Globalement, on remarque un nombre de taxa piégés par parcelle assez constant, cependant on observe des différences d'abondance, tous taxa confondus, importantes entre les parcelles.

Au final, en dehors des charançons et des fourmis, assez peu d'individus ont été piégés, rendant difficile la comparaison des abondances d'un taxa donné entre les parcelles. Les fourmis ont toutefois des effectifs majoritaires, permettant une analyse plus poussée.

Ainsi, les charançons et les fourmis montrent des valeurs d'abondance très différentes selon les parcelles, la parcelle galva (gal) possédant des valeurs extrêmes par rapport aux autres. Ce dispositif a pu démontrer l'existence d'une relation entre les abondances de fourmis et de charançons, laissant supposer la régulation possible du charançon par les fourmis. Cela va dans le sens de précédentes études démontrant la prédation du charançons du bananier par les fourmis (Abera-Kalibata *et al.*, 2006; Abera-Kalibata *et al.*, 2008; Casteñieras, 1982). L'activité de prédation des fourmis piégées (*Wasmannia auropunctata* et *Solenopsis geminata*, en particulier) sur *Cosmopolites sordidus* semble intéressante à étudier.

Rapport-Gratuit.com

4. Effet de l'intensification

Concernant l'abondance, l'effet du gradient d'intensification n'est pas significatif sur la totalité des taxas. En effet, l'abondance des espèces de tous les régimes alimentaires confondus ne semble pas être modifiée par le mode de conduite de la bananeraie. Ceci s'applique également à l'abondance des taxas majoritairement piégés, les charançons et les fourmis.

La signature isotopique du charançon du bananier ne varie pas en fonction du gradient de l'intensification, comme on l'attendait. Cependant, les teneurs en $\delta^{15}N$ des fourmis diminuent fortement lorsque l'intensification du système de culture augmente. Ceci peut être du à un changement du degré d'omnivorie (Post & Takimoto, 2007). En effet lorsqu'il y a prédation intraguilde, la longueur de la chaîne trophique diminue avec l'augmentation de la disponibilité en ressource, et plus la disponibilité augmente, plus le degré d'omnivorie augmente (Post & Takimoto, 2007). Une faible prédation intraguilde a pour conséquence une augmentation de la prédation d'individus de la communauté phytophage et ainsi une régulation plus importante des bioagresseurs. Certaines espèces de fourmis présentant une capacité à coloniser le milieu plus forte que d'autres (*e.g. Wasmannia auropunctata*), leur comportement de prédation intraguilde pourrait expliquer cette augmentation en $\delta^{15}N$ (Halaj *et al.*, 2005). Les carabes *Galerita tristis* semblent effectuer le même changement, dans leur cas l'omnivorie semble plus limitée. Il n'y a pas de modification significative des taux en $\delta^{15}N$ des autres espèces.

5. Potentiel de régulation de *Cosmopolites sordidus*

Cette étude a permis d'avoir un aperçu de l'ensemble des espèces présentes dans les bananeraies, notamment des auxiliaires de culture potentiels présents.

La lutte biologique à l'aide d'arthropodes prédateurs est considérée comme le meilleur moyen de contrôle de ce ravageur (Abera-Kalibata *et al.*, 2006; Gold *et al.*, 2001). Les ennemis naturels, potentiellement capables de se nourrir des stades immatures des charançons dans les bulbes, sont les plus susceptibles de convenir comme agents de lutte biologique.

Les araignées présentent un potentiel de régulation important (Birkhofer *et al.*, 2007; Carter & Rypstra, 1995). Cependant, la prédation possible du charançon du bananier doit être vérifiée en conditions contrôlées.

L'étude a permis de mettre en évidence la relation entre les charançons du bananier et les fourmis (Figure 20). Les fourmis sont de plus en plus reconnues comme étant d'importants prédateurs dans les systèmes agricoles (Perfecto & Casteñieras, 1998; Way & Khoo, 1992), notamment dans les systèmes bananiers (Gold *et al.*, 2001). Certaines espèces sont capables de trouver les œufs de charançons dans les bulbes infestés, ce qui pourrait réduire les dommages causés (Abera-Kalibata *et al.*, 2007; Abera-Kalibata *et al.*, 2008). Elles peuvent facilement être manipulées par des agriculteurs (Risch & Carroll, 1982).

Des fourmis de la sous-famille des *Myrmicinae* ont déjà été utilisées pour contrôler le charançon du bananier à Cuba (Casteñieras & Ponce, 1991; Perfecto & Casteñieras, 1998). Les fourmis ont permis de réduire de 60 à 70 % la population des charançons (Perfecto & Casteñieras, 1998). Des études approfondies, en particulier sur les 2 espèces piégées appartenant à la sous-famille des *Myrmicinae* (*Solenopsis geminata* et *Wasmannia auropunctata*), semblent être nécessaires. Ceci afin de définir les conditions d'installation de ces espèces dans les bananeraies et leur potentiel de contrôle du charançon.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

6. Perspectives et améliorations

Concernant le piégeage des individus de la macrofaune de la litière des bananeraies, il serait préférable de focaliser les futures études, uniquement sur certaines espèces. Cette étude a permis de cibler les espèces de prédateurs généralistes potentiels présents sur les bananeraies et appartenant au réseau trophique du charançon du bananier. Ainsi un piégeage spécifique, sur une plus longue durée, des 6 taxa paraissant les plus intéressants (fourmis (toutes espèces confondues), araignées, lampyres, forficules, staphylins et carabes (*Galerita tristis*)) pourrait être envisagé. Ceci permettrait certainement d'obtenir des abondances plus élevées, pouvant amener des résultats plus précis. D'autres types de pièges pourraient être mis en place si leur efficacité de piégeage, testée préalablement, est supérieure ; notamment concernant les fourmis, où différents types d'appâts pourraient être utilisés (Vele *et al.*, 2009).

Les liens trophiques, mis en évidence, entre les différents stades du charançon et les prédateurs potentiels devront être vérifiés par des observations et des manipulations sur le terrain et au laboratoire.

L'historique des parcelles étudiées (rotations, pratiques culturales et agronomiques, intrants) devrait être soigneusement connu et ce, sur plusieurs années, dans la mesure du possible. Cet historique est relativement facile à obtenir pour les parcelles d'exploitations suivant un cahier des charges précis, mais plus difficile pour les parcelles à l'abandon ou les plus petites exploitations.

Enfin, la mise en place de parcelles expérimentales pourrait être envisagée. Cela permettrait de mieux contrôler la biodiversité, par exemple en contrôlant la biomasse du bananier et des plantes de couverture du sol, ou le nombre d'espèces végétales présentes. Un tel dispositif est assez couteux et difficile à mettre en place mais aurait l'avantage de rendre constant les autres paramètres, tel que l'historique des parcelles, permettant ainsi de pouvoir tirer des conclusions plus claires.

Conclusion

De plus en plus d'efforts sont déployés afin d'intégrer des systèmes de culture innovants ayant pour objectif de répondre à la fois aux contraintes économiques et environnementales. La restauration du fonctionnement écologique de ces agro-écosystèmes semble particulièrement être une voie à confirmer.

L'analyse isotopique des individus de la litière des bananeraie de cette étude, a permis de définir la structure du réseau trophique du charançon du bananier *Cosmopolites sordidus*. Cela a permis de distinguer 6 taxa potentiellement intéressants dans la régulation de ce bioagresseur (fourmis (toutes espèces confondues), araignées, lampyres, forficules, staphylins et carabes (*Galerita tristis*)).

Le gradient d'intensification n'a pas montré d'effet clair sur l'abondance d'aucun taxon piégé. En revanche, l'intensification semble favoriser l'omnivorie de certains prédateurs généralistes, notamment les fourmis. Parallèlement, l'augmentation de la biodiversité des bananeraies semblerait engendrer une forte prédation intraguilde des prédateurs potentiels, favorisée par un habitat plus complexe.

L'utilisation des fourmis en tant qu'auxiliaires de culture est de plus en plus courante. Leur potentiel en tant que prédateurs semble très important. Des études complémentaires, notamment en conditions contrôlées, sur la prédation des fourmis pourraient permettre d'améliorer les possibilités de contrôle du charançon du bananier, ou d'autres bioagresseurs.

Cette étude s'inscrit dans une tendance à la réintroduction de la biodiversité dans les agro-écosystèmes. L'effet de celle-ci sur les populations de bioagresseurs et sur leur potentiel de régulation, en particulier par les prédateurs généralistes, amène à des questions qui pourront orienter de futurs axes de recherche en agro-écologie.

Références bibliographiques

Abera-Kalibata, A.M., Hasyim, A., Gold, C.S., & Driesche, R.V. (2006) Field surveys in Indonesia for natural enemies of the banana weevil, *Cosmopolites sordidus* (Germar). Biological Control, **37**, pp 16-24.

Abera-Kalibata, A.M., Gold, C.S., Driesche, R.G.V., & Ragama, P.E. (2007) Composition, distribution, and relative abundance of ants in banana farming systems in Uganda. Biological Control, **40**, pp 168-178.

Abera-Kalibata, A.M., Gold, C.S., & Driesche, R.V. (2008) Experimental evaluation of the impacts of two ant species on banana weevil in Uganda. Biological Control, **46**, pp 147-157.

Alpizar, D., Fallas, M., Oehlschlager, A.C., Gonzalez, L.M., Chinchilla, C.M., & Bulgarelli, J. (2002) Pheromone mass trapping of the west Indian sugarcane weevil and the American palm weevil (*Coleoptera*: *Curculionidae*) in palmito palm. Florida Entomologist, **85**, pp 426-430.

Altieri, M.A. & Letourneau, D.K. (1982) Vegetation management and biological control in agroecosystems. Crop Protection, **1**, pp 405-430.

Anderson, W.A. & Polis, G.A. (1998) Marine subsidies of island communities in the Gulf of California: evidence from stable carbon and nitrogen isotopes. Oikos, **81**, pp 75-80.

Arim, M. & Marquet, P.A. (2004) Intraguild predation: a widespread interaction related to species biology. Ecology Letters, **7**, pp 557-564.

Armbrecht, I. & Ulloa-Chacon, P. (2003) The little fire ant *Wasmannia auropunctata* (Roger) (*Hymenoptera* : *Formicidae*) as a diversity indicator of ants in tropical dry forest fragments of Colombia. Environmental Entomology, **32**, pp 542-547.

Birkhofer, K., Scheu, S., & Wise, D.H. (2007) Small-Scale Spatial Pattern of Web-Building Spiders (*Araneae*) in Alfalfa: Relationship to Disturbance from Cutting, Prey Availability, and Intraguild Interactions. Environmental Entomology, **36**, pp 801-810.

Cardinale, B.J., Harvey, C.T., Gross, K., & Ives, A.R. (2003) Biodiversity and biocontrol: emergent impacts of a multi-enemy assemblage on pest suppression and crop yield in an agroecosystem. Ecology Letters, **6**, pp 857-865.

Carter, P.E. & Rypstra, A.L. (1995) Top-down effects in soybean agroecosystems - spider density affects herbivore damage. Oikos, **72**, pp 433-439.

Casteñieras, A.T. (1982) Actividad forrajera de *Pheidole megacephala* (*Hymenoptera:Formicidae:Myrmecinae*). Ciencia y Tecnica de Agricultura, **5**, pp 55-64.

Casteñieras, A.T. & Ponce, E. (1991) Efectividad de la utilización de *Pheidole megacephala* (*Hymenoptera*: *Formicidae*) en la lucha biológica contra *Cosmopolites sordidus (Coleoptera*: *Curculionidae*). Protección de Plantas 1, pp 15-21.

Chen, B.R. & Wise, D.H. (1999) Bottom-up limitation of predaceous arthropods in a detritus-based terrestrial food web. Ecology, **80**, pp 761-772.

Chinery, M. (2002) Insectes de France et d'Europe occidentale.Paris: Arthaud. 320 pp.

Costamagna, A.C., Landis, D.A., & Difonzo, C.D. (2007) Suppression of soybean aphid by generalist predators results in a trophic cascade in soybeans. Ecological Applications, **17**, pp 441-451.

Crawley, M.J. (2007) The R Book.Chichester, Angleterre: Wiley Publishing. 950 pp.

Cuillé, J. (1950) Recherches sur le charançon du bananier *Cosmopolites sordidus*, Germar: Monographie de l'insecte et recherche de ses chimiotropismes.Paris: IFAC Série Technique. 225 pp.

Decaëns, T., Jimenez, J.J., Barros, E., Chauvel, A., Blanchart, E., Fragoso, C., & Lavelle, P. (2004) Soil macrofaunal communities in permanent pastures derived from tropical forest or savanna. Agriculture Ecosystems & Environment, **103**, pp 301-312.

Delattre, P. (1980) Recherche d'une méthode d'estimation des populations du charançon du bananier, *Cosmopolites sordidus* Germar (*Col.*, *Curculionidae*). Acta Oecologica: Oecologica Applicata, **1**, pp 83-92.

Delvare, G. & Aberlenc, H.P. (1989) Insectes d'Afrique et d'Amérique tropicale. Clés pour la reconnaissance des familles.Montpellier: CIRAD. 298 pp.

Fournet, J. & Hammerton, J.L. (1991) Mauvaises herbes des Petites Antilles.Paris: Inra. 214 pp.

Fournet, J. (2002) Flore illustrée des phanérogames de Guadeloupe et de Martinique.Trinité: Cirad/Gondwana. 2538 pp.

Fournier, A. & Planchon, O. (1998) Link of vegetation with soil at a few metre-scale: herbaceous floristic composition and infiltrability in a Sudanian fallow-land. Acta Oecologica-International Journal of Ecology, **19**, pp 215-226.

Gannes, L.Z., del Rio, C.M., & Koch, P. (1998) Natural abundance variations in stable isotopes and their potential uses in animal physiological ecology. Comparative Biochemistry and Physiology a-Molecular & Integrative Physiology, **119**, pp 725-737.

Ganry, J. (2004) Specific diversity of plant populations at rainfed scale and crop protection: the example of banana production in the French West Indies. Comptes Rendus Biologies, **327**, pp 621–627.

Gearing, J.N., Gearing, P.J., Rudnick, D.T., Requejo, A.G., & Hutchins, M.J. (1984) Isotopic variability of organic carbon in a phytoplankton-based estuary. Geochimica et Cosmochimica, pp 1089-1098.

Gold, C.S., Pena, J.E., & Karamura, E.B. (2001) Biology and integrated pest management for the banana weevil *Cosmopolites sordidus* (Germar) (*Coleoptera: Curculionidae*). Integrated Pest Management Reviews, **6**, pp 79-155.

Greathead, D.J. (1986) Opportunities for biological control of insect pests in tropical Africa. Revue de Zoologie Africaine, **100**, pp 85-96.

Rapport-Gratuit.com

Halaj, J., Peck, R.W., & Niwa, C.G. (2005) Trophic structure of a macroarthropod litter food web in managed coniferous forest stands: a stable isotope analysis with $\delta^{15}N$ and $\delta^{13}C$. Pedobiologia, **49**, pp 109-118.

Heemsbergen, D.A., Berg, M.P., Loreau, M., van Haj, J.R., Faber, J.H., & Verhoef, H.A. (2004) Biodiversity effects on soil processes explained by interspecific functional dissimilarity. Science, **306**, pp 1019-1020.

Hobson, K.A., Piatt, J.F., & Pitochelli, J. (1994) Using stable isotopes to determine seabird trophic relationships. Journal of Animal Ecology, **63**, pp 786-798.

Hustache, A. (1932) Les Curculionidés de la Guadeloupe.Paris: Faune Colon. 142 pp.

Kiggundu, A., Gold, C.S., Labuschagne, M.T., Vuylsteke, D., & Louw, S. (2003) Levels of host plant resistance to banana weevil, *Cosmopolites sordidus* (Germar) (*Coleoptera*: *Curculionidae*), in Uganda *Musa* germplasm. Euphytica, **133**, pp 267-277.

Koppenhofer, A.M., Seshu Reddy, K.V., Madel, G., & Lubega, M.C. (1992) Predators of the banana weevil, *Cosmopolites sordidus* (Germar) (*Col*.: *Curculionidae*) in Western Kenya. Journal of Applied Entomology, **114**, pp 530-533.

Koppenhofer, A.M. (1993) Egg predators of the banana weevil, *Cosmopolites sordidus* (Germar) (*Col.*: *Curculionidae*) in western Kenya. Journal of Applied Entomology, **116**, pp 352-357.

Landis, D.A., Wratten, S.D., & Gurr, G.M. (2000) Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. Annual Review of Entomology, **45**, pp 175-201.

Lassoudière, A. (2007) Le bananier et sa culture.Versailles: Editions Quae. 383 pp.

Lavigne, A. (2008) Etude de la structure des réseaux trophiques des bananeraies antillaises par approche isotopique. Potentialités de régulation des bioagresseurs. Agrocampus Ouest, Angers. 38 pp.

Lemaire, L. (1996) Les relations sémiochimiques chez le charançon du bananier *Cosmopolites sordidus* Germar (*Coleoptera*: *Curculionidae*) et la résistance de sa plante-hôte, le bananier. Université de Montpellier II, Montpellier. 269 pp.

Medina, E., Martinelli, L.A., Barbosa, E., & Victoria, R.L. (1999) Natural abundance of ^{13}C in tropical grasses from the INPA, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Herbarieum. Revista brasileira de Botânica, **22**, pp 1-19.

Minagawa, M. & Wada, M.E. (1984) Stepwise enrichment of ^{15}N along food chains: further evidence and the relation between $\delta^{15}N$ and animal age. Geochimica et Cosmochimica, pp 2143-2146.

Neilson, R., Hamilton, D., Wishart, J., Marriott, C.A., Boag, B., Handley, L., Scrimgeour, C.M., McNicol, J.W., & Robinson, D. (1998) Stable isotope natural abundances of soil, plants and soil invertebrates in an upland pasture. Soil Biology & Biochemistry, **30**, pp 1773-1782.

Noia, M., Borges, I., & Soares, A.O. (2008) Intraguild predation between the aphidophagous ladybird beetles *Harmonia axyridis* and *Coccinella undecimpunctata* (*Coleoptera* :

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Coccinellidae) : the role of intra and extraguild prey densities. Biological Control, **46**, pp 140-146.

Oelbermann, K. & Scheu, S. (2002) Stable isotope enrichment ($\delta^{15}N$ and $\delta^{13}C$) in a generalist predator (*Pardosa lugubris*, *Araneae* : *Lycosidae*): effects of prey quality. Oecologia, **130**, pp 337-344.

Okuyama, T. (2009) Intraguild predation in biological control : consideration of multiple resource species. Biocontrol, **54**, pp 3-7.

Perfecto, I. & Casteñieras, A. (1998) Deployment of the predaceous ants and their conservation in agroecosystems.San Diego, California: Academic Press. 290 pp.

Perrin, R.M. & Phillips, M.L. (1978) Some effects of mixed cropping on the population dynamics of insect pests. Entomologia Experimentalis et Applicata, **3**, pp 585-593.

Philpott, S.M., Perfecto, I., & Vandermeer, J. (2008) Effects of predatory ants on lower trophic levels across a gradient of coffee management complexity. Journal of Animal Ecology, **77**, pp 505-511.

Pollnac, F.W., Rew, L.J., Maxwell, B.D., & Menalled, F.D. (2008) Spatial patterns, species richness and cover in weed communities of organic and conventional no-tillage spring wheat systems. Weed Research, **48**, pp 398-407.

Ponsard, S. & Arditi, R. (2000) What can stable isotopes ($\delta^{15}N$ and $\delta^{13}C$) tell about the food web of soil macro-invertebrates ? Ecology, **81**, pp 852-864.

Post, D.M. & Takimoto, G. (2007) Proximate structural mechanisms for variation in food-chain length. Oikos, **116**, pp 775-782.

Remaud, G. & Akoka, S. (2004) (page consultée le 22 juin 2009). L'Isotope : Traceur d'Origine. Distribution isotopique dans les composés naturels, [En ligne].Adresse URL : http://culturesciences.chimie.ens.fr/dossiers-chimie-societe-article-IsotopeTraceur.html

Rickers, S., Langel, R., & Scheu, S. (2006) Stable isotope analyses document intraguild predation in wolf spiders (*Araneae*: *Lycosidae*) and underline beneficial effects of alternative prey and microhabitat structure on intraguild prey survival. Oikos, **114**, pp 471-478.

Risch, S.J. & Carroll, C.R. (1982) The ecological role of ants in two Mexican agroecosystems. Oecologia, **55**, pp 114-119.

Room, P.M. (1971) The relative abundance of ant species in Ghana's Cocoa farms. Journal of Animal Ecology, **40**, pp 735-751.

Root, R.B. (1973) Organization of a plant-arthropod associations in simple and diverse habitats: the fauna of collards (*Brassica oleracea*). Ecological Monographs, pp 95-118.

Russell, E. (1989) Enemies hypothesis: a review of the effect of vegetational diversity on predatory Insects and Parasitoids. Annals of the Entomology Society of America, **4**, pp 590-599.

Schmidt, O., Curry, J.P., Dyckmans, J., Rota, E., & Scrimgeour, C.M. (2004) Dual stable isotope analysis ($\delta^{13}C$ and $\delta^{15}N$) of soil invertebrates and their food sources. Pedobiologia, **48**, pp 171-180.

Sirjusingh, C., Kermarrec, A., Mauleon, H., Lavis, C., & Etienne, J. (1992) Biological control of weevils and whitegrubs on bananas and sugarcane in the Caribbean. Florida Entomologist, **75**, pp 548-562.

Stover, R.H. & Simmonds, N.W. (1987) Bananas:Third Edition.New York: John Wiley and Sons. 469 pp.

Tahvanainen, J.O. & Root, R.B. (1972) The influence of vegetational diversity on population ecology of a specialized herbivore, *Phyllotreta cruciferae* (*Coleoptera*: *Chrysomelidae*). Oecologia, **4**, pp 321-346.

Tinzaara, W., Gold, C.S., Dicke, M., & Huis, A.v. (2005) Olfactory response of banana weevil predators to volatiles from banana pseudostem tissue and synthetic pheromone. Journal of Chemical Ecology, **31**, pp 1537-1553.

Tixier, P., Malezieux, E., & Dorel, M. (2004) SIMBA-POP : a cohort population model for long-term simulation of banana crop harvest. Ecological Modelling, **180**, pp 407-417.

Treverrow, N. (1985) Banana weevil borer. Agfacts, **6**, pp 1-3.

Treverrow, N. (1993) An Integrated Management Program for Banana Weevil Borer.Project, Wollongbar Agriculture Institute, Wollongbar New South Wales, Australia. 40 pp.

Vandermeer, J. (1989) The ecology of intercropping.Cambridge: Cambridge University Press. 237 pp.

Vele, A., Holusa, J., & Frouz, J. (2009) Sampling for ants in different-aged spruce forests: A comparison of methods. European Journal of Soil Biology, **45**, pp 301-305.

Vercambre, B., Caray, F., & Daugrois, J.-H. (2008) Evolution de la biodiversité du milieu cultivé. Cas de la rotation canne à sucre-bananier. AFCAS. 4ème Rencontre internationale francophone, 11 au 14 mars 2008, Le Gosier, Guadeloupe, pp 1-10.

Vilardebo, A. (1973) Le coefficient d'infestation, critère d'évaluation du degré d'attaques des bananeraies par *Cosmopolites sordidus* Germ. le charançon noir du bananier. Fruits, **28**, pp 417-426.

Way, M.J. & Khoo, K.C. (1992) Role of ants in pest-management. Annual Review of Entomology, **37**, pp 479-503.

Wetterer, J.K. & Porter, S.D. (2003) The little fire ant, *Wasmannia auropunctata* : distribution, impact, and control. Sociobiology, **42**, pp 1-41.

Yakir, D. & Israeli, Y. (1995) Reduced solar irradiance effects on net primary productivity (NPP) and the $\delta^{13}C$ and $\delta^{18}O$ values in plantations of *Musa sp.*, *Musaceae*. Geochimica et Cosmochimica, **10**, pp 2149-2151.

ANNEXES

Liste des annexes

Annexe A : Localisation des parcelles d'étude…….36

Annexe B : Détails de la SMRI (Spectrométrie de Masse des Rapports Isotopiques)…….38

Annexe C : Illustrations de quelques adventices des bananeraies……...…….39

Annexe D : Illustrations de quelques taxa des bananeraies……..……42

Annexe E : Détails des GLM concernant les abondances des charançons et des fourmis…....44

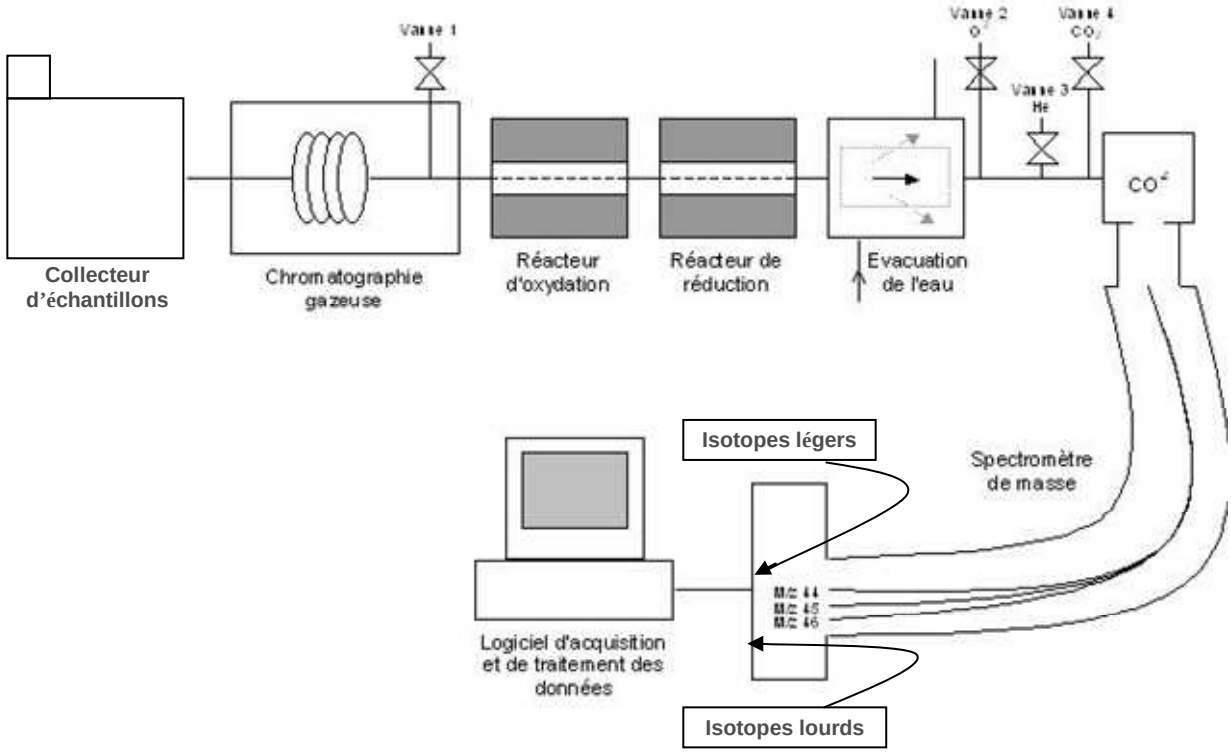
Rapport-Gratuit.com

Annexe A : Localisation des parcelles d'étude.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Annexe A : Localisation des parcelles d’étude.

Annexe B : Détails de la SMRI (Spectrométrie de Masse des Rapports Isotopiques).



Annexe C : Illustrations de quelques adventices des bananeraies.

Mikania micrantha (Asteraceae)

Vernonia cinerea (Asteraceae)

Begonia hurtella (Begoniaceae)

Drymaria cordata (Caryophyllaceae)

Commelina diffusa (Commelinaceae)

Cyperus rotundus (Cyperaceae)

Kyllinga sp.(Cyperaceae)

Scleria sp. (Cyperaceae)

Phyllanthus sp. (Euphorbiaceae)

Clidemia hirta (Melastomataceae)

Oxalis barrelieri (Oxalidaceae)

Peperomia pellucida (Piperaceae)

Report Gratuit

Eleusine indica (Poaceae)

Nephrolepis biserrata (Polypodiaceae)

Phenax vulgaris (Urticaceae)

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Annexe D : Illustrations de quelques taxa des bananeraies.

Nom commun	Famille	Genre espèce	Illustration	Régime alimentaire
Carabe	*Carabidae*	*Chlaenius sp.*		Prédateur
Carabe	*Carabidae*	*Galerita tristis*		Prédateur
Lampyre	*Lampyridae*	-		Prédateur Neutre
Staphylin	*Staphylinidae*	-		Prédateur
Araignée	*Lycosidae*	?		Prédateur
Scolopendre	*Scolopendromorpha*	-		Prédateur
Grenouille	*Leptodactylidae*	*Eleutherodactylus jonhstonei*		Prédateur
Lézard	*Gymnophtamidae*	*Gymnophtalmus pleei*		Prédateur

Perce oreilles	*Carcinophoridae*	*Euborellia caraibea*		Prédateur
-	*Formicidae*	*Odontomachus bauri*		Prédateur / Omnivore
Fourmis de feu tropicale	*Formicidae*	*Solonenopsis geminata*		Prédateur / Omnivore
Petite fourmis de feu	*Formicidae*	*Wasmannia auropunctata*		Prédateur / Omnivore
Iule	*Rhinocricidae*	-		Détritivore
Mille pattes	*Paradoxosomatidae*	-		Détritivore
-	*Micropezidae*	-		Détritivore
Cloporte	-	-		Détritivore
Blatte	*Blattidae*	*Periplaneta americana*		Saprophage
Hanneton	*Scarabaeidae*	*Phyllophaga pleei*		Phytophage
Punaise	*Cydnidae*	-		Phytophage

Annexe E : Détails des GLM concernant les abondances des charançons et des fourmis.

GLM (Abondance charançons)

	ddl	Déviance expliquée	ddl	Déviance résiduelle	F	
Null			143	2574,46		
Parcelle	8	1618,74	135	955,72	32,9896	p<0,0001
Semaine	1	171,1	134	784,62	27,8957	p<0,0001
Parcelle:Semaine	8	43,2	126	741,42	0,8804	p=0,535

GLM (Abondance fourmis)

	ddl	Déviance expliquée	ddl	Déviance résiduelle	F	
Null			35	2926,64		
Parcelle	8	2308,93	27	617,71	11,977	p<0,0001