

REPUBLIQUE DE COTE- D'IVOIRE

Union-Discipline-Travail

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR



Année Universitaire 2003-2004



N° d'ordre : 399

THESE

Présentée à l'UFR Biosciences pour obtenir le titre de :

DOCTEUR DE L'UNIVERSITE DE COCODY
(Spécialité: Entomologie Agricole)

Par :

AKPESSE AKPA ALEXANDRE MOÏSE

THEME :

**IMPACT DES TERMITES SUR LES CULTURES VIVRIERES (RIZ, MAÏS)
EN ZONE SOUDANIENNE (BOORO-BOROTOU, CÔTE-D'IVOIRE) :
ETUDE EXPERIMENTALE DE TRAITEMENTS
AU REGENT ET AU PROCIBAM 480**

Soutenu le 22 avril 2004, devant la commission d'examen :

MM. N.J. KOUASSI	Professeur	Université de Cocody	<i>Président</i>
K. FOUA-BI	Professeur	Université de Cocody	<i>Examineur</i>
M. BEKON	Maître de Conférences	INH-PB de Yamoussoukro	<i>Examineur</i>
Y. TANO	Maître de Conférences	Université de Cocody	<i>Directeur de Thèse</i>
K.Ph. KOUASSI	Maître de Conférences	Université de Cocody	<i>Examineur</i>

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé dans le cadre du Projet Campus- Termites (n° 94 342 124- Côte d'Ivoire). Je tiens donc à exprimer mes remerciements au Ministère Français des Affaires Etrangères et aux partenaires de ce projet, l'Université Pierre et Marie Curie d'une part, et l'Université de Cocody d'autre part, qui ont permis la réalisation matérielle de ce travail.

Je voudrais exprimer toute ma reconnaissance au Docteur Michel LEPAGE, Directeur de Recherches au CNRS, en poste à l'IRD de Ouagadougou, Co-responsable du Projet Campus-Termites qui a apporté son expertise et sa grande connaissance des Sciences écologiques à ce mémoire, c'est grâce à lui que cette «thèse» voit le jour aujourd'hui.

Monsieur KOUASSI N'guessan Joel, Directeur du Laboratoire d'Hydrobiologie et du CRO (Centre de Recherches Océanologiques) a accepté de présider le jury de cette thèse, malgré ses nombreuses occupations. Je n'oublierai pas tous les encouragements qu'il a prodigués à mon égard. Qu'il en soit remercié.

Je tiens également à témoigner ma plus vive reconnaissance à mon encadreur, le Professeur TANO Yao, Maître de Conférences à l'UFR Biosciences, Doyen honoraire et Directeur du laboratoire de Zoologie - Biologie Animale qui a accepté de m'initier à la recherche dès le DEA, qui a suivi ce travail dès le départ et qui n'a jamais cessé de m'apporter son soutien moral et matériel pour la réalisation de cette thèse, malgré ses nombreuses occupations.

Je remercie le Professeur FOUA-BI Kouahou, Professeur et ex-Directeur du Laboratoire de Zoologie-Biologie Animale, pour ses précieux conseils et sa grande sollicitude. Encore une fois, je voudrais lui témoigner toute ma gratitude.

Le Professeur KOUASSI Kouassi Philippe, Maître de Conférences à l'UFR Biosciences qui m'a donné le goût du travail avec bonne humeur et n'a cessé de m'apporter son expertise, même lorsqu'il était souffrant, Je le remercie infiniment pour cette contribution.

Je remercie Monsieur le Professeur SERI Bialli et Madame, tous deux enseignants à l'UFR Biosciences pour leurs conseils et leur soutien indéfectible.

Que Monsieur MASSE Dominique, Docteur –Ingénieur agronome à l'IRD de Ouagadougou, trouve ici l'expression de mes sincères remerciements pour m'avoir apporté son expérience lors des analyses statistiques.

Il m'est particulièrement agréable d'exprimer ma profonde reconnaissance au Professeur N'DOUBA Valentin, Maître de Conférences et Doyen de l'UFR Biosciences, pour ses nombreux conseils, et pour tout le soutien moral et matériel qu'il n'a cessé de m'apporter durant mon cursus universitaire.

Je remercie également le Professeur N'GORAN Kouakou Eliezer, Ex- Directeur du laboratoire de Zoologie-Biologie Animale de l'UFR Biosciences pour ses nombreux conseils, et pour tous les encouragements qu'il n'a cessé de me prodiguer lors de nos rencontres.

Mes remerciements vont à Mesdames D'ALMEIDA Marie-Anne et TAHIRI Annick, et à Monsieur YAPI Ahoua tous trois Maître-Assistants à l'UFR-Biosciences pour leurs aides

précieuses sur le terrain et au laboratoire. Qu'ils sachent aujourd'hui qu'ils ont un disciple prêt à les servir.

Messieurs GOMEZ Marcellin, KOUA Kouakou Hervé, TOKRO Gouale Patrice, KADJO Blaise, OUATTARA Souleymane, YAO KOKORE Béhibro, GOORE-BI Gouli, KOUAMELAN Essetchi, KONE Tidiani, KONATE Souleymane et TONDOH Jérôme, enseignants à l'UFR Biosciences et à l'Université d'Abobo-Adjamé pour leur soutien moral et matériel.

Que Messieurs EGNANKOU Wadja Mathieu et KOUAME Koffi Gabouet, Enseignants à l'UFR-Biosciences et mes « tuteurs » au sein de l'ONG SOS-Forêts trouvent ici l'expression de ma gratitude.

Je voudrais exprimer ma reconnaissance et ma sympathie au personnel du décanat de l'UFR-Biosciences, en particulier à Mesdames DIOMBAKOI Rosalie et BOGUIE Delphine mes « mamans » et messieurs HIE Martin, KOUAKOU N'dri et KOUADIO Marc qui n'ont cessé de m'encourager lors des durs moments.

Monsieur OULLA Passari du laboratoire de cartographie de l'IRD Ouagadougou a réalisé les planches et la carte du milieu d'étude. Qu'il trouve ici l'expression de ma gratitude.

Je tiens à exprimer une reconnaissance méritée à Monsieur VODOUNNON Samuel, Ingénieur Agronome au Ministère de l'Agriculture du Bénin pour son expertise et son expérience de terrain.

Un grand merci à la population de Booro-Borotou et au personnel du laboratoire de l'IRD de Ouagadougou pour m'avoir accepté en leur sein.

Je voudrais exprimer ma reconnaissance et mon amitié à « mon frère » BOGA Jean Pierre pour avoir mis à ma disposition certains résultats de terrain.

Une pensée particulière pour mes amis, aînés, frères de promotion et de « combats », MOKOSSESSE Jean Alain, YEBOUET Lucie, AYE Muriel, AKA Maryse, ACAPOVI Geneviève, BETSI Alain, OUALI Mauricette, ABOUA Louis-Roy et KASSE Benoît.

Je tiens à remercier Messieurs-, ASSI Evariste, AHON Dibie Bernard, TRA-BI Crolaud ; ADJA Nahoulé Armand pour leurs aides inestimables pour le travail au laboratoire.

Chaleureux remerciements pour mesdemoiselles JOHNSON Félicia et TRAORE Aïssatou.

Enfin, je ne peux terminer ces remerciements sans exprimer toute ma reconnaissance aux membres de ma famille qui m'ont soutenu matériellement et moralement lors de la réalisation de cette thèse et sans lesquels je n'aurais pu arriver au terme de cette tâche.

La liste de tous ceux qui m'ont soutenu est longue, qu'ils trouvent tous ici l'expression de ma profonde reconnaissance.

DEDICACE

Je dédie cette thèse à :

A mon défunt père qui n'a pas eu la chance de voir son poulain terminer ses études. Je reste attaché au souvenir immortel de son amour et de ses qualités morales.

A ma mère pour ses sacrifices nombreux et sa protection. Qu'elle sache que son fils lui rendra hommage jusqu'à son dernier jour sur terre.

A mes frères (Yves, Augustin, Guillaume) et sœurs (Antoinette, Flora, Nadine, Elise et Georgette), ainsi qu'à tous mes proches parents pour leurs apports divers et inestimables.

A ma compagne, Mlle CADIRY Natacha Zenab, pour son amour et ses encouragements qui ont été déterminants à la conduite et l'achèvement de ce travail. Je suis heureux de pouvoir lui consacrer l'affection et l'attention qu'elle mérite.

A mon beau-frère, Monsieur KOUROUMA Amadou et ses enfants à Ouagadougou pour tout le soutien qu'ils ont témoigné à mon égard lors de mon séjour au Burkina-Faso.

SOMMAIRE

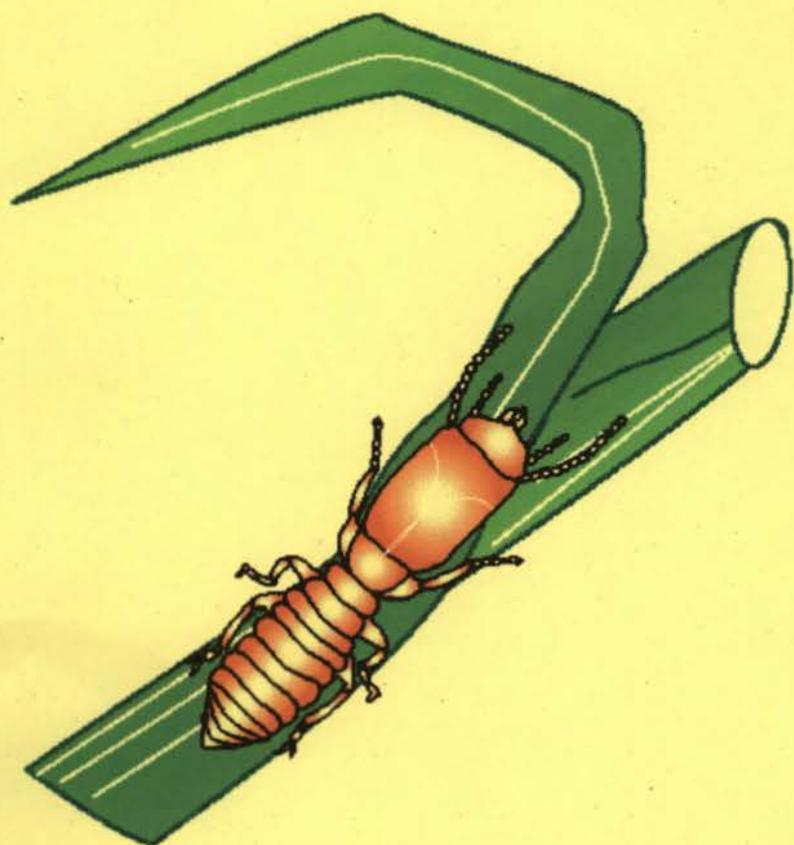
	Pages
Liste des abréviations et sigles	i
Liste des figures	ii
Liste des tableaux	vi
Introduction	1
Chapitre I : GENERALITES	
1.1. Revue bibliographique :	4
1.1.1. Les ravageurs du riz et du maïs	4
1.1.1.1. Les Insectes	4
1.1.1.2. Les autres ravageurs	6
1.1.2. Impact des termites sur les cultures	7
1.1.2.1. Ethologie des termites	7
1.1.2.2. Biologie des principaux groupes trophiques de termites	8
1.1.2.3. Les attaques des termites	10
1.1.3. Lutte contre les termites	13
1.1.3.1. Lutte chimique	13
1.1.3.2. Méthodes culturelles	14
1.1.3.3. Lutte biologique	15
1.1.3.4. Procédés mécaniques	15
1.1.3.5. Lutte intégrée	16
1.2. Zone d'étude :	17
1.2.1. Localisation	17
1.2.2. Le climat	17
1.2.2.1. La pluviométrie	17
1.2.2.2. Les températures	19
1.2.3. Les sols	19
1.2.4. La végétation	21
Chapitre II : Matériel et méthodes	24
2.1. Le matériel biologique	24
2.1.1 Les plantes utilisées	24
2.1.2 Les espèces de termites	27
2.2. Les méthodes	29
2.2.1. Mise en place de la parcelle d'étude	29
2.2.2. Les différents traitements	31
2.2.3. Echantillonnage de la faune du sol	33
2.2.4. Evaluation des dégâts	36
2.2.4.1. Evaluation des dégâts au niveau du riz	36
2.2.4.2. Evaluation des dégâts au niveau du maïs	36

2.2.4.3. Appâts alimentaires	37
2.2.4.4. Impact des termites dans les plantations villageoises	37
2.2.4.5. Tests de substances	39
2.2.5. Quantification des biomasses et production de grains	40
2.2.6. Tests statistiques	41

Chapitre III : RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. Abondance des termites et attaques dans les cultures	42
3.1.1. Les espèces et les groupes trophiques	42
3.1.1.1. Abondance des termites en milieu naturel	42
3.1.1.1.1. Abondance le long du transect	42
3.1.1.1.2. En savane arbustive environnante par carré de fouille	42
3.1.1.1.3. Abondance des meules des termites champignonnistes	42
3.1.1.2. Abondance des termites en milieu de cultures	45
3.1.1.2.1. Densités des termites	45
3.1.1.2.2. Densités des espèces et des groupes trophiques	48
3.1.1.2.3. Diversité des termites en milieu de cultures	55
3.1.1.2.4. Influence des traitements sur les taux de présence des termites	57
3.1.1.2.5. Répartition en profondeur des populations de termites	61
3.1.2. Les attaques des espèces de termites ravageurs sur les plants	65
3.1.2.1. Activité de récolte sur appâts enterrés	65
3.1.2.2. Modalités des attaques sur les plants et préférences alimentaires	68
3.1.2.2.1. Modalités des attaques des différentes espèces de termites	68
3.1.2.2.2. Préférences alimentaires	71
3.1.2.2.3. Survie des termites sur les différents substrats	71
3.1.3. Suivi et évaluation des attaques sur les plants	76
3.1.3.1. Les attaques au niveau des pieds de maïs	76
3.1.3.1.1. Evaluation globale des attaques sur les plants	76
3.1.3.1.2. Evaluation des attaques des racines et des tiges de maïs par les genres de termites sur les différents traitements	77
3.1.3.1.3. Mortalité des pieds et suivi au cours du temps	79
3.1.3.2. Les attaques au niveau des pieds de riz	82
3.1.3.3. Les attaques dans les parcelles paysannes	82
3.3.3.1.1. Parcelles paysannes de riz	84
3.3.3.1.2. Parcelles paysannes de maïs	85
3.1.4. Etude de l'effet des insecticides sur les populations de termites	85
3.1.4.1. Efficacité des produits sur <i>Ancistrotermes cavithorax</i>	90
3.1.4.2. Efficacité des produits sur <i>Macrotermes subhyalinus</i>	91
3.1.5. Discussion	93
3.1.5.1. Les abondances des termites	93
3.1.5.1.1. Dans le milieu naturel	93
3.1.5.1.2. Dans les parcelles expérimentales	95

3.2.7.1. Action des traitements sur les parties non consommables des plants	131
3.2.7.2. Action des traitements sur les rendements en grains	132
Conclusion	137
Perspectives	139
Recommandations	140
Références bibliographiques	141
Annexes	161
Publications	



Liste des abréviations et sigles

ABREVIATIONS ET SIGLES

ACP : Analyse en Composantes Principales

ACP : Analyse des Correspondances Multiples

DL50 : Dose létale moyenne (en mg m.a.l⁻¹) provoquant 50% de morts

DL95 : Dose létale moyenne (en mg m.a.l⁻¹) provoquant 95% de morts

HYPERBAV : Programme d'**H**ydro-**P**édologie de **R**echerche sur **B**assin **V**ersant

IRD : Institut de **R**echerche et de **D**eveloppement

Ish : Indice de diversité de Shannon

J.A.S : **J**our **A**près **S**emis

n : nombre d'espèce

NT : **N**on **T**raitée (parcelle)

ORSTOM : Institut Français de Recherche pour le développement en coopération

P : Probabilité

PAIL : Paillage

PRO : Procibam ® 480

REG A : Régent ® A

REG B : Régent ® B

REG C : Régent ® C

T : **T**raitée (parcelle)

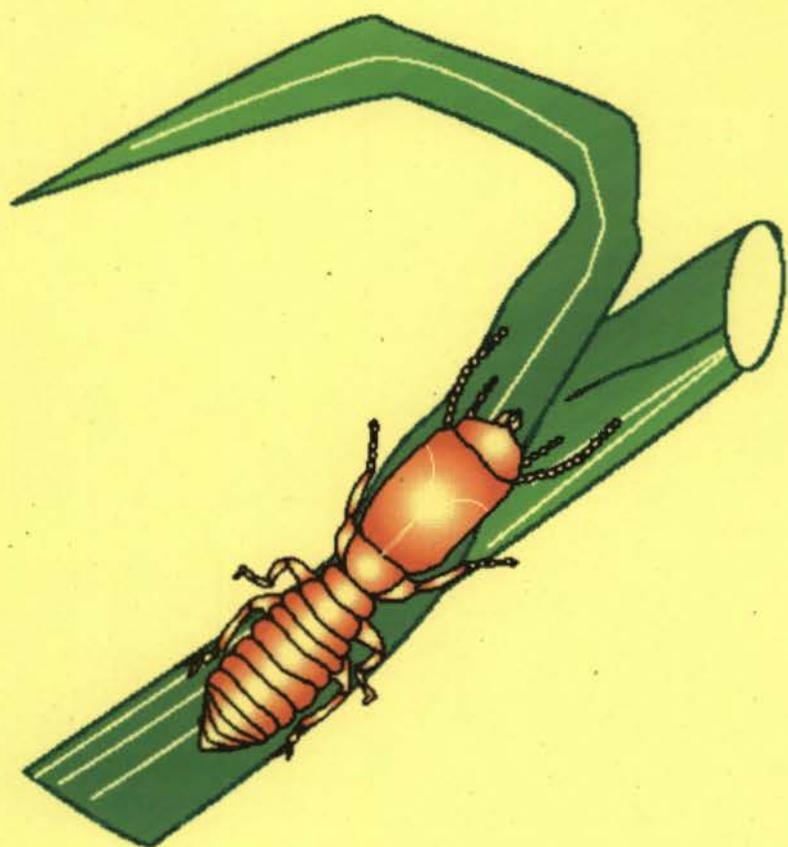
T0: **T**raitée uniquement en 1998 (parcelle)

T1: non **T**raitée en 1999 (parcelle)

T2: **T**raitée en 1998 et en 1999 (parcelle)

TEM : Témoin

TL50 : temps léthal moyen (jours) pour lequel, on observe 50% de morts.



Liste des figures et des tableaux

LISTE DES FIGURES	Pages
Figure 1 : Carte de la végétation de la Côte d'Ivoire.....	18
Figure 2 a : Courbe ombrothermique de l'année 1998 à Touba.....	22
Figure 2 b : Courbe ombrothermique de l'année 1999 à Touba	22
Figure 2 c : Courbe ombrothermique de l'année 2000 à Touba	22
Figure 3 a : Vue générale de la parcelle de riz.....	25
Figure 3 b : Vue générale de la parcelle de maïs.....	25
Figure 4 : Différents genres de termites ravageurs rencontrés sur les parcelles expérimentales de Booro-Borotou.....	28
Figure 5 a : Détail du dispositif expérimental mis en place en 1 ^{ère} année.....	30
Figure 5 b : Détail du dispositif expérimental utilisé à partir de la 2 ^e année.....	32
Figure 6 : Abondance relative des genres de termites rencontrés selon la toposéquence.....	43
Figure 7 : Meules de différentes espèces de termites champignonnistes récoltées autour de la parcelle.....	46
Figure 8 : Taux de présence de l'ensemble des termites et des termites déprédateurs dans les parcelles T0 de riz en 1998 à (N = 21) (Probabilité de l'ensemble des termites > 0,05 ; Probabilité des déprédateurs > 0,05).....	58
Figure 9 : Taux de présence de l'ensemble des termites et des termites déprédateurs dans les parcelles T1 de riz en 1999 (N= 21) (Probabilité de l'ensemble des termites > 0,05 ; Probabilité des déprédateurs > 0,05).....	58
Figure 10 : Taux de présence de l'ensemble des termites et des termites déprédateurs dans les parcelles de riz en 1999 (N= 21) (Probabilité de l'ensemble des termites > 0,05 ; Probabilité des déprédateurs > 0,05).....	59
Figure 11 : Taux de présence de l'ensemble des termites et des termites déprédateurs dans les parcelles T1 de riz en 2000 (N= 21) (Probabilité de l'ensemble des termites > 0,05 ; Probabilité des déprédateurs > 0,05).....	59

Figure 12 : Taux de présence de l'ensemble des termites et des termites déprédateurs dans les parcelles T2 de riz en 2000 (N= 21) (Probabilité de l'ensemble des termites > 0,05 ; Probabilité des déprédateurs > 0,05).....	60
Figure 13 : Taux de présence de l'ensemble des termites et des termites déprédateurs dans les parcelles T0 de maïs en 1998 (N =100) (Probabilité de l'ensemble des termites < 0,001 ; Probabilité des déprédateurs < 0,001).....	
Figure 14 : Taux de présence de l'ensemble des termites et des termites déprédateurs dans les parcelles T1 de maïs en 1999 (N = 100) (Probabilité de l'ensemble des termites < 0,001 ; Probabilité des déprédateurs < 0,001).....	62
Figure 15 : Taux de présence de l'ensemble des termites et des termites déprédateurs dans les parcelles T2 de maïs en 1999 (N = 100) (Probabilité de l'ensemble des termites < 0,001 ; Probabilité des déprédateurs < 0,001).....	62
Figure 16 : Taux de présence de l'ensemble des termites et des termites déprédateurs dans les parcelles T1 de maïs en 2000 (N = 100) (Probabilité de l'ensemble des termites < 0,001 ; Probabilité des déprédateurs < 0,001).....	63
Figure 17 : Taux de présence de l'ensemble des termites et des termites déprédateurs dans les parcelles T1 de maïs en 2000 (N = 100) (Probabilité de l'ensemble des termites < 0,001 ; Probabilité des déprédateurs < 0,001).....	63
Figure 18 : Modalités d'attaques des plants de maïs par différentes espèces de termites	70
Figure 19 : Activité de récolte des ouvriers d' <i>Ancistrotermes cavithorax</i> sur les différentes parties du plant de maïs (N = 9).....	72
Figure 20 : Activité de récolte des ouvriers de <i>Macrotermes subhyalinus</i> sur les différentes parties du plant de maïs (N = 9).....	72
Figure 21 : Activité de récolte des ouvriers d' <i>Ancistrotermes cavithorax</i> sur les différentes parties du plant de riz (N = 9).....	73

Figure 22 : Activité de récolte des ouvriers de <i>Macrotermes subhyalinus</i> sur les différentes parties du plant de riz (N = 9).....	73
Figure 23 : Survie des ouvriers d' <i>Ancistrotermes cavithorax</i> en fonction des substrats de maïs (N = 6).....	74
Figure 24 : Survie des ouvriers de <i>Macrotermes subhyalinus</i> . en fonction des substrats de maïs (N = 6).....	74
Figure 25 : Survie des ouvriers d' <i>Ancistrotermes cavithorax</i> en fonction des substrats de riz (N = 6).....	75
Figure 26 : Survie des ouvriers de <i>Macrotermes subhyalinus</i> en fonction des substrats de riz (N = 6).....	75
Figure 27 : Analyse des correspondances multiples des relations entre les abondances, les attaques et les espèces présentes sur les parcelles paysannes de riz à Booro-Borotou (N = 1000).....	86
Figure 28 : Représentation sphérique des variables normalisées des 10 parcelles paysannes de riz prospectées à Booro-Borotou (N = 1000).....	87
Figure 29 : Analyse des correspondances multiples des relations entre les abondances, les attaques et les espèces présentes sur les parcelles paysannes de maïs à Booro-Borotou (N = 2000).....	88
Figure 30 : Représentation sphérique des variables normalisées des 20 parcelles paysannes de maïs prospectées à Booro-Borotou (N = 2000).....	89
Figure 31 : Analyse en composantes principales des corrélations entre les attaques et les composantes du rendement selon les axes F1 et F2, sur les parcelles de riz.....	128
Figure 32 : Analyse en composantes principales des variables traitements, des variables état phytosanitaire et des variables années d'expérimentation par rapport aux axes F1 et F2 au niveau de la culture de riz.....	128
Figure 33 : Analyse en composantes principales des corrélations entre les attaques et les composantes du rendement selon les axes F1 et F2, sur les parcelles de maïs.....	130

Figure 34 : Analyse en composantes principales des variables traitements, des variables état phytosanitaire et des variables années d'expérimentation par rapport aux axes F1 et F2 au niveau de la culture de maïs.....	130
Figure 35 : Mécanismes de régulation du rendement de maïs (source ANONYME, 2002).....	136

LISTE DES TABLEAUX

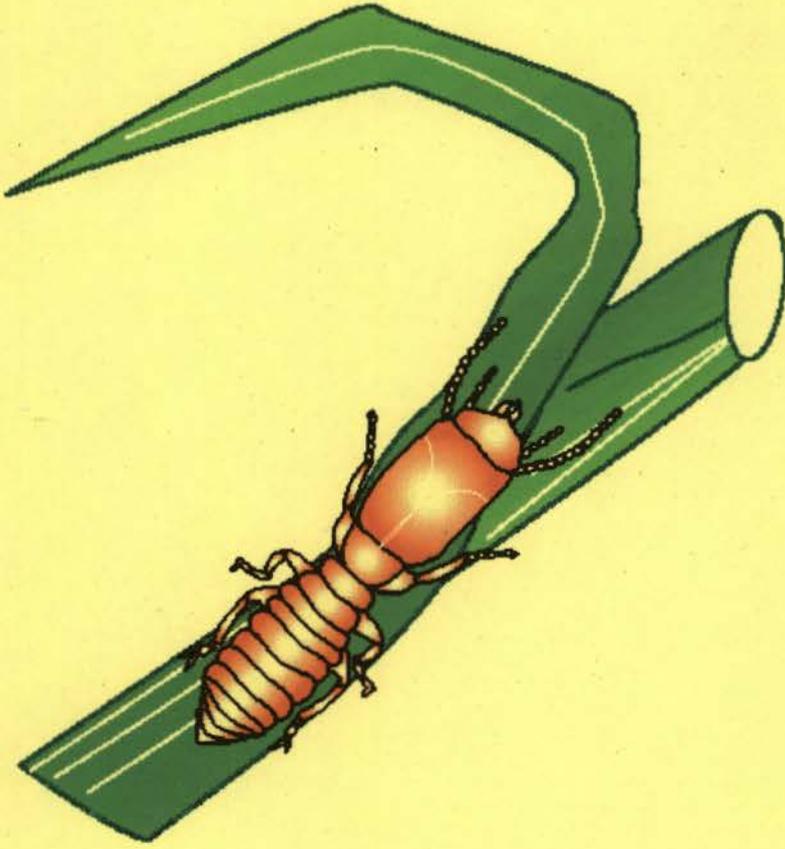
Pages

Tableau I : Répartition des pluies annuelles pendant la phase de croissance des plants de riz et de maïs	20
Tableau II : Analyse des sols témoins des parcelles avant la mise en culture du maïs et du riz (d'après BOGA, 1999).....	23
Tableau III : Calendrier d'échantillonnage de la faune du sol à Booro-Borotou durant les trois années d'expérimentation.....	35
Tableau IV : Effectifs et biomasses des unités taxonomiques et espèces de termites en savane (nombres par m ² , biomasses en g de poids sec/m ²) (N = 15).....	44
Tableau V : Densités et biomasses des meules des termites champignonnistes (N = 15).....	47
Tableau VI : Corrélations entre les meules de Macrotermitinae et les populations de termites autour de la parcelle expérimentale (N = 15).....	47
Tableau VII : Densité des termites sur les parcelles plantées en maïs durant les campagnes 1998 (N = 9), 1999 (N = 3) et 2000 (N = 3)	49
Tableau VIII: Densité des termites sur les parcelles plantées en riz durant les campagnes (N = 9), 1999 (N = 3) et 2000 (N = 3)	49
Tableau IX a : Densité (individus/m ²) des termites sur les parcelles plantées en maïs durant les campagnes 1998 (N = 9), 1999 (N =3) et 2000 (N =3)	51
Tableau IX b : Biomasses (g/m ²) des termites sur les parcelles plantées en maïs durant les campagnes 1998 (N = 9), 1999 (N = 3) et 2000 (N = 3)	52
Tableau X a : Densité (individus/m ²) des termites sur les parcelles plantées en riz durant les campagnes 1998 (N = 9), 1999 (N = 3) et 2000 (N = 3)	53

Tableau X b : Biomasses (g/m ²) des termites sur les parcelles plantées en riz durant les campagnes 1998 (N = 9), 1999 (N = 3) et 2000 (N = 3)	54
Tableau XI : Diversité des peuplements de la faune termitique des parcelles T1 et T2 de maïs 1998 (N = 9), 1999 (N = 3) et 2000 (N = 3).....	56
Tableau XII : Diversité des peuplements de la faune termitique des parcelles T1 et T2 de riz 1998 (N = 9), 1999 (N = 3) et 2000 (N = 3).....	56
Tableau XIII : Répartition en profondeur des populations de termites (pourcentages du nombre d'individus/m ²) sur les parcelles plantées en riz durant les campagnes 1998 (N = 9), 1999 (N = 3) et 2000 (N = 3)	66
Tableau XIV: Répartition en profondeur des populations de termites (pourcentages du nombre d'individus/m ²) sur les parcelles plantées en riz durant les campagnes 1998 (N = 9), 1999 (N = 3) et 2000 (N = 3)	67
Tableau XV : Consommation journalière de bois (g) par les termites sur les parcelles plantées en riz et en maïs en 2000 (N =36).....	69
Tableau XVI : Evaluation des attaques des termites sur la culture de maïs durant les trois années d'expérimentation à (N = 48).....	78
Tableau XVII : Taux d'attaque (%) des différentes espèces de termites sur les racines parcelles plantées en maïs durant les campagnes 98 (N = 100), 1999 (N = 36) et 2000 (N = 36).....	78
Tableau XVIII : Taux d'attaque (%) des différentes espèces de termites sur les tiges parcelles plantées en maïs durant les campagnes 1998 (N = 100), 1999 (N = 36) et 2000 (N = 36).....	80
Tableau XIX : Evaluation des pertes en pieds occasionnées par les termites sur la culture de maïs durant les trois années d'expérimentation (N = 48).....	81
Tableau XX : Evaluation des attaques des termites sur la culture de riz durant les trois années d'expérimentation (N = 48).....	81

Tableau XXI : TL 50 (en jours), DL50 (en mg m.a./l) estimés par l'analyse probit « XL STAT, (6.0, ADDINSOFT) » des ouvriers de 2 espèces de termites en présence de différentes concentrations d'insecticides	92
Tableau XXII : Quantités de pluies tombées sur la parcelle expérimentale pendant les différentes phases phénologiques de la culture de riz.....	105
Tableau XXIII : Quantités de pluies tombées sur la parcelle expérimentale pendant les différentes phases phénologiques de la culture maïs.....	105
Tableau XXIV : Biomasse racinaire de riz sur les différentes parcelles traitées durant les trois années d'expérimentation	109
Tableau XXV : Biomasse aérienne non consommable de riz sur les différentes parcelles traitées durant les trois années d'expérimentation	109
Tableau XXVI : Biomasse totale non consommable du riz sur les différentes parcelles traitées durant les trois années d'expérimentation	109
Tableau XXVII : Biomasse racinaire de maïs sur les différentes parcelles traitées durant les trois années d'expérimentation	112
Tableau XXVIII : Biomasse épigée non consommable de maïs sur les différentes parcelles traitées durant les trois années d'expérimentation	112
Tableau XXIX : Biomasse totale non consommable du maïs sur les différentes parcelles traitées durant les trois années d'expérimentation	112
Tableau XXX : Rendement du riz (grains) sur les différentes parcelles traitées durant les trois années d'expérimentation	115
Tableau XXXI : Rendement du maïs (grains) sur les différentes parcelles traitées durant les trois années d'expérimentation	115
Tableau XXXII : Poids moyen des grains (en kg) produit par un pied moyen de maïs (N =9)	118
Tableau XXXIII : Rapport de la biomasse des parties épigées sur les parties hypogées en culture de riz (N = 9)	119

Tableau XXXIV : Rapport de la biomasse des parties épigées sur les parties hypogées de la culture de maïs (N =9)	119
Tableau XXXV : Rapport de la production de grains sur la biomasse épigée en culture de riz (N = 9)	121
Tableau XXXVI : Rapport de la production des grains sur la biomasse épigée en culture de maïs (N =9)	121
Tableau XXXVII : Equation de la droite de régression et coefficient de corrélation entre les attaques et le rapport de biomasse des parties épigées sur celles des parties hypogées au niveau des parcelles non traitées (T1) en 1999 de la culture de riz (N =9)	123
Tableau XXXVIII : Equation de la droite de régression et coefficient de corrélation entre les attaques et le rapport de biomasse des parties épigées sur celles des parties hypogées au niveau des parcelles traitées (T2) en 1999 de la culture de riz (N =9)	123
Tableau XXXIX : Equation de la droite de régression et coefficient de corrélation entre les attaques et le rapport de biomasse des parties épigées sur celles des parties hypogées au niveau des parcelles non traitées (T1) en 1999 de la culture de maïs (N =9)	125
Tableau XL : Equation de la droite de régression et coefficient de corrélation entre les attaques et la rapport de biomasse des parties épigées sur celles des parties hypogées au niveau des parcelles traitées (T2) en 1999 de la culture de maïs (N =9)	125
Tableau XLI : Equation de la droite de régression et coefficient de corrélation entre les attaques (%) et le poids des grains produits par un pied de maïs (kg/ha) au niveau des parcelles non traitées (T1) en 1999 (N =9)	125
Tableau XLII : Equation de la droite de régression et coefficient de corrélation entre les attaques (%) et le poids des grains produit par un pied de maïs (kg/ha) au niveau des parcelles traitées (T2) en 1999 (N =9)	125



Introduction

Les produits céréaliers comme le riz et le maïs constituent les aliments de base des populations des pays en voie de développement (SERE, 1990). En dépit de nombreux efforts d'information, d'éducation, de communication et de sensibilisation au niveau régional et national, la production de ces denrées ne couvre que la moitié des besoins alimentaires en Côte-d'Ivoire (ANONYME, 1992). Cette pénurie de produits alimentaires résulte en grande partie des bas niveaux de rendements généralement obtenus. Ces rendements insuffisants sont imputables à de nombreuses causes, résultant de facteurs abiotiques (climats, sols) et de facteurs biotiques tels que les ennemis des cultures (BRENIERE, 1983 ; FOUA-BI, 1989 ; SERE, 1990 ; CISSE, 1991).

Parmi les ravageurs des cultures, les termites qui s'attaquent aux plantes cultivées causent d'importants dégâts et d'énormes pertes aux récoltes. Environ 10 % des espèces de termites sont considérés comme nuisibles (WOOD, 1976). Le riz et le maïs sont des cibles

privilegiées pour ces termites déprédateurs, en Afrique de l'Ouest et en Afrique Centrale (SANDS, 1973 ; JOHNSON *et al.*, 1981 ; COLLINS, 1984).

Malgré les nombreuses méthodes de lutte utilisées en Afrique, on constate que les dégâts persistent toujours et que les pertes de récoltes s'amplifient chaque année. Cette situation résulte du fait qu'aucune méthode de protection phytosanitaire satisfaisante ne permet jusqu'à présent de restreindre ce problème, afin de réduire les dégâts de manière appréciable et leur impact sur l'économie.

La lutte chimique a été principalement utilisée contre ces termites ravageurs (HARRIS, 1969 ; WOOD et PEARCE, 1991), mais avec des produits qui se sont révélés dangereux pour l'environnement, surtout des organo-chlorides (aldrine, dieldrine) dont l'utilisation a été réglementée et même interdite pour certains produits (WOOD et PEARCE, 1991). De nouvelles substances ont été testées, tels les organo-phosphorés ou, plus récemment, le Fipronil (BOBE, 1998).

La question se pose alors de contribuer plus efficacement à la réduction des dégâts causés par les déprédateurs dans les deux cultures de subsistance principales que sont le riz et le maïs, et par conséquent augmenter leurs rendements. Du point de vue économique, il s'agit de réduire la quantité d'intrants agricoles utilisés (engrais et insecticides), compte tenu du

revenu généralement modeste des paysans et de tenter de réduire les conséquences des produits utilisés contre les ravageurs sur la pollution de l'environnement.

La mise au point de méthodes de lutte présentant le minimum de risques pour l'environnement exclut d'office l'utilisation des insecticides déclarés prohibés. Mais très peu d'études complètes et de grande envergure ont été faites en Afrique de l'Ouest et particulièrement en Côte-d'Ivoire, afin de proposer des produits chimiques ou des substances naturelles à la fois efficaces et à impact négatif limité sur l'environnement, afin de lutter contre les termites déprédateurs de riz et de maïs.

Cette étude a été entreprise en savane sub-soudanienne, dans le nord-ouest de la Côte-d'Ivoire, où des parcelles expérimentales ont été mises en place en 1998 et suivies comparativement durant 3 campagnes successives (1998, 1999 et 2000) et au laboratoire de Zoologie –Biologie Animale de L'UFR Biosciences de l'Université de Cocody.

Ce travail s'inscrit dans le cadre du projet CAMPUS Termites : *Rôle des termites sur les productions vivrières de savane : intervention sur la fertilité des sols et impacts sur les cultures*. Projet n° 94 342 124 – Côte-d'Ivoire) (1997-2002) (Ministère des Affaires Etrangères, Direction Générale de la Coopération internationale et du développement) entre l'Université de Cocody en Côte-d'Ivoire et l'Université Pierre-Marie Curie (Paris 6) en France (FOUA-BI *et al.*, 1999).

Ce projet intégré de recherche/formation est consacré au rôle des termites sur les facteurs de la production vivrière céréalière en zone de savane et aux moyens d'une lutte contre ces insectes déprédateurs des cultures. Selon les groupes trophiques, selon les conditions environnementales et l'impact de l'homme, les termites possèdent des effets à la fois positifs et négatifs sur les cultures. Ce projet associe donc ces deux approches à travers trois volets :

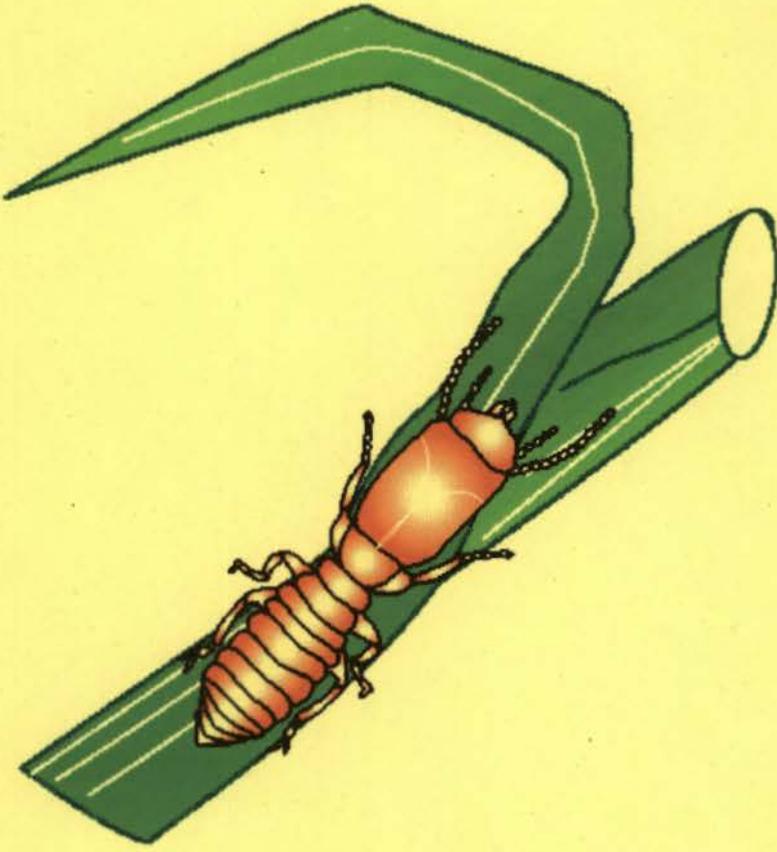
- le rôle des termites sur la dynamique de la matière organique dans des systèmes à faibles intrants, par comparaison avec leur rôle dans des écosystèmes naturels ;
- l'amélioration de la production végétale par la manipulation des termites et notamment l'effet des sols transformés par les termites sur la production vivrière en savane ;
- l'évaluation de l'impact des termites sur les cultures vivrières et la mise au point de méthodes de lutte contre les espèces nuisibles.

Cette recherche s'inscrit dans la perspective d'une agriculture durable qui repose sur une préservation de la fertilité des sols et une meilleure gestion de la production vivrière à court, moyen et longs termes en fonction du niveau de production atteint par les utilisateurs (paysans). Ces objectifs correspondent à la politique menée en Côte d'Ivoire pour assurer l'autosuffisance alimentaire (KOUASSI, 1999).

La présente étude fait partie des travaux réalisés dans le cadre de ce projet Campus. Il fait suite à un travail de DEA (AKPESSÉ, 1999). Il s'agit donc d'un travail complémentaire, effectué en collaboration, notamment avec un autre étudiant du projet, BOGA Jean-Pierre (BOGA, 1999), qui étudie l'effet des sols de termitières sur la production de riz et de maïs dans le même dispositif expérimental.

La démarche de ce travail a consisté, dans un premier temps, à faire une revue bibliographique. Puis nous avons situé le cadre d'étude et exposé les méthodes de travail utilisées dans cette thèse. Nous avons ensuite développé une étude comparative, dans des parcelles au champ, de l'efficacité comparée de divers traitements chimiques, selon leurs effets sur les populations de termites ravageurs et l'impact de ces traitements insecticides sur les rendements des cultures. Nous avons suivi au cours du temps la rémanence des produits utilisés.

Par ailleurs, le comportement des termites a été étudié au laboratoire, selon tout d'abord des tests de préférences alimentaires et ensuite selon des tests de mortalité en présence d'insecticides.



Chapitre I

GENERALITES

1.1. Revue bibliographique

1.1.1. Les ravageurs du riz et du maïs

Dans les pays tropicaux les cultures céréalières sont soumises à des conditions précaires qui ne leur assurent pas une vigueur végétative leur permettant de lutter contre les attaques des déprédateurs (POLLET, 1975; APPERT et DEUSE, 1982). Parmi ces déprédateurs, les termites occupent une place importante.

1.1.1.1. Les Insectes

Beaucoup d'insectes s'attaquent aux céréales et sont, pour la plupart, polyphages. Quelques-uns peuvent se montrer dangereux pour ces cultures. Ces insectes peuvent être regroupés en fonction des dégâts qu'ils occasionnent. On distingue :

* les ravageurs du riz

- *les foreurs de tige* qui agissent sur la plante à l'état jeune, c'est-à-dire au stade de plantule en creusant des trous qui deviennent visibles au fur et à mesure que se déploient les feuilles. Plus tard, un flétrissement, un tallage anormal et le rabougrissement des plantules confirment la présence de ces déprédateurs qui sont des chenilles (MOYAL, 1988 ; N'DABALISHYE, 1995). Seul le limbe est épargné au niveau de la feuille. Les tiges tendres sont parfois attaquées avec la formation de nécroses et de chancres.

- *les phyllophages* quant à eux exercent leurs actions essentiellement aux dépens du système foliaire du riz et du maïs et leurs dégâts au stade plantule peuvent être irréversibles. Dans ce groupe, les Grillidae, les Coccinellidae ainsi que divers Lépidoptères sont à la base de nombreux dégâts; les feuilles échanrées du fait de la prise de nourriture portent le plus souvent des tâches blanchâtres de formes irrégulières ou géométriques selon les espèces (POLLET, 1975).

- *les insectes piqueurs de feuilles et de tiges* sont, soit des Homoptères (pucerons, cicadelles) ou des Hétéroptères (pucerons, coreidae). Ils peuvent avoir différents types d'actions sur les plantes:

-l'injection d'une salive qui est généralement toxique provoquant des perturbations profondes de la physiologie de la plante avec apparition de symptômes nets d'empoisonnement ;

-la perte de substance consécutive à la prise d'alimentation se traduisant par un affaiblissement de la plante qui peut induire un retard dans le développement et un rabougrissement ;

-les piqûres, qui peuvent provoquer - directement ou non

- l'apparition de nombreuses maladies sur les plantes ;

- *les saprophages*, localisés dans le sol, se nourrissent de tissus végétaux nécrosés, de tiges mortes par suite d'attaques d'insectes, de feuilles nécrosées à la base des tiges ainsi que divers débris d'origine animale ou végétale. Ces *saprophages*, dont la biologie est mal connue, jouent un rôle important au cours du processus conduisant à l'humification des débris végétaux (POLLET, 1975) ;

- *les insectes rhizophages* s'attaquent aux racines qu'ils dévorent. Ce sont des Coléoptères, des Diptères, des Homoptères et des Isoptères. Ces insectes causent des dégâts importants aux végétaux, surtout en période de saison sèche. Les dégâts se situent au niveau des racines de jeunes plantes, ce qui entraîne un dépérissement des feuilles de la base, et très souvent une croissance retardée et un rendement fortement réduit. La plante attaquée qui franchit le stade jeune s'affaïssé généralement à maturité et devient la cible (principale) de nombreux termites (Isoptères) qui attaquent les tiges et les feuilles et quelquefois les épis tombés au sol (SANDS, 1973 ; WOOD *et al.*, 1977 a).

*** les ravageurs du maïs**

- *les insectes phytophages* : Les « vers gris » sont les plus nombreux ; ils sont nuisibles à la culture de maïs et les larves sont polyphages. *Agryotis ipsilon* est une des espèces les plus communes.

Les jeunes larves se nourrissent au détriment des feuilles, quant aux adultes, ils coupent au ras du sol le collet des plantules, les sectionnant complètement ou partiellement (ROUANET , 1984).

- *les chenilles défoliatrices* : plusieurs insectes s'attaquent aux feuilles, voire aux fleurs et aux épis. Les plus nombreux sont les *Spodoptera sp* qui sont des noctuelles extrêmement répandues en zone tropicale. Les œufs pondus sur les feuilles et les tiges donnent, naissance à

des chenilles dont l'activité est essentiellement nocturne. Celles-ci s'abritent pendant le jour au pied des plantes.

- *les foreurs de tige* agissent également sur la plante à l'état jeune comme sur la culture de riz. Chez le maïs les pieds se brisent et le collet subit diverses modifications selon les ennemis. Ces attaques de foreurs sont dues à diverses chenilles dont les plus importantes sont *Sesamia calamistis*, *Busseola fusca*. Les jeunes chenilles dévorent les feuilles du cornet puis pénètrent dans la tige dont elles attaquent la substance médullaire. La chenille ménage ensuite à l'extrémité de sa galerie un orifice provisoirement fermé par de la soie, permettant la sortie ultérieure du papillon une fois terminée la phase nymphale du développement de l'insecte.

1.1.1.2. Les autres ravageurs

Les Nématodes

Généralement, l'action des nématodes sur le riz et le maïs ne se traduit pas de manière très visible (POLLET, 1975; CAMARA *et al.*, 1990). Cependant lorsqu'elles sont visibles, leurs effets sont très négligeables sur le riz (ANGLADETTE, 1966).

Les acariens causent de nombreux dégâts au maïs et cela, depuis le stade de plantule jusqu'à la maturation (ORTEGA, 1988). La perforation et la succion du tissu foliaire par ces ravageurs provoquent sur les feuilles inférieures de petites taches peu marquées, d'un jaune pâle, qui sont l'indice de l'attaque.

Les oiseaux

Les oiseaux granivores s'abattent en grand nombre sur les champs de riz et les champs de maïs. Ce sont généralement les tisserins (*Ploceus sp*), les moineaux (*Passer sp*), les mange-mil (*Quelea sp*) dans la zone soudano-guinéenne (ANGLADETTE, 1966 ; POLLET, 1975 ; CAMARA *et al.*, 1990). Les plus fortes attaques ont lieu lors de la période d'ensemencement où les oiseaux ont des actions directes. Les semences enfouies dans le sol sont consommées directement par picotage. A maturité, les oiseaux pincent les grains de riz pour boire le contenu. Pour le maïs à maturité, les oiseaux attaquent les épis secs, en perforant les glumes pour se nourrir des graines.

Les Mammifères

Les rats (*Cricetomys gambianus*, Waterhouse), les Aulacodes (*Thrynomys swinderianus*, Temminck) et les écureuils (*Xerus erythropus*, Desmaret) causent de très fréquents et graves dommages aux cultures de riz et de maïs dans nombre de pays et plus particulièrement dans les régions tropicales. Dans les pépinières, les rats consomment les graines qu'ils déterrent après la levée, les jeunes plants sont coupés à la base et au stade épiaison les panicules sont coupées et consommées. Les singes s'attaquent aux épis de maïs dans les champs.

1.1.2. Impact des termites sur les cultures

1.1.2.1. Ethologie de termites

Le termite est l'animal le plus socialisé qui soit : il ne peut rien accomplir de cohérent sans la stimulation de ses congénères.

Le termite répond aux stimuli auxquels il est temporairement sensible, selon un cycle fait d'états physiologiques, distincts et vraisemblablement d'origine hormonale. Tout au long de son existence, l'individu demeure en liaison sensorielle avec ses congénères.

1.1.2.1. Une société de castes aux fonctions spécialisées

Les termites vivent en sociétés et au sein de cette société, différents groupes, appelés castes, qui se distinguent les uns des autres aussi bien du point de vue anatomique que du point de vue comportemental.

La formation de castes, qui se traduit par une division du travail, est typique de toutes les sociétés de termites.

On distingue la caste des ouvriers, celle des soldats et enfin la couple royale qui fonde la colonie.

Un œuf se transforme en larve, puis, après plusieurs mues, ou stades, devient nymphe, soldat ou ouvrier, selon des critères propres aux termites.

Dotées de bourgeons alaires, les nymphes sont les individus aptes à donner des sexués, ou imagos, qui essaimeront à la saison des pluies. Elles se développent moins pendant la saison sèche. Toutefois, si la colonie, trop grande et dispersée, ne perçoit plus la présence de la reine, des ouvriers (non sexués) se transformeront en néotiques, individus sexués qui peuvent se

reproduire. De même, des ouvriers peuvent acquérir les caractéristiques des soldats, si nécessaire.

- **Les ouvriers** sont aptères, n'ont pas de maturité sexuelle et sont aveugles.

Comme d'autres insectes sociaux, les ouvriers de termites jouent un rôle très important dans la termitière. (Construction et entretien du nid, la recherche de la nourriture, et le fait de nourrir les soldats et le couple royal).

De la récolte à la trophallaxie, c'est-à-dire à l'échange d'aliments entre membres du groupe, en passant à l'élaboration même des aliments, les ouvriers sont les organisateurs de la chaîne de nutrition de la colonie.

- **Les soldats** sont sous la totale dépendance de la société ; sans elle, il ne peut rien et meurt. Chez toutes les espèces de termites, la défense de la colonie est assurée par la caste la plus évoluée qui est celle des soldats. Bien qu'aveugles, ils repèrent leurs adversaires avec précision probablement grâce à la combinaison de plusieurs sens. La stratégie diffère selon les familles de termites.

Certains soldats possèdent une tête cylindrique dure et tronquée à l'avant, qui obture efficacement les galeries du nid, en interdisant l'entrée aux intrus. Leurs mandibules courtes sont inefficaces. Chez la plupart des espèces, les soldats portent des mandibules hypertrophiées, pointues et allongées comme des cisailles. Prévue pour mordre et couper, elle est mue par de puissants muscles.

- **Le couple royal** : la société pour assurer la pérennité de l'espèce, élève une caste, celle des sexués, qui, à l'état adulte, sont les imagos ailés.

Les ailés quittent en groupe le nid natal, s'envolent, se dispersent et forment des couples, dont chacun possède la faculté de fonder une nouvelle société. C'est au début de la saison des pluies qu'a lieu le vol nuptial ; au cours duquel s'effectuent la parade et l'union monogame des sexes qu'on appelle l'essaimage des termites. Le couple ainsi formé, ou « sexués primaires », part à la recherche d'une cavité propice pour fonder une nouvelle colonie et construit une cellule initiale, le copularium, qui abritera la première couvée.

1.1.2.2. Biologie des principaux groupes trophiques de termites

On distingue quatre grands groupes fonctionnels principaux de termites selon leur régime alimentaire.

1.1.2.2.1. Les champignonnistes ou Macrotermitinae

Cette sous-famille regroupe les espèces qui présentent une symbiose extra-digestive avec un champignon supérieur (Basidiomycètes) du genre *Termitomyces* qui est cultivé au sein de leurs nids sur des structures appelées « meules à champignons » (ROULAND-LEFÈVRE, 2000).

D'une part, l'aide du champignon leur est nécessaire pour digérer des substrats complexes du bois, tels que la cellulose, la lignine et les tanins, qui sont difficilement dégradables. D'autre part, le rôle du champignon, par sa respiration, est aussi de concentrer l'azote dans le matériel des meules, que les individus consomment après action du mycélium du champignon (HIGASHI *et al.*, 1992). En effet, l'azote se trouve concentrée suite au départ du carbone.

Les ouvriers de ce groupe trophique consomment de la litière d'origines diverses : bois, feuilles herbes. Ramenés au nid, ces aliments sont ingérés et subissent un premier transit intestinal court. Le termite dépose ensuite les boulettes fécales sur le substrat qui deviendra la meule sur laquelle se développera le champignon (GRASSE, 1982). Cette meule, constituée de matière végétale pré-dégradée et de mycélium fongique, sert alors d'aliment à la colonie.

L'importante dégradation de la végétation par les termites est due à l'étendue de leur mode spécifique de nutrition : la symbiose développée avec un champignon du genre *Termitomyces*. La récolte de l'aliment s'effectue de deux façons :

- *récolte à l'air libre* : elle s'effectue principalement de nuit. Les ouvriers (*Macrotermes* et *Odontotermes*) récoltent en colonne le matériel végétal qui recouvre le sol ; au cours de cette activité de récolte, les ouvriers sont sous la protection des soldats ;

- *récolte à l'abri de galeries et de placages de terre* : certains termites (*Ancistrotermes* et *Microtermes*) construisent des galeries qui leur servent à atteindre la source de nourriture. D'autres espèces recouvrent leur source de nourriture (feuilles, morceaux de bois) de fines lames d'argile. Cette technique de récolte protège les individus de la dessiccation à laquelle ils sont très sensibles et, dans une certaine mesure, de leurs prédateurs.

1.1.2.2.2. Les xylophages

Ces espèces se nourrissent de bois à différents stades de décomposition et sont capables de dégrader la cellulose, l'hémicellulose, ainsi que les composés aromatiques complexes tels que les tanins ou la lignine (EGGLETON *et al.*, 1995 ; EGGLETON, 2001). Les termites xylophages digèrent la cellulose grâce aux zooflagellés (chez les termites inférieurs) et aux bactéries (chez les termites supérieurs). Ainsi, dans la nature, ces termites ont-ils un rôle écologique important en participant au recyclage du bois mort, essentiellement en milieu forestier. Les termites xylophages sont beaucoup étudiés à cause de leur caractère nuisible. Les principaux ravageurs sont *Coptotermes* spp., *Reticulitermes* spp. et *Amitermes* spp. qui se nourrissent de bois dégradé et causent aussi des dégâts dans les cultures (SANDS, 1973 ; MARIAN *et al.*, 1992, HAN *et al.*, 1998).

1.1.2.2.3. Les humivores

Dans ce groupe, par ailleurs très diversifié et donc hétérogène, les ouvriers ingèrent du matériel organique en même temps que des particules minérales (YAPI, 1991 ; BRAUMAN, 2000). Ces termites s'alimentent à partir de particules organiques en décomposition dans la fraction humique des sols. Ils joueraient le même rôle que les vers de terre géophages. Bien que la connaissance exacte de la matière organique ingérée reste encore très fragmentaire, on pourrait sans doute valablement utiliser la classification obtenue chez les vers de terre tropicaux (LAVELLE, 1997), c'est-à-dire tenir compte de la qualité (richesse) de la matière organique et de sa situation dans le profil de sol.

1.1.2.2.4. Les fourrageurs

Ils récoltent à l'air libre des Poacées vivantes ou mortes pour s'en nourrir sans dégradation préalable des matériaux par les micro-organismes. En revanche, ce groupe semble avoir des capacités plus importantes de fixation de l'azote atmosphérique (PRESTWITCH *et al.*, 1980 ; PRESTWITCH et BENTLEY, 1981 ; BREZNAK *et al.*, 1994 ; BREZNAK 2000). A ce groupe appartiennent les espèces du genre *Trinervitermes* des savanes africaines.

1.1.2.3. Les attaques des termites

Les termites constituent l'un des plus grands fléaux en agriculture et en agroforesterie tropicales (MITCHELL, 2002). Ils s'attaquent régulièrement et gravement aux cultures (canne

à sucre, maïs, coton, arachide, igname, etc.) (MORA, 1992), aux arbres sur pied dans les forêts, aux vergers, aux semis (TRAN VAN CANH, 1993 ; RENOUX, 1995) ou aux jeunes arbres en pépinière (RAJAGOPAL, 2002). L'attaque de certains végétaux vivants par quelques espèces de termites est connue depuis longtemps, mais l'aggravation de ce phénomène sous les tropiques est toute récente. Cette attaque devient particulièrement inquiétante face à une intensification de l'agriculture et compte tenu des restrictions actuelles dans l'usage des pesticides (WOOD et PEARCE, 1991).

Environ 60 % des espèces nuisibles appartiennent à la famille des Termitidae, dont principalement la sous-famille des Macrotermitinae. Cette sous-famille, très largement répandue sur le continent africain et en Indo-Malaisie, comprend des genres particulièrement nuisibles (*Macrotermes*, *Microtermes*, *Odontotermes*, *Ancistrotermes*, *Allodontotermes*, et *Pseudacanthotermes*) (SANDS, 1973 ; WOOD *et al.*, 1980 ; BADAWI *et al.*, 1984 ; COWIE et WOOD, 1989).

L'action néfaste de ces termites se manifeste, soit par une attaque directe des cultures, soit par leurs constructions épigées (termitières) qui gênent la récolte, notamment lors de l'utilisation d'une mécanisation, entraînant ainsi une baisse importante du rendement (APPERT et DEUSE, 1982 ; IROKO, 1996). Au Nigeria, divers ravages sont occasionnés par les termites de cette sous-famille dans différents agrosystèmes (WOOD *et al.*, 1977 a et b ; COWIE *et al.*, 1989). En Ethiopie, en Tanzanie et en République Centrafricaine, les genres *Macrotermes*, *Ancistrotermes*, *Odontotermes* et *Pseudacanthotermes* sont les principaux responsables des attaques observées sur les arbres et au niveau de l'écorce de la canne à sucre (BIGGER, 1966 ; COWIE *et al.*, 1989). En Côte-d'Ivoire, au niveau de la culture de maïs, *Ancistrotermes* et *Microtermes* attaquent le système racinaire (CISSE, 1991 ; TANO et LEPAGE, 1996 ; AKPESSE *et al.*, 2001).

Les dommages occasionnés par les termites déprédateurs peuvent entraîner des pertes importantes. En effet, des pertes de 47 % dues aux termites du genre *Ancistrotermes* ont été enregistrées dans des champs de maïs au Nigeria et en Ethiopie (WOOD *et al.*, 1980 ; COWIE *et al.*, 1989). Des attaques dues à *Macrotermes subhyalinus* ont été signalées au niveau des racines de la canne à sucre en Centrafrique, entraînant 5 à 10 % de pertes de la production annuelle (MORA *et al.*, 1996), Soixante dix pour cent de pertes de la récolte annuelle ont été observées les premières années dans les plantations de canne à sucre en Centrafrique et au Tchad (RENOUX, 1989). En général, les dégâts sont plus importants dans

les zones sèches, comparativement aux zones de cultures irriguées. Ces attaques s'intensifient durant les périodes sèches ou de sécheresse, par rapport aux périodes de pluies régulières.

La plupart des termites champignonnistes se nourrissent de végétaux morts (feuilles, graminées, bois) mais certains se nourrissent également de plantes vivantes (MORA, 1992). Les plantes affaiblies, à cause du manque d'humidité, de la maladie ou de dégâts physiques sont également la cible d'importants dommages. Les attaques des termites sur les cultures se font sous trois formes :

- *les jeunes pousses et les plantes* sont attaquées et coupées près de la base des tiges, généralement par *Odontotermes* ou par *Macrotermes subhyalinus* ;

- *les attaques sur les plants au stade de maturation et à maturité* peuvent être scindées en deux groupes : les attaques du système racinaire et les attaques situées au dessus des parties souterraines (parties épigées) ;

- *le système racinaire* est attaqué par de nombreux Macrotermitinae se nourrissant de déchets ; les attaques par d'autres espèces sont rares mais peuvent exister (*Amitermes evuncifer* en Afrique de l'Est). Les plus petits termites champignonnistes (*Microtermes*, *Ancistrotermes* et quelques *Odontotermes*), pénètrent, consomment les racines et poursuivent leurs excavations à l'intérieur des tiges qu'ils remplissent de terre jusqu'à des hauteurs variant de 1cm à 1m pour les attaques les plus importantes. De temps en temps, les racines secondaires sont consommées, sans par ailleurs, aucun dommage pour le système racinaire principal ou la tige. Selon de nombreuses études (BIGGER, 1966 ; HARRIS, 1969 ; WOOD *et al.*, 1977 a et b), les premiers dégâts apparaissent vers 9 à 12 semaines après la plantation. Les dégâts s'intensifient à mesure que la plante mûrit. Les plantes attaquées peuvent rester debout ou tomber. Les plants peuvent être attaqués alors qu'ils gisent au sol, par des termites, des fourmis et d'autres ravageurs (WOOD *et al.*, 1980, RENOUX, 1989, 1995) ;

- *les attaques au niveau des parties aériennes* sont généralement dues aux gros Macrotermitinae (*Macrotermes* et quelques *Odontotermes*) qui habituellement construisent des placages de terre au-dessus de leurs sources de nourriture, tels que les déchets végétaux à la surface du sol ou de la végétation sur pied. La tige est attaquée juste au dessus du niveau du sol et une couche de terre peut couvrir la base de la tige jusqu'à une hauteur n'excédant pas 1 à 2m. La tige peut être seulement endommagée partiellement (auquel cas la plante reste debout), ou peut l'être complètement (WOOD *et al.*, 1980, RENOUX, 1989, 1995).

1.1.3. Lutte contre les termites

1.1.3.1. Lutte chimique

C'est la méthode la plus communément utilisée. Elle est ciblée au départ, mais concerne plutôt l'éventail d'insectes inféodés à la culture. Elle est relativement efficace et largement pratiquée sur les monocultures. Plusieurs formulations ou matières actives ont été testées (SANDS, 1973 ; APPERT et DEUSE, 1982 ; MORA, 1992 ; HAN *et al.*, 1998 ; TANO et LEPAGE, 1996 ; AKPESSE *et al.*, 1999 ; KOUDOU, 2000).

Certains insecticides, tels que les organo-chlorés, étaient les plus répandus par le passé (SANDS, 1973 ; MITCHELL, 1989 ; WOOD et PEARCE, 1991) compte tenu de leur large spectre d'action, de leur longue rémanence et de leur efficacité. Ainsi, l'utilisation d'aldrine dans les champs de cotonniers contre *Microtermes nadjensis* à Tihama, au Soudan, a-t-elle permis d'augmenter le rendement de 132 % (TIBEN *et al.*, 1990). D'autres substances chimiques ont été commercialisées : les organophosphorés (chlorpyrifos, dichlorvos), les carbamates (carbosulfan) et les phénols (pentachlorophénol) (WARDELL, 1987). Le chlorpyrifos s'est montré très efficace dans les protections de cultures d'arachide contre *Odontotermes obesus* : il réduit les attaques sur les racines et double le rendement (LOGAN *et al.*, 1992). Le carbosulfan a permis de réduire de 34 % le taux de mortalité des plants d'*Eucalyptus* suite aux attaques de certains Macrotermitinae (*Macrotermes*, *Ancistrotermes* et *Odontotermes*) (CHILIMA, 1989).

Mais ces produits sont aujourd'hui délaissés en raison de leur toxicité pour l'homme et de leurs conséquences néfastes voire dramatiques sur l'environnement. Suite à l'interdiction de ces produits, de nouvelles substances à base d'organophosphorés, de pyréthrinoïdes ont été découverts et mis sur le marché (LOEK et NAKANO, 1988). Le thiodan et l'heptachlore se sont montrés efficaces sur la canne à sucre contre les attaques des termites (NOVARETTI *et al.*, 1988). Cependant, ces insecticides ne possèdent pas de persistance assez importante en conditions tropicales (MAULDIN *et al.*, 1987 ; MAMPE, 1989). De nouveaux insecticides avec une meilleure rémanence, comme le Fipronil (BOBE, 1998) ou le Thiamethoxam (MAIENFISCH *et al.*, 2001) ont été alors mis au point ces dernières dix années. Le Fipronil s'est avéré efficace sur *Trinervitermes trinervius* dans la culture d'arachide au Sénégal (MAMPOUYA, 1997) et au Brésil sur les termites des genres *Nasutitermes sp.* et *Cornitermes snyderi* (FERNANDES *et al.*, 1997 ; MELO FILHO et VEGA, 1997).

Une série de travaux récents abordent les effets du Fipronil sur les termites *Coptotermes formosanus* et *Reticulitermes virginicus* (OSBRINK *et al.*, 2001, 2002 ; SHELTON et GRACE, 2003 ; IBRAHIM *et al.*, 2003), pour la protection des maisons contre les Rhinotermitidae aux Etats-Unis (POTTER et HILLERY, 2002 ; SU, 2002 ; WAGNER, 2003), ainsi que le devenir de ce produit dans le sols du sud australien (YING et KOOKANA, 2001, 2002). DELGARDE (2002) et DELGARDE et ROULAND-LEFEVRE (2001, 2002) ont testé également l'utilisation de nouvelles molécules dans la lutte contre les termites ravageurs, dont le Fipronil et le Thiamethoxam. Concernant les Macroterminae, quelques essais de lutte ont été tentés en s'attaquant au champignon *Termitomyces*, qui est essentiel à la nutrition du termite et de détruire ainsi la symbiose au sein des nids (EL BAKRI *et al.*, 1989 ; WARDELL, 1990 ; MORA, 1992 ; ROULAND-LEFEVRE, 2000 ; ROULAND-LEFEVRE et MORA, 2002).

Malgré leur efficacité, l'utilisation de ces insecticides est très faible voir négligeable chez les paysans (ANONYME, 1996). Très souvent, les contraintes écologiques et économiques limitent leur emploi sur de grandes surfaces afin de protéger la santé humaine (SOLTNER, 1978 ; BARBAULT, 1995).

1.1.3.2. Méthodes culturales

De nombreuses méthodes culturales sont préconisées afin de limiter et de réduire l'action nocive des termites (LOGAN *et al.*, 1990 ; RENOUX *et al.*, 1991 ; HILLOCKS *et al.*, 1996 a et b ; BLACK et OKWAKOL, 1997). Ces techniques ont pour but de maintenir ou d'accroître la vigueur des végétaux car les plantes stressées du fait de la sécheresse, du manque de fertilisation des sols ou de la présence des mauvaises herbes constituent une cible privilégiée pour les termites prédateurs. La vigueur d'une plante résulte en général de la bonne qualité des semences et des bonnes conditions de plantation. Parmi ces méthodes, la pratique des cultures à cycle court est la plus prisée, de même que la rotation des cultures incluant des périodes de jachères. Certaines plantes comme le neem (*Azadirachta indica*), le pueraria (*Pueraria phaseoloides*), le persil (*Petroselinum crispum*), le papayer (*Carica papaya*), le tabac (*Nicotiana tabacum*) et le piment (*Piper guineense*) semblent répulsives (LOGAN *et al.*, 1990 ; RENOUX *et al.*, 1991). Des extraits de plantes (*Euphorbia tirucalli*, *Aloe graminicola*, *Melia azedarach*, *Cassia siamea*, *Azadirachta indica*, *Daniellia oliveri*, *Cymbopogon citratus*, *Pennisetum purpureum*, *Occimum canum*, *Juniperus procera*, *Detarium microcarpum* et *Aframomum melegueta*) et des essences résistantes aux termites ont

été testés ces dernières années (MALAKA, 1972 ; COWIE et LOGAN, 1990 ; WARDELL, 1990 ; ESCOUBAS *et al.*, 1995 ; LAJIDE, *et al.*, 1995 a et b ; UMEH et IVBIJARO, 1999 ; KINYANJUI *et al.*, 2000 ; BLASKE et HERTEL, 2001 ; SBEGHEN *et al.*, 2002 ; SINGER *et al.*, 2003 ; WANG et POWELL, 2003). Ces substances naturelles sont répulsives ou mortelles pour ces insectes (COWIE et LOGAN, 1990).

1.1.3.3. Lutte biologique

Cette méthode de lutte reste encore limitée dans son utilisation réelle. Une revue récente sur le sujet a été effectuée par GRACE (2003). On favorise les ennemis naturels des termites que sont les fourmis, les araignées (MILNER et STAPLES, 1996 ; GRACE, 1997 ; BAYLISS et FIELDING, 2002). Cette lutte vise l'utilisation des organismes prédateurs, pathogènes et parasites dans le but de réduire la densité de la population à un niveau économiquement acceptable ; mais elle n'a pas pour objectif d'exterminer voire d'éradiquer le ravageur (SOLTNER, 1978 ; BARBAULT, 1995 ; ANONYME, 2002). Des champignons entomopathogènes comme *Metharizium anisopliae* ont été utilisés au laboratoire contre *Reticulitermes spp* et *Coptotermes spp* ou d'autres espèces. Il existe une abondante littérature sur ce sujet (JONES *et al.*, 1996 ; GRACE, 1997 ; MYLES, 2002 a et b ; WRIGHT *et al.*, 2002 ; MILNER, 2003 ; SHIMIZU et YAMAJI, 2003). Des nématodes entomopathogènes, tels que *Steinernema carpocapsae*, *S. riobrave*, *Heterorhabditis bacteriophora* ou *H. indica* ont également été testés (WANG *et al.*, 2002). Cependant, les essais réalisés sur le terrain n'ont pas été très efficaces car les termites détectent les différents agents biologiques qui leur sont pathogènes (MAULDIN et BEAL, 1989).

1.1.3.4. Procédés mécaniques

Ils se caractérisent par l'utilisation des engins motorisés et des outils lors de la préparation des terrains agricoles (APPERT et DEUSE, 1982 ; MORA, 1992 ; IROKO, 1996). L'utilisation du feu et des pioches est aussi courante pour détruire les énormes nids construits par les termites (IROKO, 1996). De nombreuses barrières physiques telles que les particules de granite ou de basalte, auxquelles ne peuvent s'attaquer les termites, sont employées dans l'architecture par certains peuples (IROKO, 1996). Des mailles d'acier placées à la périphérie des bâtiments sont également utilisées en Occident (GRACE *et al.*,

1996). Lorsque la lutte mécanique s'avère inefficace, les paysans abandonnent généralement l'exploitation du domaine (IROKO, 1996).

1.1.3.5. Lutte intégrée

La « lutte intégrée contre les parasites et les déprédateurs » ou gestion intégrée désigne un processus décisionnel utilisant une combinaison de techniques dans le but de supprimer les parasites et les déprédateurs et qui doit inclure les éléments suivants, sans toutefois s'y limiter :

- la planification et la gestion des écosystèmes (cas du paillage dans notre étude) afin d'éviter que les organismes deviennent des parasites ;
- l'identification de problèmes parasitaires potentiels ;
- la surveillance des populations de parasites, de déprédateurs et d'organismes utiles, des dommages (attaques pour la présente étude) causés par les déprédateurs et des conditions environnementales ;
- l'utilisation de la notion de seuil d'action nocive dans les décisions de traitement (cas du Fipronil comparativement au Procibam[®] à travers l'utilisation judicieuse des pesticides) ;
- la réduction des populations de parasites et de déprédateurs à des niveaux acceptables au moyen de stratégies pour comprendre une combinaison de moyens biologiques (intégration de la biodiversité d'ennemis naturels aux différentes cultures), physiques, agronomiques, mécaniques, comportementaux et chimiques ;
- l'évaluation de l'efficacité des traitements.

1.2. Zone d'étude

1.2.1. Localisation

Les essais culturaux ont été menés sur la station de Booro-Borotou, ancien site de l'IRD (ex-ORSTOM), programme HYPERBAV (1990), à 25 km de Touba, le long de l'axe routier Touba – Odienné, au nord-ouest de la Côte-d'Ivoire (**figure 1**)

Le bassin versant de Booro-Borotou (8°28'45" latitude nord et 7°34'42" longitude ouest) couvre une superficie de 136 ha et se situe à environ 1 km à l'ouest du village de Booro-Borotou. Il s'agit d'une savane pré-forestière humide du secteur sub-soudanais (GUILLAUMET et ADJANOHOUN, 1971).

1.2.2 Le climat

Le climat de la région est de type soudanien (CHEVALIER, 1990). C'est un climat tropical sub-humide à tendance humide (RIOU, 1988), caractérisé par deux saisons:

- une saison sèche (de décembre à mars) ;
- une saison des pluies (d'avril à novembre).

1.2.2.1. La pluviométrie

Les données des précipitations enregistrées à la station météorologique de Touba de 1930 à 1981 selon les études de PHAM DINH (1990), ont montré que la moyenne annuelle est de 1334,1 mm et que la saison sèche est de 4 mois en moyenne, mais peut varier de 4 à 8 mois selon les années (TANO, 1993). Les travaux de CHEVALLIER (1990) et de YORO (1991) sur une période de 2 ans ont relevé des moyennes respectives de 1225 mm et de 1193,7 mm de pluies. D'après RIOU (1988), la pluviométrie annuelle de la région de Booro-Borotou varie de 1200 mm à plus de 1700 mm, selon les années. Elle est inégalement répartie et concentrée sur environ 5 à 6 mois. L'analyse des données pluviométriques des années 1998, 1999 et 2000 de la région de Touba (Projet soja : projet de développement prenant appui sur la vulgarisation de la culture de soja dans le nord-ouest de la Côte-d'Ivoire, 1988)



Figure 1: Carte de la végétation de la Côte d'Ivoire (Vennetier et Laclavère, 1978)

révèle une pluviométrie moyenne annuelle de 1278,5 mm sur les 3 années 1998 à 2000 ; cette région est donc abondamment arrosée (**Tableau I**).

Les deux premières années d'étude (1998 et 1999) ont enregistré 6 mois secs (avec respectivement un total de 11,2 mm et 7 mm de pluies) et 6 mois pluvieux (**Figure 2-a** et **Figure 2-b**) ; la dernière année a été plus arrosée avec seulement 4 mois secs (aucune précipitation durant cette période) (**Figure 2-c**). Les mois les plus pluvieux sont ceux de juillet 1999 avec 305 mm de précipitations, avril 1999 avec 236,5 mm et août de cette même année avec 209 mm. En 2000, les mois de septembre (250 mm), juillet (184 mm) et mai (143,5 mm) et octobre ont été très arrosés.

Les différentes pluviométries enregistrées pendant les périodes de croissance sont variables d'une année à une autre (**tableau I**). La moyenne la plus importante est obtenue en 1998 (8,24 mm de pluie/jour).

1.2.2.2. Températures

La période de février à avril (30,2°C) a été la plus chaude alors que le mois d'août (25,3°C) a été le plus froid durant notre période de culture (**Figures 2-a ; 2-b et 2-c**). La température moyenne annuelle est de 26°C (MITJA, 1990 ; TANO, 1993) pour la période de 1968 à 1992. Pour les trois années d'étude (1998, 1999, 2000), la moyenne des températures annuelles s'élève à 27,2°C Les variations de température entre les trois années de l'étude sont faibles.

1.2.3. Les sols

D'après FRITSCH et PLANCHON (1987), le bassin versant de Booro-Borotou comprend 8 types de sols, qui se répartissent en trois groupes :

- sols ferrallitiques ;
- sols ferrugineux ;
- sols hydromorphes.

Parmi ces différents types de sols, les sols ocres ferrugineux (unité S-3) caractérisent le sol de notre parcelle expérimentale. Des échantillons de sols prélevés sur la parcelle

d'essais culturaux, ont été analysés par le laboratoire de Pédologie de l'Institut National Polytechnique Houphouet-Boigny (INP-HB) de Yamoussoukro. Ces sols sont fins, à texture

Tableau I : Répartition des pluies annuelles pendant la phase de croissance des plants de riz et de maïs

Année	Pluviométrie annuelle (mm)	Total de pluie tombée pendant la phase de croissance (mm)	Durée en jours de la mise en culture		Moyenne des pluies / jour (mm)	
1998	1338	1203,8	146		8,2	
1999	1302	790	129		6,1	
2000	1200,5	793,5	130	148	5,4	6,1
			(maïs)	(riz)	(maïs)	(riz)
TOTAL	3840,5	2787,3				

granulométrique sablo-argileux-limoneux de couleur brune tirant sur du noir. Leurs principales caractéristiques sont consignées dans le **tableau II**.

1.2.4. Végétation

Le paysage végétal comprend des savanes boisées, arborées, arbustives, et herbeuses, ainsi qu'une forêt galerie (MITJA, 1990).

- **La forêt galerie** se caractérise par des espèces ligneuses dépassant des hauteurs de 20 m (*Carapa procera*, *Eleais guineensis*, *Xilopia aethiopica*...) et quelques lianes (*Tetracera potatoria* et *Smilax kraussiana*).

- **La savane boisée** est dominée par un tapis herbacé bien développé, principalement formé de Poaceae de plus de 80 cm de haut. On note également la présence de quelques lianes (*Nauclea latifolia* et *Dioscorea spp.*) et des espèces ligneuses telles que *Bridelia ferruginea*, *Hymenocardia acida*, *Terminalia glaucescens*.

- **La savane arborée** est constituée par des arbres et des arbustes disséminés avec un tapis herbacé continu (Poaceae pérennes cespiteuses). Les lianes sont absentes. Les espèces dominantes sont *Lophira lanceolata* et *Hymenocardia acida*.

- **Les savanes arbustives** sont des formations présentant des arbustes avec un tapis herbacé continu, et se subdivisent en savane arbustive claire et en savane arbustive dense.

- *La savane arbustive claire* est le milieu où se trouve notre parcelle expérimentale ; elle se caractérise par la présence d'arbustes avec toujours un tapis herbacé continu formé de Poaceae pérennes de plus de 80 cm de haut. Cette savane arbustive est située à l'ouest à 1 km du village. Il s'agit d'une parcelle vierge jouxtant de vieilles jachères de plus de 20 ans en reconstitution. Les principales espèces ligneuses présentes sont *Lophira lanceolata*, *Afrormorsia laxiflora*, *Terminalia glaucescens*, *Terminalia macroptera*, *Piliostigma thonningii*, *Pterocarpus erinaceus*, *Parinari curatellifolia*, *Combretum sp.*, *Bridelia ferruginea*, *Crossopteryx febrifuga*. Les herbacées rencontrées sont similaires à celles de la forêt arborée.

- *La savane arbustive dense* est dominée par les espèces *Terminalia glaucescens* et *Terminalia macroptera*.

- **La savane herbeuse** se caractérise par un tapis herbacé continu. Elle se présente sous deux faciès (savane herbeuse basse et savane herbeuse haute) avec des espèces caractéristiques qui sont : *Andropogon macrophyllus*, *Chasmopodium caudatum*, *Schizachyrim platyphyllum*. On y trouve également *Aspilia sp* et *Crinum jagus*.

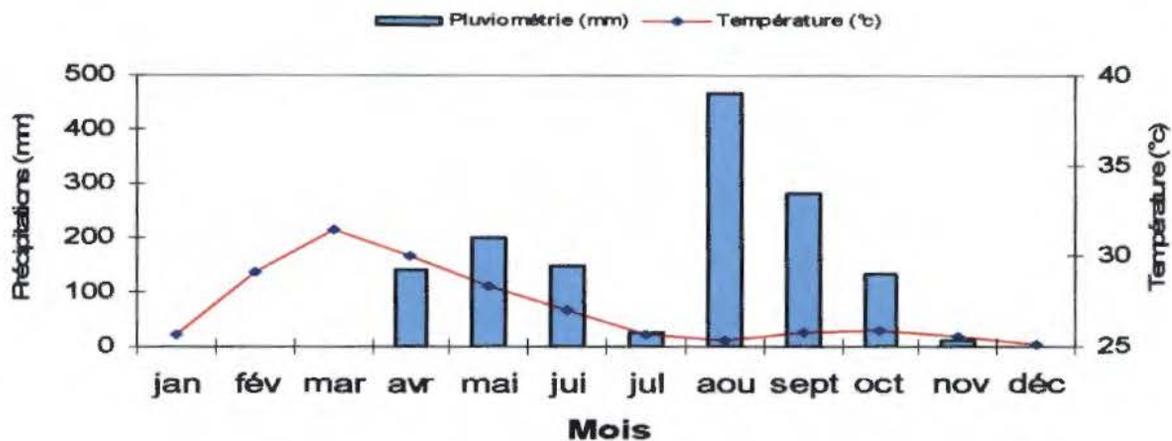


Figure 2 a : Courbe ombrothermique de l'année 1998 à Touba

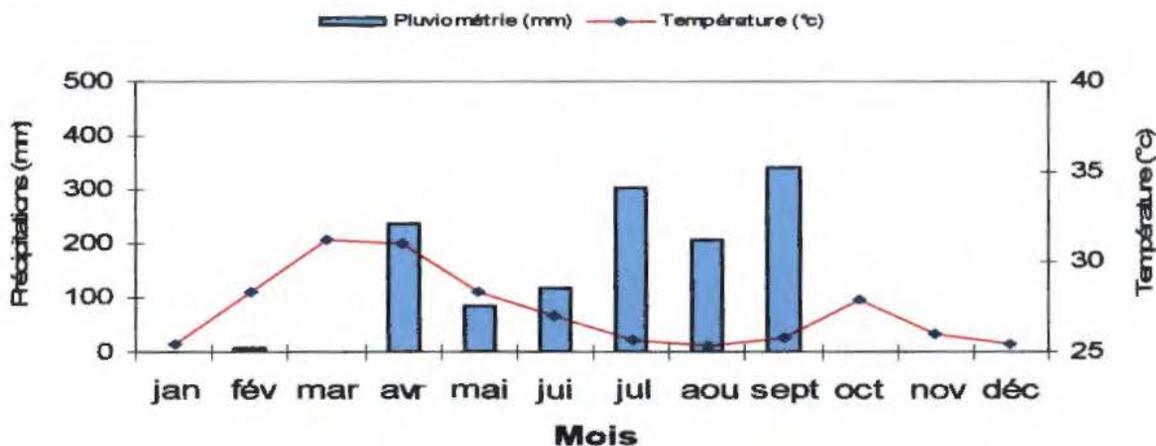


Figure 2 b : Courbe ombrothermique de l'année 1999 à Touba

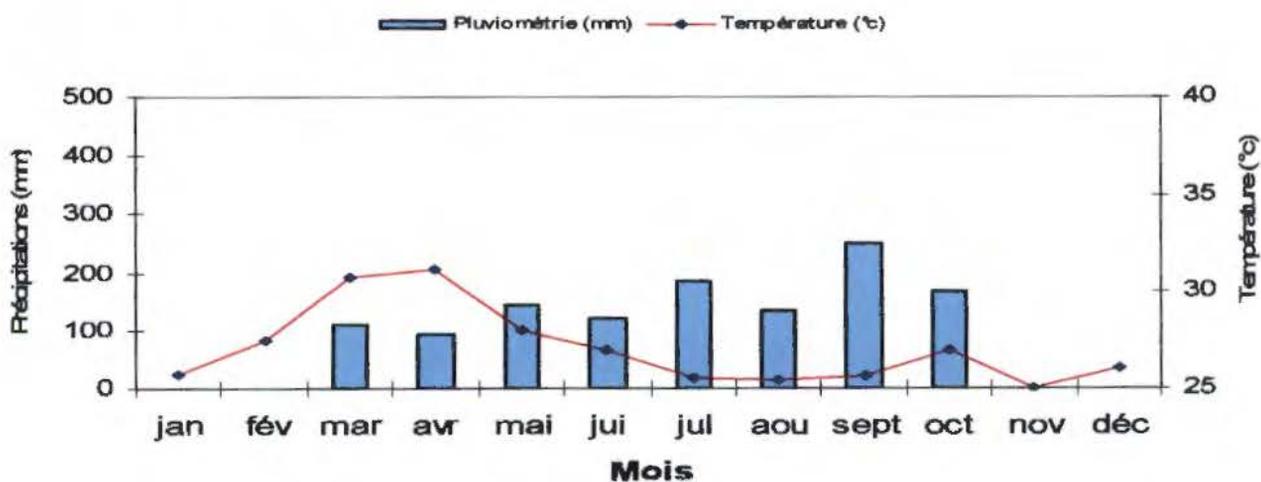
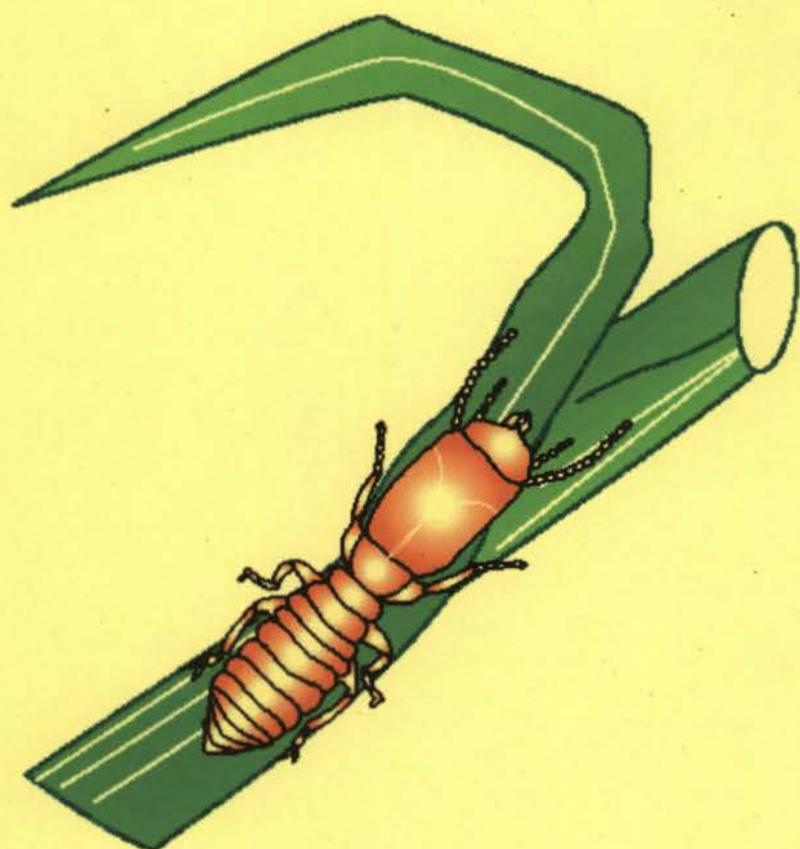


Figure 2 c : Courbe ombrothermique de l'année 2000 à Touba

Tableau II : Analyse des sols témoins des parcelles avant la mise en culture du maïs et du riz (BOGA, 1999)

Éléments	Moyennes et écarts types
pH H₂O	6,15 ± 0,13
Argiles (g/100)	24,70 ± 0,17
Limons (g/100)	5,10 ± 0,13
Sables (g/100)	70,00 ± 0,15
C organique total (g/1000)	26,30 ± 2,1
N organique total (g/1000)	1,85 ± 0,17
M.O. (g/100)	3,35 ± 0,69
C/N	14,22 ± 0,33
P (ppm)	431,30 ± 35,35
C.E.C (méq/100g)	14,40 ± 0,40
Ca (méq/100g)	3,97 ± 0,87
Mg (méq/100g)	1,63 ± 0,34
K (méq/100g)	0,13 ± 0,05
V (%)	39,39 ± 9,23



Chapitre II

Matériel et méthodes

2.1. Le matériel biologique

2.1.1. Les plantes utilisées

Les variétés utilisées pour les cultures sont la variété Ferké II pour le maïs et la variété IAC 170 pour le riz. La variété Ferké II est originaire de Côte d'Ivoire. Son cycle est de 100 à 130 jours. Il s'agit d'une espèce précoce qui a un bon rendement (N'DABALISHYE, 1995). La variété de riz IAC 170 est originaire du Brésil (JACQUOT et COURTOIS, 1983). Son cycle est de 110 ± 20 jours ; c'est aussi une variété précoce (**Figures 3 a et 3 b**).

Le riz

Règne	: Végétal
Embranchement	: Phanérogames
Sous-Embranchement	: Angiospermes
Classe	: Monocotylédones
Ordre	: Spadiflorales
Famille	: Poacées
Sous-Famille	: Panicoïdea
Tribu	: Oryzea
Genre	: <i>Oryza</i>
Espèce	: <i>O. sativa</i>

Le riz est une monocotylédone de la famille des Poacées. C'est une plante annuelle plus ou moins pubescente, à chaumes dressés disposés par touffes, à racines fibreuses, capillaires touffues. Les racines ont un système principal ramifié. Les racines adventives sont très nombreuses et prennent naissance dans les entre-nœuds inférieurs des tiges, formant des touffes assez épaisses (ANGLADETTE, 1966). Les espèces cultivées *Oryza sativa* et *Oryza glaberrima* sont caractérisées par la présence de ligules. Seule *Oryza sativa* a des ramifications secondaires au niveau de la branche primaire du panicule. Le plant de riz a des tiges à entre-nœuds creux groupées en touffes appelées talles, issues des ramifications des tiges adventives et de la tige principale. La feuille, généralement ligulée, possède une gaine recouvrant la tige (ANGLADETTE, 1966).

Au cours de la phase reproductive, la plante forme des panicules portant des épillets. Les épillets renferment des fleurs hermaphrodites à six étamines et un ovaire uniovulé. La fécondation du riz est autogamique. Le fruit provient du développement de l'ovaire ; il est appelé paddy et renferme la partie comestible de la plante.



Figure 3 a : Vue générale de la parcelle de riz (Photo Lepage)



Figure 3 b : Vue générale de la parcelle de maïs (Photo Lepage)

Le maïs

Règne	: Végétal
Embranchement	: Phanérogames
Sous-Embranchement	: Angiospermes
Classe	: Monocotylédones
Ordre	: Spadiflorales
Famille	: Poaceae
Sous Famille	: Panicoïdea
Tribu	: Maydea ou Tripsacea
Genre	: <i>Zea</i>
Espèce	: <i>Z. mays</i>

Le maïs est, comme le riz, une monocotylédone de la famille des Poacées. C'est une plante annuelle qui se présente sous deux genres: le genre *Tripsacum* et le genre *Zea* qui fait l'objet de notre étude. Les racines sont de deux sortes. Les unes sont provisoires ou séminales ; elles fixent la plantule au sol et assurent sa nutrition hydrique jusqu'au stade 5 à 6 feuilles assimilatrices (ROUANET, 1984). Les autres sont définitives ou couronnaires car insérées en couronne; celles-ci apparaissent après la levée et ont pour rôle le recouvrement de la plantule pendant tout le reste de son cycle. Les racines colonisent les 30 à 60 premiers centimètres du sol.

Le plant de maïs présente une tige ayant une succession de nœuds et d'entre-nœuds dont le nombre est variable selon les variétés. Les feuilles, généralement ligulées, possèdent des gaines recouvrant la tige.

Le maïs est une plante monoïque; le même pied porte des organes mâles et des organes femelles (ROUANET, 1984). Au cours de la phase reproductive, la plante forme des panicules portant des épis. Chaque épi contient deux fleurs dont seulement la partie supérieure est fertile. La fécondation du maïs est allogamique. Les épis mâles sont groupés par paires et chaque épi est constitué de deux glumes à l'intérieur desquelles se trouvent des glumelles qui enveloppent les étamines (ROUANET, 1984). Le fruit est un épi qui est enveloppé par les bractées ou spathes et constitue la partie comestible de la plante.

2.1.2. Les espèces de termites

Nous distinguons l'ensemble des termites en général et les termites déprédateurs en particulier, récoltés par échantillonnage de la faune du sol (**Figure 4**).

Au niveau des parcelles expérimentales, nous avons récolté 12 genres à Booro-Borotou appartenant à une famille et 4 sous familles. La famille des TERMITIDAE Westwood comprend les sous familles des TERMITINAE Kemner (6 genres), des APICOTERMITINAE Sands, des MACROTERTERMITINAE Kemner (5 genres) et celle des NASUTITERMITINAE Sjöstedt (1 genre).

Les quatre principaux groupes trophiques connus chez les termites sont rencontrés sur notre site d'étude : ce sont les fourrageurs, les champignonnistes, les xylophages et les humivores. Quelques caractéristiques des espèces rencontrées sur le site de Booro-Borotou, ont été étudiées ; en particulier leur biologie (TANO, 1993).

Les Macrotermitinae se répartissent dans le milieu en 5 genres et 10 espèces. Le genre *Ancistrotermes* présente 3 taxons dont les principaux sont *Ancistrotermes cavithorax* (**Figure 4 b**) et *Ancistrotermes guineensis*. Au niveau des genres *Macrotermes* (**Figure 4 c**) et *Microtermes* (**Figure 4 a**), deux taxons ont été identifiés ; les plus connus sont *Macrotermes bellicosus* et *Macrotermes subhyalinus*. Pour le genre *Microtermes* les deux espèces n'ont pas pu être déterminées.

Parmi les autres Macrotermitinae, *Odontotermes* avec 2 espèces (*Odontotermes pauperans* et *Odontotermes smeathmani*) et *Pseudacanthotermes* avec un seul taxon (*Pseudacanthotermes spiniger*) ont aussi été identifiés sur le bassin versant de Booro-Borotou.

En ce qui concerne les autres sous-familles, APICOTERMITINAE, NASUTITERMITINAE et TERMITINAE, de nombreux taxons (respectivement 7, 9 et 13) ont été trouvés sur la zone d'étude. Les principales espèces sont *Amitermes evuncifer* Silvestri (**Figure 4 d**) et *Cubitermes severus* pour les TERMITINAE, *Adaiphrotermes* sp. et *Aderitotermes cavator* pour les APICOTERMITINAE et enfin *Trinervitermes geminatus* pour la sous-famille des NASUTITERMITINAE.

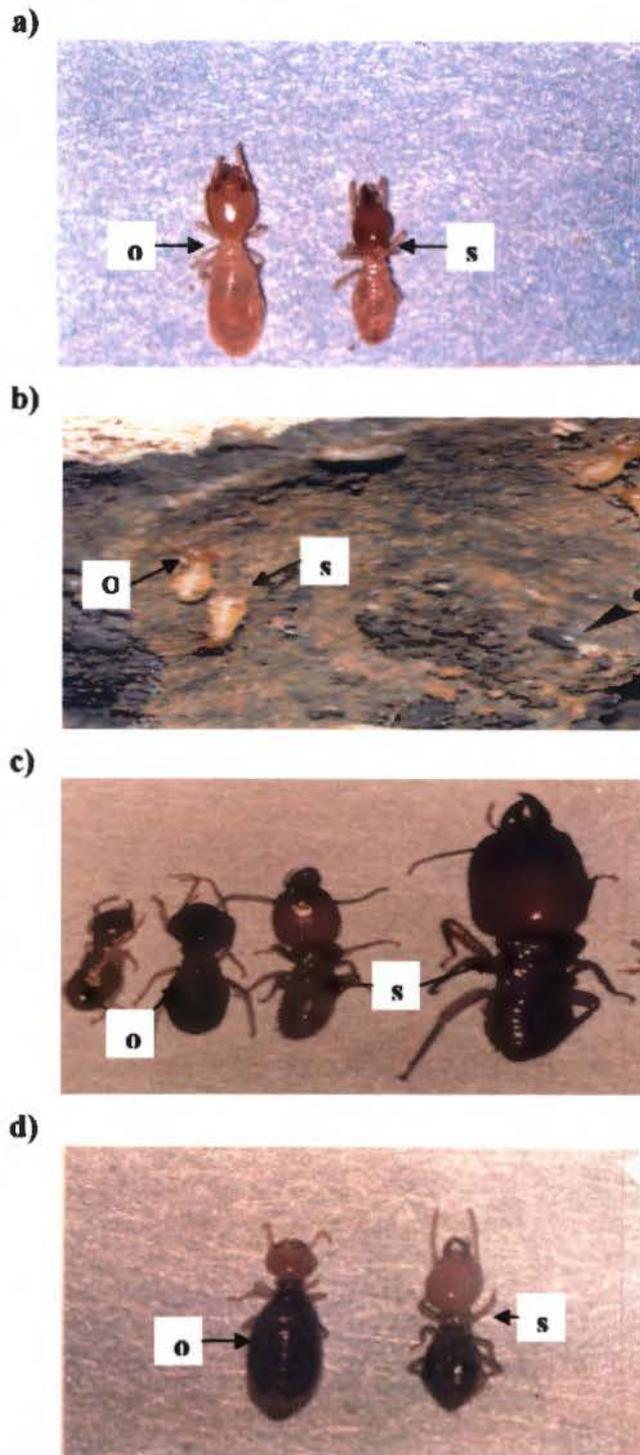


Figure 4 : Différents genres de termites ravageurs rencontrés sur les parcelles expérimentales de Booro-Borotou

a) ouvrier et soldat de *Microtermes* sp. ; b) ouvrier et soldat de *Ancistrotermes* sp. ; c) ouvriers et soldats de *Macrotermes* sp. ; d) ouvrier et soldat de *Amitermes* sp. ; o = ouvrier ; s = soldat (Photos SOME).

Pour l'étude des tests au laboratoire (insecticides et préférences alimentaires), les espèces *Macrotermes subhyalinus* Holmgren et *Ancistrotermes cavithorax* Silvestri ont été utilisées. Elles ont été récoltées sur le périmètre jouxtant le bas-fond du bâtiment de recherches du campus de Cocody. Ces espèces ont été déterminées au laboratoire avec une loupe binoculaire du type LEICA GZ6 et à l'aide de la clé de détermination de BOUILLON et MATHOT (1965).

2.2. Les méthodes

2.2.1. Mise en place de la parcelle d'étude

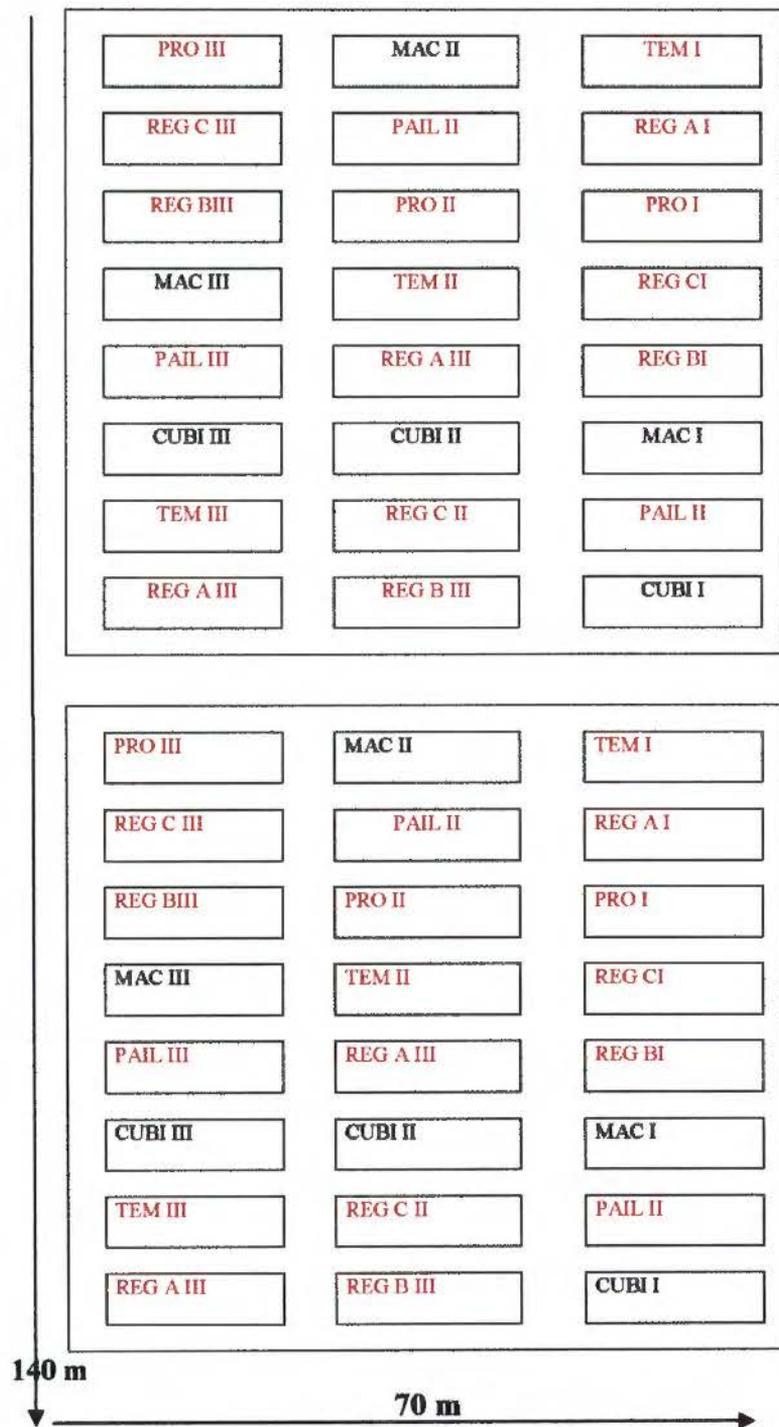
Le dispositif expérimental est constitué de blocs aléatoires complets à trois répétitions (blocs de Fisher), sur une surface totale de 9.800 m² (70 m x 140 m) entourée d'un grillage d'un mètre de haut. Il est subdivisé en deux essais (riz et maïs) de 24 parcelles unitaires séparés l'un de l'autre par une allée de 3 m de large. Chaque parcelle unitaire mesure 10 m sur 5 m en 1998 et 4,5 x 5 m en 1999 et 2000. Une allée de 2 m sépare ces parcelles unitaires (**Figure 5 a**).

Sur chaque bloc, les parcelles ont subi différents traitements : paillage, différents traitements chimiques, et épandage de matériaux termitiques sur des parcelles, "témoin" (sur lesquelles) aucun traitement n'a été appliqué.

Chaque parcelle de riz comporte 12 lignes de plants espacées de 0,40 m, à raison de 1 440 grains/ ligne soit une densité de 100 kg /ha. Les lignes sont disposées dans le sens de la longueur des parcelles. Cette disposition a permis d'obtenir une densité d'environ 3,5 millions de plants à l'hectare, car un grain de riz produit généralement 3 pieds (CERRIGHELLI, 1955)

Les parcelles de maïs comportent 6 lignes, espacées de 0,80 m. Les poquets (3 ou 4 graines) sont distants de 0,40 m les uns des autres. Après la levée, on procède au démariage, laissant un pied de maïs par poquet. Cette disposition a permis d'obtenir une densité de 150 plants par parcelle en 1998 et 68 plants par parcelle en 1999 et 2000, soit environ 30 000 plants /ha.

Afin de tester la rémanence des produits et avant de conduire une deuxième année de culture, le dispositif utilisé en première année (**Figure 5 b**) a été modifié en scindant chaque



Blocs de maïs

I, II et III: Numéro des rangées

TEM: Parcelle élémentaire témoin non traitée (contrôle)

CUBI: Parcelle élémentaire traitée avec le sol de termitières de *Cubitermes*

MAC: Parcelle élémentaire traitée avec le sol de termitières de *Macrotermes*

PAIL: Parcelle élémentaire traitée avec la paille de graminées

REG. A: Parcelle élémentaire traitée au Régent A

REG. B: Parcelle élémentaire traitée au Régent B

REG. C: Parcelle élémentaire traitée au Régent C

PRO: Parcelle élémentaire traitée au Procibam

N.B: Les parcelles marquées en rouge sont celles qui sont prises en compte dans cette étude.

Blocs de riz

Figure 5 a : Détail du dispositif expérimental mis en place en 1^{ère} année

parcelle de 10 m sur 5 m en deux sous-parcelles de 4,5 m sur 5 m, séparées par une allée d'un mètre de largeur (**Figure 5 b**). Il faut souligner qu'en seconde année, le Régent A[®] n'a pas été utilisé par suite d'une erreur de manipulation, mais en 2000, ce produit a été utilisé dans une sous-parcelle issue de la division de la parcelle utilisée en première année. Le traitement de la première année est alors renouvelé sur l'une des deux sous-parcelles alors que l'autre sous-parcelle n'est pas traitée une seconde fois. Nous disposons ainsi de parcelles traitées uniquement en première année de culture (T1) et de parcelles traitées deux fois de suite (en 1^{ère} et 2^{ème} année) (T2).

La période de semis a été choisie en fonction des débuts des pluies dans cette région : le 2 juin pour la première année, le 22 juin 1999 pour la 2^{ème} année de culture et le 26 juin 2000 pour la troisième année. En troisième année de culture, les semences du maïs n'ont pas germé (pour cause de pourriture). Les semis de maïs ont donc été repris le 14 juillet 2000.

2.2.2. Les différents traitements

Sur chaque bloc expérimental, les parcelles élémentaires ont subi différents traitements: le paillage, le traitement chimique et l'épandage de matériaux termitiques. Sur les parcelles élémentaires «témoin» aucun traitement n'a été appliqué.

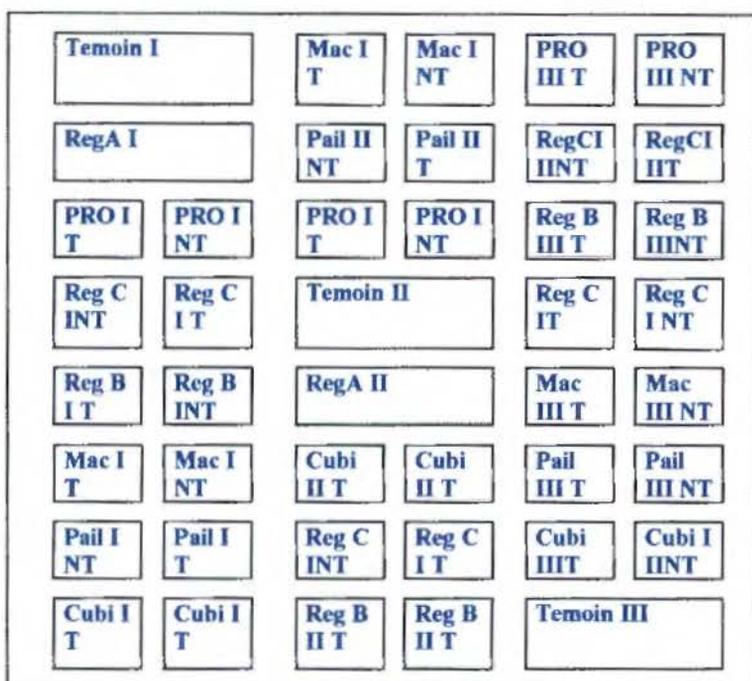
- Le paillage

Le principe de cette méthode est de recouvrir le sol avec de la paille pour lui assurer une meilleure conservation de l'humidité. Dans ce but, de la paille à base d'*Andropogon sp.* est récoltée et étalée à raison de 70 kg par parcelle élémentaire, soit 14 tonnes / ha. Dans notre étude, le traitement paillage consiste également à tester l'effet d'une perturbation sur les populations de termites (augmentation des sources de nourriture).

- Les traitements chimiques

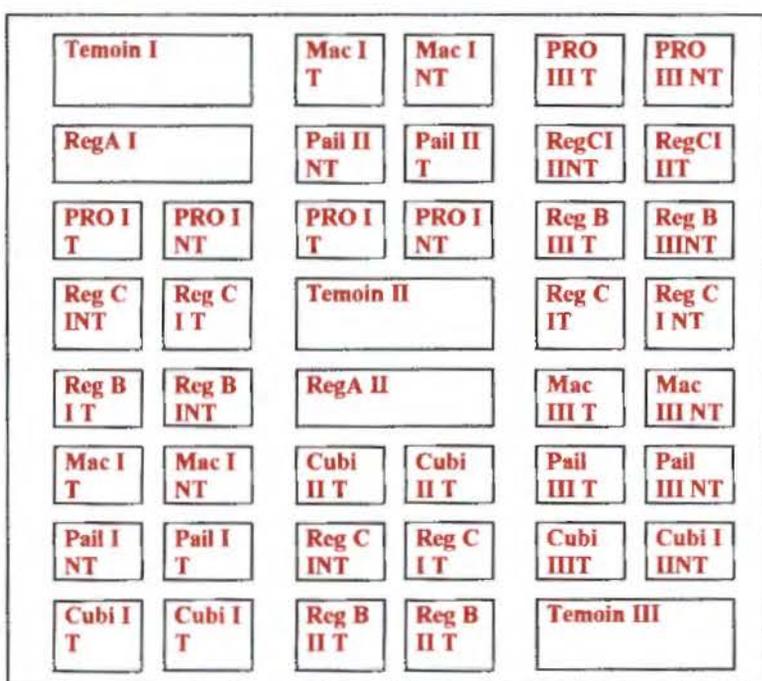
Deux insecticides ont été utilisés : le Fipronil ou Régent de RHONE-POULENC et le Procibam 480 de NOVARTIS-SOCHIM. Ces produits se présentent sous formes de liquide (le Régent[®] A, le Procibam[®] 480 et le Régent[®] B) et sous forme de granulés (le Régent[®] C).

- *le Fipronil*, (5 amino -1- (2,6- dichloro-4-(trifluorométhyl)phényl)-4-) (phénylpyrazoles) (1R, S) trifluorométhylsulfinyl)sulfinyl)1 H -pyrazole -3- carbonitrile : C₁₂H₄Cl₂F₆N₄O S). Cet insecticide a été testé sous 3 formes :



Blocs de maïs

T = Traité
NT = Non Traité



Blocs de riz

Figure 5 b : Détail du dispositif expérimental utilisé à partir de la 2^e année

I, II et III: Numéro des rangées

TEM: Parcelle élémentaire témoin non traitée (contrôle) ; CUBI: Parcelle élémentaire traitée avec le sol de termitières de *Cubitermes* ; MAC: Parcelle élémentaire traitée avec le sol de termitières de *Macrotermes* ; PAIL: Parcelle élémentaire traitée avec la paille de graminées ; REG. A: Parcelle élémentaire traitée au Régent A ; REG. B: Parcelle élémentaire traitée au Régent B ; REG. C: Parcelle élémentaire traitée au Régent C ; PRO : Parcelle élémentaire traitée au Procibam

- **le Régent[®] A (LESAK[®])** pour le traitement des semences. Sa dose est de 125 g de matière active/100 kg de semences soit 0,625 g de matière active/parcelle de 50 m². Cet insecticide est mélangé aux semences jusqu'à l'obtention d'une couleur homogène et les semis sont ensuite effectués.
- **le Régent[®] B (Régent[®] 50 SC)** pour le traitement du sol. Sa dose est de 100 g de matière active /ha soit 0,50 g de matière active/ parcelle de 50 m². Dix (10) millilitres de cet insecticide sont mélangés à 2 litres d'eau qui sont ensuite appliqués directement sur le sol par pulvérisation au niveau des sillons à l'aide d'un pulvérisateur à dos.
- **le Régent[®] C (Régent[®] 5 GR)** sous forme de granulés pour le traitement des plantes en croissance. Une quantité de 0,625 g de matière active/ parcelle de 50 m² soit 124,5 g/ha est mise autour des pieds de riz ou de maïs 2 mois après les semis.
- **le Procibam[®] 480** (chlorpyriphos-éthyl) O-O- diéthyl O-3, 5-6-trichloro-2 pyridil phosphorothioate). Cet insecticide est utilisé de la même manière que le Régent[®] B, à la dose est de 960 g / ha soit 4,8 g de matière active/ parcelle de 50 m².

2.2.3. Echantillonnage de la faune du sol

Nous avons utilisé la méthode TSBF des carrés de fouille (ANDERSON et INGRAM, 1993). Un quadrat métallique de 1/16 de m², (25 cm x 25 cm de côté) et de 30 cm de hauteur est enfoncé dans le sol. Une tranchée est creusée tout autour et on procède au découpage de tranches successives (0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm et 20-30 cm) qui sont minutieusement triées manuellement par une équipe de 3 personnes ou plus. Les invertébrés sont prélevés à l'aide d'une pince souple et mis dans des piluliers contenant de l'alcool à 70° remplis au 1/3. Chaque pilulier porte une étiquette indiquant le site, le milieu ou la parcelle élémentaire et la tranche fouillée. Les individus récoltés sont identifiés, triés, comptés, essorés à l'aide de papier Whatman ou papier hygiénique puis pesés au laboratoire.

La technique des carrés permet d'effectuer un nombre important de relevés en un temps relativement court par rapport aux carrés de dimensions plus grandes, mais elle se limite aux couches superficielles. Elle est efficace pour les vers de terre (LAVELLE, 1978 ; ABE et WATANABE, 1983), mais pas assez efficace pour les animaux agiles comme les fourmis, les termites et les Coléoptères (LEVIEUX, 1971 ; KOUASSI, 1987).

Nous avons aussi réalisé un échantillonnage à la tarière de 10,5 cm de diamètre, dont l'avantage est de minimiser les fuites qui peuvent se produire et de capturer les petits animaux très mobiles. Toutefois, la faible dimension de l'échantillon entraîne des variations très importantes des résultats à cause de la répartition agrégative des animaux (JOSENS, 1972 ; LAVELLE, 1978).

Trois échantillonnages ont été réalisés lors de la première campagne (1998) et un lors de la seconde et de la dernière année (**Tableau III**).

Les résultats sont exprimés en densités d'individus et en (biomasse de poids frais par m²).

Nous avons calculé l'indice de Shannon (SHANNON et WEAVER, 1949) sur les effectifs, selon les années et les traitements, selon la formule

$$H' = - \sum P_i \log_2 P_i.$$

P_i = proportion de l'espèce i dans le peuplement

Afin d'avoir une estimation des populations de termites dans le milieu naturel, nous avons choisi une zone en savane arbustive claire à proximité immédiate de notre parcelle expérimentale. Un transect de 1 km, partant du milieu boisé jouxtant la parcelle vers le bas-fond menant au marigot, a également été parcouru afin de noter le nombre de contacts des termites par intervalles de 100m sur le sol et sur la litière. Cette opération s'est déroulée en novembre 2001.

Tableau III : Calendrier d'échantillonnage de la faune du sol à Booro-Borotou durant les trois années d'expérimentation

Méthode d'échantillonnage	Campagne	Période	Milieu	Nombre d'échantillons
Carré	1998	Janvier (avant mise en place des parcelles)	Naturel	15
		Octobre (récolte)	Culture (riz maïs)	72/culture
Tarière	1998	Janvier	Naturel	30
		Août (croissance des plants)	Culture (riz maïs)	120/culture
Carré	1999	Octobre (récolte)	Culture (riz maïs)	42/culture
Carré	2000	Novembre (récolte)	Culture (riz maïs)	42/culture

NB : Les résultats de l'échantillonnage à la tarière n'ont pas été utilisés, compte tenu de leur faible fiabilité.

2.2.4. Evaluation des dégâts

2.2.4.1. Evaluation des dégâts au niveau du riz

Les observations portent sur les racines après déracinement des plants de riz sur une distance de 25 cm à chaque examen, par rangée de 10 m de longueur en première année et de 4,5 m pour la deuxième et la troisième année. Les examens ont lieu tous les 10 jours à partir du 40^{ème} jour équivalent à la date de démariage du maïs. Ensuite, des comptages visuels des dégâts sont basés sur les symptômes observés : plants chétifs, fanés ou morts et la motte de terre au pied de ces plants est prélevée et fouillée afin d'identifier les termites éventuellement présents. Au total, neuf examens ont été réalisés à intervalles de 10 jours pour le riz et six examens à un intervalle de 20 jours depuis le 40^{ème} jour jusqu'à la récolte, au cours des campagnes 1999 et 2000.

Lors de la première année, une méthode de quantification des dégâts de type indirect est utilisée. Elle consiste à choisir, au moment de la récolte, 3 lignes parmi les 12 de chaque parcelle élémentaire (lignes 6, 7 et 8 situées en plein milieu de parcelle afin d'éviter les effets de bordure), et à noter la présence de ravageurs au niveau des racines. Chaque ligne, longue de 10 m, est divisée en quatre parties égales, dénommées "gerbes". Chaque gerbe est déracinée et le sol enrobant les racines est soigneusement fouillé pour rechercher la présence d'invertébrés en général et de termites en particulier et les compter.

2.2.4.2. Evaluation des dégâts au niveau du maïs

Nous effectuons un suivi et un comptage des pieds attaqués par les termites au niveau de chaque parcelle de maïs, depuis le démariage jusqu'à la récolte. Deux pieds sont déterrés à chaque examen et disséqués pour savoir s'ils sont l'objet d'attaques de termites. La périodicité des observations est de 20 jours. Les pieds morts sont déracinés et fouillés pour déterminer la présence de termites. Pour les traitements statistiques, nous tenons compte du nombre de pieds échantillonnés à la récolte et des pieds perdus examinés au cours du temps.

Les parties de plants de maïs les plus analysées sont les racines et les tiges. Neuf examens ont été réalisés à des intervalles de 20 jours à partir du démariage au cours des campagnes 1999 et 2000. En 1998, les attaques sont évaluées à la récolte à partir d'un examen de tous les pieds présents sur les différentes parcelles.

2.2.4.3. Appâts alimentaires

Dans le but de fournir une source de nourriture autre que les cultures mises en place et de tester l'activité des termites sur un matériel standard, des appâts alimentaires constitués de 4 morceaux de bois de l'espèce *Terminalia glaucescens* peints de couleurs différentes aux extrémités (rouge, bleu, vert et blanc), sont disposés au milieu de chaque parcelle sous forme d'un carré de 1 m x 1 m. Ces morceaux de bois sont enterrés à une profondeur de 10 cm sur chaque parcelle après avoir été au préalable pesés (150g sur 20 cm de longueur) et l'évolution de leur poids est suivie par des pesées régulières depuis le semis (des plants) jusqu'à la récolte, en vue de l'estimation du taux de consommation. Par la suite, des pesées régulières tous les 30 jours sont effectuées sur ces morceaux de bois, depuis la mise en place des cultures jusqu'à la récolte et cela lors de la campagne de 2000. Cette expérimentation a également pour but de tester si cet apport supplémentaire de nourriture peut réduire les attaques de termites sur les plants.

Les appâts sont relevés à 3 reprises durant les 90 jours qu'a duré l'expérience. Pour chacun des traitements, nous calculons une consommation moyenne par jour au cours de ces 3 relevés et les différences ne se sont pas révélées significatives. En conséquence, nous calculons une moyenne par jour sur l'ensemble de la période (N = 36).

2.2.4.4. Impact des termites dans les plantations villageoises

Afin d'avoir une image de l'impact des termites en dehors des parcelles expérimentales, une étude complémentaire au niveau des parcelles paysannes est réalisée.

Les grains de riz et de maïs sont semés en vrac par les paysans dans leurs champs, à la même période que la mise en place des cultures sur nos parcelles expérimentales (début juin, lors des premières pluies). Le riz utilisé par les paysans est un riz pluvial local. Les prospections sont faites dans 20 champs de maïs et 10 champs de riz situés au voisinage du village, par choix au hasard et suite à l'agrément des propriétaires au mois de novembre 2001, en vue d'être fouillés et analysés. Ces champs sont disposés selon une toposéquence.

Au niveau des champs de maïs, 100 pieds par champs sont déracinés et la présence de termites est notée. Nous avons listé les espèces rencontrées après avoir quantifié leur présence au niveau des parties du végétal. Ces pieds sont disséqués et fouillés au niveau des racines et

sur 10 cm de tige mesurés à partir des racines. On quantifie l'abondance des termites et une éventuelle attaque des pieds de maïs au niveau de chaque champ, soit :

- P 1 les pieds où il y a une absence totale de termites ;
- P 2 les pieds où il y a très peu de termites (1 à 10 individus) ;
- P 3 les pieds où il y a plus de 10 termites.

Une analyse phytosanitaire nous a permis d'attribuer aux plants un indice variant de 0 à 2 :

- 0 correspond à un plant mort sur pied ou couché à terre ;
- 1 correspond à un plant dépérissant ou desséché ;
- 2 correspond à un plant normal en bon état.

Des indices sont aussi définis pour la présence, les attaques et les espèces de termites rencontrées. En ce qui concerne la présence et les attaques :

- 0 correspond à un plant non colonisé et qui n'a subi aucune attaque ;
- 1 correspond à un plant faiblement colonisé et attaqué par les termites ;
- 2 correspond à un plant fortement colonisé et attaqué par les termites.

Quant aux espèces observées au niveau de chaque plant :

- 1 correspond à la présence des termites du genre *Ancistotermes* ;
- 2 correspond à la présence des termites du genre *Microtermes* ;
- 3 correspond à la présence des termites du genre *Pseudacanthotermes* ;
- 4 correspond à la présence des termites du genre *Amitermes* ;
- 5 correspond la présence des termites du genre *Cubitermes* ;
- 6 correspond à la présence des termites du genre *Trinervitermes* ;
- 7 correspond à la présence des termites du genre *Macrotermes*.

En fonction de tous ces indices une analyse des correspondances multiples (ACM) est faite grâce au logiciel « XL STAT, (6.0, ADDINSOFT) » pour examiner les similitudes ou différences éventuelles existant entre les champs prospectés.

Au niveau des champs de riz, 100 carrés de 1 m x 1m renfermant des plants sont déracinés et nous notons la présence ou l'absence de termites, tout en listant les espèces rencontrées. Les racines et les tiges sont ensuite analysées plus précisément afin de détecter des traces éventuelles de déprédations.

2.2.4.5. Tests de substances

- Préférences alimentaires

Les tests sont effectués sur des ouvriers des espèces *Macrotermes subhyalinus* et *Ancistrotermes cavithorax*. Pour cela, 100 ouvriers de chaque espèce sont mis dans une boîte en plastique transparent, de forme parallélépipédique, de dimensions 24 x 18 x 9,5 cm. Des quantités équivalentes de grains de riz et de maïs y sont disposées. Chaque boîte renferme 50 g de sol de termitière de *Macrotermes subhyalinus* préalablement tamisé et non traité. L'appétence des espèces de termites (nombre d'ouvriers en récolte) est mesurée en comptant les ouvriers qui triturent le matériel en présence au bout de 6 h d'affilée. Le test porte sur 3 répétitions pour chaque série :

- série test de la préférence alimentaire riz (racines + tiges + grains) ;
- série test de la préférence alimentaire maïs (racines + tiges + grains) ;
- série test de l'état du matériel avec des feuilles de maïs (frais + fané + sec).

Les paramètres qui ont été mesurés sont les suivants :

- le taux de mortalité des termites au cours du temps, à 6h d'intervalle après le début de l'expérience ;
- l'attrance des appâts proposés à travers le décompte d'ouvriers qui touchent la source de nourriture au bout de 6 h d'observation.

- Substances insecticides

Cette expérimentation a pour but de déterminer les effets de doses variées de substances insecticides sur les insectes, notamment les effets sur la mortalité des termites. Les tests sont effectués sur des ouvriers de *Macrotermes subhyalinus* et *Ancistrotermes sp.* Pour cela, 100 ouvriers de chaque espèce sont mis dans une boîte parallélépipédique de dimensions 12 x 9 x 5 cm dans laquelle, des quantités équivalentes de grains de riz et de maïs sont déposées. Chaque boîte renferme 50 g de sol de termitière de *Macrotermes subhyalinus* préalablement tamisé, traité avec chaque insecticide (Régent® A, Régent® B et Régent® C et Procibam® 480).

Le test porte sur 3 répétitions pour chaque série

- série test insecticide Procibam® 480 riz ;

- série test insecticide Procibam[®] 480 maïs ;
- mêmes séries (3) avec les trois formes de Régent[®].

Les doses utilisées sur le terrain sont de 12,5 mg m.a/l pour le Régent A et le Régent C, 10^{-3} mg m.a/l pour le Régent B et 96 mg m.a/l pour le Procibam. Quant aux doses utilisées au laboratoire, elles sont respectivement de 4,63 mg m.a/l et 2,77 mg m.a/l pour le Régent A et le Régent C soit des doses de laboratoire 2,7 et 4,5 fois moindre que celles du terrain. Pour les autres substances insecticides (Régent B[®] et Procibam[®]), les doses employées au laboratoire sont de 4,63 mg m.a/l et 44,4 mg m.a/l ; elle est inférieure de 2,2 fois à celle du terrain.

A partir de la dose de la solution mère, nous avons préparé et testé les doses de 0,25 ; 0,5 ; 1 ; 2 ; 3 et 5 mg m.a/l de chaque insecticide. Le taux de mortalité des termites au cours du temps, à 4 h d'intervalle après le début de l'expérience est suivi.

Les doses létales moyennes (DL50 et DL95) (en mg m.a./l) provoquant 50 % et 95% de morts sont déterminées pour chacune des substances insecticides. Les temps létaux moyens (TL50) en (jours) pour lesquels on observe 50% de morts sont également déterminés.

2.2.5. Quantification des biomasses et production des grains

La production est un paramètre agronomique important pour évaluer l'efficacité des différents traitements apportés et voir l'impact des termites ravageurs. Cette production, exprimée en kg/ha, est estimée à partir de la biomasse maximale en fin de croissance, selon la distinction entre :

- les parties végétales non consommables (racines, tiges, rafles, feuilles et glumes) ;
- les parties végétales consommables (grains).

La comparaison entre les différentes biomasses obtenues permet de calculer les rendements selon les différents traitements, par rapport au témoin.

L'évaluation des biomasses consiste, pour le maïs, à prélever 3 lignes entières (L3, L4 et L5) dans chaque parcelle élémentaire, à séparer les différentes parties (racines, tiges, feuilles, glumes, épis et grains) pour les peser, à l'état frais puis à l'état sec (après séchage à l'étuve à 85°C pendant 24 heures).

Pour le riz, 12 gerbes sont prélevées sur 3 lignes entières (L6, L7 et L8), à raison d'une longueur de 2,5 m par gerbe. Les poids frais et secs des organes (racines, tiges + feuilles, grains) sont alors déterminés.

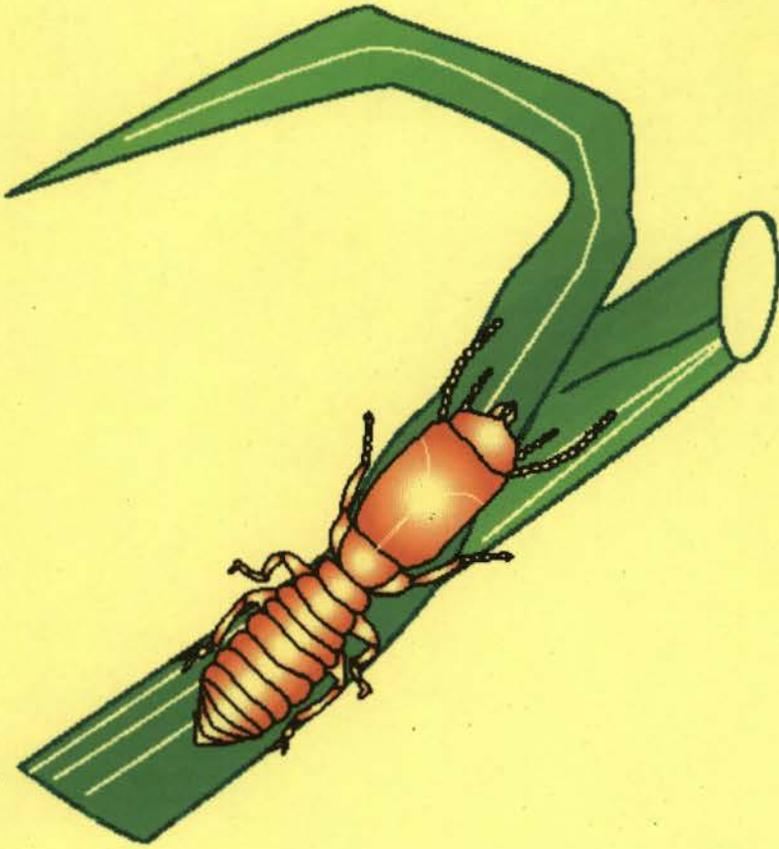
2.2.6. Tests statistiques

Les différentes analyses statistiques sont réalisées à l'aide du logiciel STATISTICA version 6.0. et du logiciel «XL STAT», les analyses en correspondances multiples et la détermination du TL50 par l'analyse probit.

Une analyse des différentes variances est réalisée et les comparaisons des moyennes de toutes les données récoltées faites à l'aide des tests de DUNCAN et de NEWMAN-KEULS. Pour la comparaison des différents résultats avec le témoin, le test de DUNNET est appliqué. Le seuil de probabilité choisi est $P < 0,05$.

Certaines transformations effectuées sur les données brutes des essais permettent de stabiliser les variances et de corriger alors les écart-types des moyennes. Parmi les différentes transformations permises en statistique pour normaliser la distribution des populations, nous utilisons dans notre étude les transformations en $\sqrt{X+1/2}$ afin de pouvoir traiter des données nulles. Dans tous les cas, X est égal à la valeur obtenue sur le terrain.

Pour les différents tests, nous indiquons les écart-types par rapport à la moyenne. Dans tous les traitements statistiques effectués, les moyennes d'une même colonne diffèrent significativement si elles sont suivies d'une lettre alphabétique différente. Si les moyennes sont suivies de plusieurs lettres alphabétiques, il suffit qu'une seule lettre soit commune aux moyennes pour que celles-ci ne présentent pas de différences significatives.



CHAPITRE III :
Résultats et discussion

3.1. Abondances des termites et leurs attaques dans les cultures

3.1.1. Les espèces et les groupes trophiques

Des échantillonnages de la faune termitique et de leurs meules ont eu lieu en milieu naturel et en milieu de cultures au cours des trois années d'expérimentation.

3.1.1.1. Abondance des termites en milieu naturel

3.1.1.1.1. Abondance le long du transect

L'échantillonnage suivant la méthode du transect (**figure 6**) montre la présence de 6 genres de termites dans les milieux. L'espèce la plus rencontrée est *Ancistrotermes cavithorax*, avec un taux de présence global de 54,3% par rapport à l'ensemble des termites. Le genre *Microtermes* présente un taux de présence de 22,2 %.

La répartition des espèces *Ancistrotermes cavithorax* et *Microtermes spp* s'effectue clairement selon la toposéquence. En effet, une forte proportion de ces termites colonise le milieu boisé situé vers le haut de pente (où se situent nos parcelles expérimentales). Leur présence diminue vers le bas de la toposéquence (**figure 6**).

3.1.1.1.2 En savane arbustive environnante par carré de fouille

Le peuplement de la savane (environnante) autour des parcelles expérimentales a été échantillonné à deux reprises : en janvier (saison sèche) et en août (saison des pluies). Sept unités taxonomiques de termites ont été distinguées, parmi lesquelles les espèces « nuisibles » (Macrotermitinae : 4 genres pour les cultures) et les espèces humivores, qui n'attaquent pas les plants (**tableau IV**).

Les effectifs et les populations de termites varient, selon les saisons de 1418,1 à 1476,2 individus par m² pour les termites nuisibles et de 124,8 à 114,1 individus par m² pour les humivores de la saison sèche à la saison des pluies. Les biomasses totales sont de 1,83 g/m² en janvier et de 3,90 g en août.

Les Macrotermitinae dominent le peuplement termitique durant les deux campagnes avec 91,78 % des effectifs en janvier et 92,82 % en août.

3.1.1.1.3 Abondance des meules des termites champignonnistes

En raison de l'abondance de cette sous-famille, un inventaire des meules récoltées à proximité des parcelles a également été effectué (**Tableau V**). L'échantillonnage a porté sur 15 carrés de 1 m x 1m x 50 cm de profondeur. Toutes les meules récoltées appartiennent aux genres *Microtermes*, *Ancistrotermes* et *Pseudacanthotermes* (**figures 7 a, b c et d**). Les meules de *Microtermes* sont de petite taille (1 à 2 cm de diamètre) (**figure 7 a**).

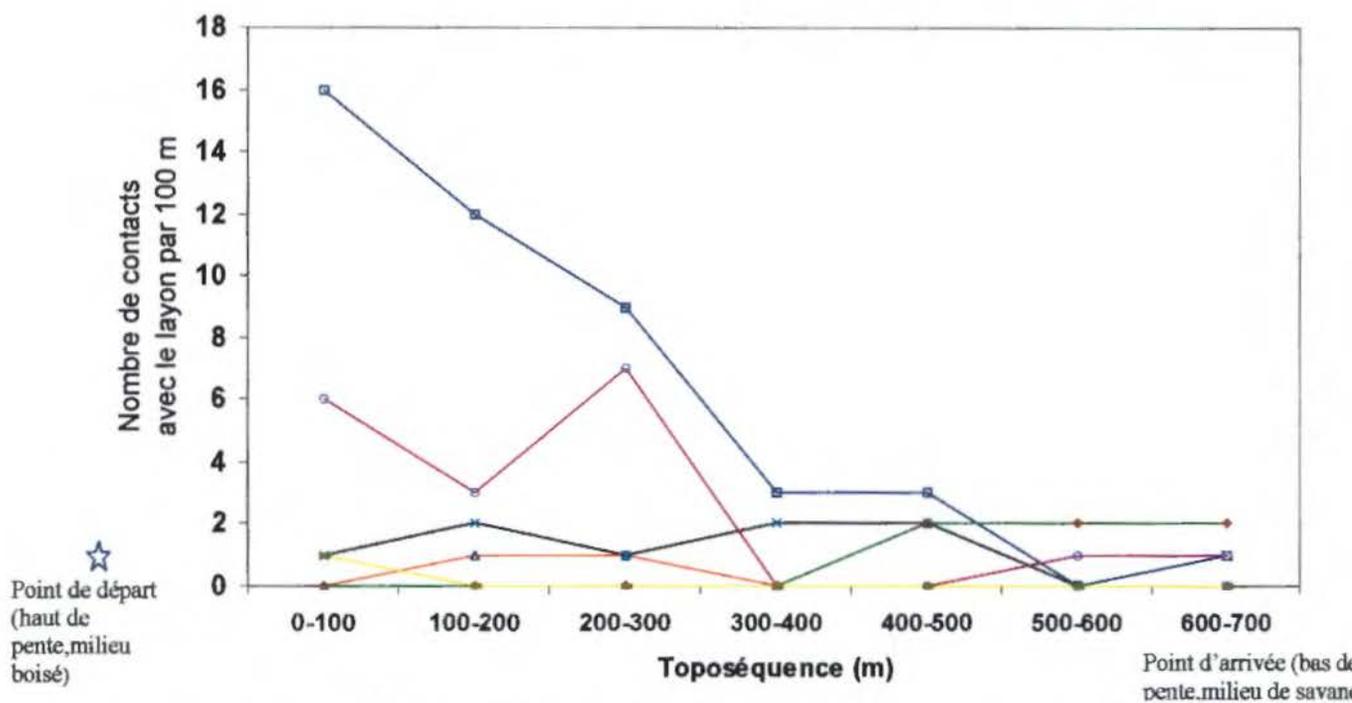


Figure 6 : Abondance relative des genres de termites rencontrés selon la toposéquence

—■— Ancistro —○— Microt —△— Pseuda —×— Amit —◇— Trinervit —■— Apicotermatinae



Emplacement de la parcelle expérimentale

Tableau IV : Densités (individus/m²) et biomasses (g de poids sec/m²) des unités taxonomiques et espèces de termites en savane (N = 15)

Macrofaune	Groupes	Effectif/m² Biomasse (g)	Janvier 1998	Août 1998
Termites nuisibles	<i>Ancistrotermes</i>	Effectif	228,70	941,80
		Biomasse	0,74	2,29
	<i>Microtermes</i>	Effectif	963,20	365,90
		Biomasse	0,40	0,27
	<i>Odontotermes</i>	Effectif	61,90	32,00
		Biomasse	0,12	0,08
	<i>Pseudacanthotermes</i>	Effectif	164,30	136,50
		Biomasse	0,32	0,50
Total termites nuisibles			1418,10	1476,20
			1,58	3,14
Termites humivores	<i>Basidentitermes</i>	Effectif	0,00	32,001
		Biomasse	0,00	0,07
	<i>Cubitermes</i>	Effectif	0,00	6,40
		Biomasse	0,00	0,03
	Apicotermatinae	Effectif	124,80	75,70
		Biomasse	0,25	0,66
Total termites humivores		Effectif	124,80	114,10
		Biomasse	0,25	0,76
Total termites		Effectif	1542,90	1590,30
		Biomasse	1,83	3,90

Celles d'*Ancistrotermes* sont plus grandes (3 à 6 cm de diamètre) (**figure 7 a**). Les meules de *Pseudacanthotermes* se présentent sous forme de lames sinueuses plus ou moins épaisses, la structure fine et la teinte varient en fonction de l'âge (**figure 7 c**).

Quelques meules de *Macrotermes* ont été observées, mais n'ont pas été prélevées du fait qu'elles étaient totalement broyées (**figure 7 d**)

Les meules de *Microtermes* sont les plus nombreuses dans le milieu avec une densité de 28,8 /m² (**tableau V**). En ce qui concerne la biomasse, ce sont les meules d'*Ancistrotermes*, du fait de leur taille plus importante, qui dominent (30,5 g de poids sec/m²). Les meules de *Pseudacanthotermes* sont faiblement représentées dans ce milieu, avec une densité de 2,5 /m², de biomasse de 1,4 g/ m².

Les différentes corrélations entre les meules et les termites champignonnistes ont été recherchées en regroupant, pour chaque carré, les données relatives aux meules (densités et biomasses) et les données relatives aux termites (densités et biomasses).

Des corrélations de type simple, c'est-à-dire linéaire, ont été déterminées (**Tableau VI**). Les coefficients de corrélation trouvés sont significatifs pour les trois espèces de termites champignonnistes (P< 0,01 à 0,02), à l'exception des corrélations entre la biomasse des termites et la biomasse des meules, pour le genre *Microtermes*.

Pour l'ensemble des termites champignonnistes, la relation entre le nombre de termites et le poids de meules, par carré unitaire de 1 m², est hautement significative (P< 0,01).

3.1.1.2. Abondance des termites en milieu de cultures

3.1.1.2.1 Densité des termites

Parcelles plantées en maïs

Dans la parcelle témoin, les populations de termites fluctuent entre 213,4 individus/m² (1998), et 421,4 individus en 2000 (**Tableau VII**). Ces fluctuations peuvent varier selon le mode d'échantillonnage ou dépendre de la pluviométrie de l'année. Toutes les parcelles traitées avec les différents insecticides présentent dans l'ensemble des effectifs en termites plus faibles que les parcelles témoins et cela, au cours des trois campagnes (**Tableau VII**). Cette population double, selon que la parcelle est paillée à nouveau ou pas en 1999 ou 2000 (**Tableau VII**). Dans le traitement réalisé avec le Procibam[®], la population de termites tend à se reconstituer au cours du temps, pour devenir même supérieure au témoin

a)



Ancistrotermes sp.

b)



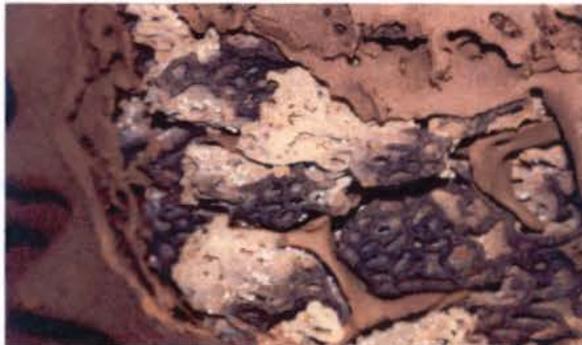
Microtermes sp.

c)



Pseudacanthotermes sp.

d)



Macrotermes sp.



Figure 7: Meules de différentes espèces de termites champignonnistes récoltées autour de la parcelle (Photos KOUASSI P. et TANO Y)

Tableau V : Densités et biomasses des meules des termites champignonnistes (N = 15)

Genres	Densité (effectif/m ²)	Biomasse (g /m ²)
<i>Microtermes</i>	28,80	16,10
<i>Ancistrotermes</i>	24,30	30,50
<i>Pseudacanthotermes</i>	2,53	1,40

Tableau VI : Corrélations entre les meules de Macrotermitinae et les populations de termites autour de la parcelle expérimentale (N = 15)

Genres	Corrélations	Equations de la droite de regression	Coefficients de corrélation (r) et degré de signification
<i>Microtermes</i>	Nm-Nt	$y = - 37,29 + 13,88 x$	0,81 (P<0,01)
	Pm-Nt	$y = 4,42 e^{-2} + 1,82 e^{-3} x$	0,60 (P<0,05)
	Nm-Pt	$y = 118,83 + 15,15 x$	0,65 (P<0,05)
	Pm-Pt	$y = 6,94 e^{-2} + 1,69 e^{-3} x$	0,41 (P>0,05) NS
<i>Ancistrotermes</i>	Nm-Nt	$y = 132,34 + 17,94 x$	0,92 (P<0,01)
	Pm-Nt	$y = 0,57 + 2,64 e^{-2} x$	0,91 (P<0,01)
	Nm-Pt	$y = 273,04 + 9,59 x$	0,57 (P<0,05)
	Pm-Pt	$y = 0,81 + 1,26 e^{-2} x$	0,51 (P<0,05)
<i>Pseudacanthotermes</i>	Nm-Nt	$y = 0,87 + 16,50 x$	0,99 (P<0,01)
	Pm-Nt	$y = 1,12,84 e^{-3} + 2,69 e^{-2} x$	0,98 (P<0,01)
	Nm-Pt	$y = 2,86 + 22,74 x$	0,82 (P<0,01)
	Pm-Pt	$y = 5,04 e^{-3} + 4,48 e^{-2} x$	0,81 (P<0,01)

Nm: nombre de meules

Nt: nombre de termites

Pm: poids de meules

Pt: poids de termites

lors de la campagne 2000 (725,3 termites/m² dans les parcelles traitées une seule fois en 1998). Seul le traitement au Régent[®] B, et dans une plus faible mesure, le traitement au Régent[®] C, se montrent efficaces au cours des ces trois années en simple et en double traitement, démontrant un effet insecticide qui se maintient au cours du temps (respectivement 37,4 et 117,3 termites/m² lors de la campagne 2000, après un seul traitement en 1998). Pour les traitements insecticides, une seconde application du produit en 1999 a réduit sensiblement les populations de termites par rapport à une seule application.

Parcelles plantées en riz

Les parcelles cultivées en riz semblent être plus favorables aux populations de termites que celles plantées en maïs. Le témoin, non traité, présente un accroissement de sa population, dans le même sens que celle constatée dans les parcelles plantées en maïs, de 325 individus/m² en 1998, à 533,3 individus/m² en 1999 et à 517,3 individus en 2000 (**Tableau VIII**). Les parcelles traitées aux Régent[®] B et A en application unique ou en double application présentent des effectifs en termites plus faibles que les parcelles témoins (**Tableau VIII**). Les parcelles traitées au Régent[®] C, au Procibam[®] et à la paille, montrent des accroissements de la population en termites au cours du temps, ce qui semble dénoter un perte de l'efficacité de ces produits et les inconvénients du paillage. Toutefois, les parcelles traitées deux fois (en 1998 et 1999) ont en général un nombre de termites inférieur à celles qui ont subi un traitement unique (**Tableau VIII**), sauf pour le Régent[®] C en 2000.

3.1.1.2.2. Densités des espèces et des groupes trophiques

Nous avons classé les populations de termites selon les principaux groupes trophiques : les champignonnistes, les humivores et les xylophages, afin de mieux distinguer les espèces potentiellement nuisibles aux cultures. Ainsi, les termites champignonnistes sont les principaux déprédateurs des cultures, avec quelques espèces xylophages. Au niveau des espèces, *Microtermes spp.* et *Ancistrotermes cavithorax* sont les principaux déprédateurs, rencontrés généralement dans les deux cultures.

Parcelles plantées en maïs

Les espèces *Microtermes spp.* et *Ancistrotermes cavithorax* constituent les principaux termites présents dans l'ensemble des traitements (**Annexes II a, II b**). Les effectifs de ces termites diminuent avec le temps et avec le nombre des traitements. En effet, les analyses statistiques révèlent d'importantes différences de chute des populations de *Microtermes* dans

Tableau VII : Densité des termites sur les parcelles plantées en maïs durant les campagnes 1998 (N = 9), 1999 (N = 3) et 2000 (N = 3)

Traitement	Densité T0 (1998)	Densité T1 (1999)	Densité T2 (1999)	Densité T1 (2000)	Densité T2 (2000)
Témoin	213,40	192,00		421,40	
Régent A	29,60	176,00		202,70	202,70
Régent B	209,80	58,60	32,00	37,40	10,70
Régent C	49,80	144,00	58,60	117,30	74,60
Procibam	87,10	136,60	117,30	725,30	501,30
Paillage	186,70	654,40	401,10	843,40	898,10

Tableau VIII: Densité des termites sur les parcelles plantées en riz durant les campagnes 1998 (N = 9), 1999 (N = 3) et 2000 (N = 3)

Traitement	Densité T0 (1998)	Densité T1 (1999)	Densité T2 (1999)	Densité T1 (2000)	Densité T2 (2000)
Témoin	325,30	533,30		517,30	
Régent A	728,30	304,00		357,30	69,30
Régent B	104,90	80,00	85,30	174,00	51,30
Régent C	257,80	725,30	325,00	378,70	730,70
Procibam	389,20	645,30	517,40	795,30	325,30
Paillage	641,80	870,90	794,70	938,70	842,10

la parcelle témoin au cours des trois campagnes. Au niveau du paillage, la densité de *Ancistrotermes* augmente avec le temps. Les termites du genre *Amitermes* et les humivores qui n'existaient pas dans le milieu en première année, colonisent le milieu et y demeurent. Au niveau des termites du genre *Pseudacanthotermes*, les baisses du nombre d'individus au cours des trois campagnes sont prononcées dans les parcelles témoin ($P = 0,047$). Le traitement au Régent[®] A se montre le moins efficace sur la population d'*Ancistrotermes* qui a augmenté dans le temps. Le double traitement se révèle efficace pour les insecticides à base de Fipronil, car il diminue ou élimine les termites dans le milieu (**Tableaux IX a et IX b**). Le traitement au Procibam[®] semble présenter un moindre effet sur les populations de termites au niveau des parcelles de maïs.

Au niveau des groupes trophiques, les humivores sont en général peu abondants dans ces milieux, sans doute à cause de la saisonnalité assez forte du climat. Les termites champignonnistes sont majoritaires sur l'ensemble des parcelles traitées y compris le paillage, sauf au cours de la première année sur les parcelles traitées avec le Régent[®] B, où on constate une proportion d'humivores de 71,85 % et au cours de la dernière campagne sur les parcelles traitées deux fois avec le Procibam[®] (**Annexes II a, II b**). Les humivores rétablissent leur population dans les parcelles témoin en 2000, sans doute à cause de la forte pluviométrie au cours de cette année.

Parcelles plantées en riz

Les termites champignonnistes (*Microtermes spp.* et *Ancistrotermes cavithorax*) sont présents sur toutes les parcelles (**Tableau X a et b**).

Au niveau de l'ensemble des traitements insecticides, la seconde application des produits ne semble pas perturber les populations d'*Ancistrotermes cavithorax* qui se maintiennent et parfois augmentent dans certains milieux (Régent[®] A, Régent[®] C et Procibam[®]). Quant aux *Pseudacanthotermes*, ils connaissent une baisse de leur densité similaire à celle observée au niveau de la culture de riz. Les termites humivores colonisent les milieux non traités au bout de deux ans et sont inexistantes dans les milieux où le traitement a été renouvelé (**Tableau X a et b**).

Sur les parcelles paillées, la population de *Microtermes* croît dans le temps, quand celle des autres genres se stabilise malgré le non renouvellement de cet amendement (**Tableau X a et b**). Les seuls traitements dans lesquels les humivores sont majoritaires sont les traitements T1 du Procibam[®] de la campagne 1999 et T1 et T2 de la campagne 2000 du Régent[®] C, avec des proportions respectives de 56,7 % et de 78,8 %.

**Tableau IX a : Densité (individus/m²) des termites sur les parcelles plantées en maïs
durant les campagnes 1998 (N = 9), 1999 (N =3) et 2000 (N =3)**

Traitement	Espèces de termites	Densité	Densité	Densité	Densité	Densité
		T0 (1998)	T1 (1999)	T2 (1999)	T1 (2000)	T2 (2000)
Témoïn	<i>Microtermes sp.</i>	154,70	144,0		122,7	
	<i>Ancistrotermes sp.</i>	51,60	32,0		64,0	
	<i>Pseudacanthotermes sp.</i>	3,50	0,0		37,3	
	<i>Odontotermes sp.</i>	0,00	0,0		0,0	
	<i>Amitermes sp.</i>	0,00	16,0		0,0	
	Apicotermittinae	3,60	0,0		154,7	
	<i>Cubitermes sp.</i>	0,00	0,0		0,0	
	<i>Promirotermes sp.</i>	0,00	0,0		42,7	
	<i>Pericapritermes sp.</i>	0,00	0,0		0,0	
Régent A	<i>Microtermes sp.</i>	24,30	128,0		149,3	48,0
	<i>Ancistrotermes sp.</i>	5,30	32,0		42,7	69,3
	<i>Pseudacanthotermes sp.</i>	0,00	0,0		10,7	0,0
	<i>Amitermes sp.</i>	0,00	5,3		0,0	0,0
	Apicotermittinae	0,00	10,7		0,0	21,3
Régent B	<i>Microtermes sp.</i>	53,30	48,0	32,0	26,7	10,7
	<i>Ancistrotermes sp.</i>	3,60	5,3	0,0	10,7	0,0
	Apicotermittinae	152,90	5,3	0,0	0,0	0,0
Régent C	<i>Microtermes sp.</i>	48,00	64,0	37,3	101,3	69,3
	<i>Ancistrotermes sp.</i>	1,80	26,7	10,7	10,7	0,0
	<i>Pseudacanthotermes sp.</i>	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Amitermes sp.</i>	0,00	21,3	5,3	0,0	0,0
	Apicotermittinae	0,00	32,0	5,3	0,0	0,0
	<i>Cubitermes sp.</i>	0,00	0,0	0,0	5,3	5,3
Procibam	<i>Microtermes sp.</i>	71,10	83,3	64,0	352,0	128,0
	<i>Ancistrotermes sp.</i>	0,00	32,0	5,3	352,0	0,0
	<i>Pseudacanthotermes sp.</i>	16,00	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Promirotermes sp.</i>	0,00	0,0	0,0	0,0	21,3
	<i>Cubitermes sp.</i>	0,00	0,0	0,0	21,3	778,7
	Apicotermittinae	0,00	21,3	53,3	21,3	0,0
Paillage	<i>Microtermes sp.</i>	138,70	317,3	204,8	299,2	221,8
	<i>Ancistrotermes sp.</i>	19,70	124,8	79,5	165,3	217,6
	<i>Pseudacanthotermes sp.</i>	12,40	107,7	4,8	113,6	275,2
	<i>Amitermes sp.</i>	0,00	28,3	21,9	75,3	96,0
		0,00	25,6	39,5	125,3	25,6
	<i>Cubitermes sp.</i>					
	Apicotermittinae	0,00	50,7	56,7	74,2	61,9

Tableau IX b : Biomasses (g/m²) des termites sur les parcelles plantées en maïs durant les campagnes 1998(N = 9), 1999 (N = 3) et 2000 (N = 3)

Traitement	Espèces de termites	Biomasse	Biomasse	Biomasse	Biomasse	Biomasse
		T0 (1998)	T1 (1999)	T2 (1999)	T1 (2000)	T2 (2000)
Témoin	<i>Microtermes sp.</i>	0,174		0,107		0,069
	<i>Ancistrotermes sp.</i>	0,107		0,059		0,112
	<i>Pseudacanthoermites sp.</i>	0,007		0,0		0,075
	<i>Odontotermes sp.</i>	0,0		0,0		0,0
	<i>Amitermes sp.</i>	0,0		0,037		0,0
	<i>Apicotermittinae</i>	0,005		0,0		0,288
	<i>Cubitermes sp.</i>	0,0		0,0		0,0
	<i>Promirotermes sp.</i>	0,0		0,0		0,027
	<i>Pericapritermes sp.</i>	0,0		0,0		0,0
Régent A	<i>Microtermes sp.</i>	0,013		0,080		0,108
	<i>Ancistrotermes sp.</i>	0,075		0,075		0,075
	<i>Pseudacanthoermites sp.</i>	0,0		0,0		0,085
	<i>Amitermes sp.</i>	0,0		0,011		0,0
	<i>Apicotermittinae</i>	0,0		0,016		0,0
Régent B	<i>Microtermes sp.</i>	0,030	0,032	0,027	0,016	0,011
	<i>Ancistrotermes sp.</i>	0,046	0,011	0,0	0,021	0,0
	<i>Apicotermittinae</i>	0,035	0,011	0,0	0,00	0,0
Régent C	<i>Microtermes sp.</i>	0,034	0,037	0,032	0,085	0,064
	<i>Ancistrotermes sp.</i>	0,005	0,053	0,021	0,032	0,0
	<i>Pseudacanthoermites sp.</i>	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0
	<i>Amitermes sp.</i>	0,0	0,048	0,021	0,0	0,0
	<i>Apicotermittinae</i>	0,0	0,043	0,011	0,0	0,0
	<i>Cubitermes sp.</i>	0,0	0,0	0,0	0,053	0,053
Procibam	<i>Microtermes sp.</i>	0,046	0,064	0,032	0,581	0,08
	<i>Ancistrotermes sp.</i>	0,0	0,048	0,011	0,501	0,0
	<i>Pseudacanthoermites sp.</i>	0,041	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>Promirotermes sp.</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,016
	<i>Apicotermittinae</i>	0,0	0,043	0,048	0,043	0,0
Paillage	<i>Microtermes sp.</i>	0,008	0,128	0,127	0,125	0,117
	<i>Ancistrotermes sp.</i>	0,028	0,122	0,085	0,156	0,314
	<i>Pseudacanthoermites sp.</i>	0,044	0,147	0,019	0,132	0,576
	<i>Amitermes sp.</i>	0,0	0,029	0,034	0,072	0,159
	<i>Cubitermes sp.</i>	0,0	0,085	0,025	0,027	0,155
	<i>Apicotermittinae</i>	0,0	0,080	0,013	0,137	0,155

Tableau X a : Densité (individus/m²) des termites sur les parcelles plantées en riz durant les campagnes 1998 (N = 9), 1999 (N = 3) et 2000 (N = 3)

Traitement	Espèces de termites	Densité	Densité	Densité	Densité	Densité
		T0(1998)	T1 (1999)	T2 (1999)	T1 (2000)	T2 (2000)
Témoin	<i>Microtermes sp.</i>	144,0		165,3		149,3
	<i>Ancistrotermes sp.</i>	58,7		112,0		128,0
	<i>Pseudacanthotermes sp.</i>	117,3		53,3		37,3
	<i>Amitermes sp.</i>	0,0		128,0		0,0
	<i>Apicotermatinae</i>	0,0		48,0		154,7
	<i>Pericapritermes sp.</i>	5,3		0,0		0,0
	<i>Promirotermes sp.</i>	0,0		0,0		48,0
	<i>Cubitermes sp.</i>	0,0		26,7		0,0
Régent A	<i>Microtermes sp.</i>	24,9		69,3	208,0	48,0
	<i>Ancistrotermes sp.</i>	5,3		42,7	101,3	0,0
	<i>Pseudacanthotermes sp.</i>	698,7		192,0	0,0	0,0
	<i>Apicotermatinae</i>	0,0		0,0	48,0	21,3
	<i>Pericapritermes sp.</i>	0,0		0,0	0,0	0,0
Régent B	<i>Microtermes sp.</i>	85,3	42,7	21,3	142,0	30,0
	<i>Ancistrotermes sp.</i>	17,8	37,3	64,0	32,0	0,0
	<i>Apicotermatinae</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	21,3
	<i>Pericapritermes sp.</i>	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0
Régent C	<i>Microtermes sp.</i>	234,7	96,0	101,3	378,7	106,7
	<i>Ancistrotermes sp.</i>	14,2	26,7	64,0	0,0	32,0
	<i>Pseudacanthotermes sp.</i>	24,9	85,3	85,3	0,0	16,0
	<i>Amitermes sp.</i>	0,0	245,3	0,0	0,0	0,0
	<i>Cubitermes sp.</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	576,0
	<i>Apicotermatinae</i>	8,9	272,0	74,7	0,0	0,0
Procibam	<i>Microtermes sp.</i>	158,2	197,3	186,7	256,7	234,7
	<i>Ancistrotermes sp.</i>	37,3	53,3	90,7	496,0	85,3
	<i>Pseudacanthotermes sp.</i>	190,2	0,0	0,0	37,3	5,3
	<i>Macrotermes sp.</i>	0,0	0,0	0,0	5,3	0,0
	<i>Apicotermatinae</i>	3,5	394,7	240,0	0,0	0,0
Paillage	<i>Microtermes sp.</i>	209,8	309,3	296,0	384,5	309,3
	<i>Ancistrotermes sp.</i>	284,4	120,0	233,1	165,3	192,5
	<i>Pseudacanthotermes sp.</i>	138,9	113,1	90,1	113,6	138,1
	<i>Amitermes sp.</i>	0,0	120,5	43,2	75,7	92,3
	<i>Cubitermes sp.</i>	0,0	69,3	96,5	74,2	84,3
	<i>Apicotermatinae</i>	10,7	0,0	37,7	123,3	25,6

Tableau X b : Biomasses (g/m²) des termites sur les parcelles plantées en riz durant les campagnes 1998 (N = 9), 1999 (N = 3) et 2000 (N = 3)

Traitement	Espèces de termites	Densité	Densité	Densité	Densité	Densité
		T0 (1998)	T1 (1999)	T2 (1999)	T1 (2000)	T2 (2000)
Témoin	<i>Microtermes sp.</i>	0,108		0,107		0,059
	<i>Ancistrotermes sp.</i>	0,119		0,208		0,448
	<i>Pseudacanthotermes sp.</i>	0,425		0,139		0,064
	<i>Amitermes sp.</i>	0,0		0,155		0,0
	<i>Apicotermitinae</i>	0,0		0,075		0,325
	<i>Pericapritermes sp.</i>	0,014		0,0		0,0
	<i>Promirotermes sp.</i>	0,0		0,0		0,075
	<i>Cubitermes sp.</i>	0,0		0,048		0,0
Régent A	<i>Microtermes sp.</i>	0,012		0,053		0,117
	<i>Ancistrotermes sp.</i>	0,005		0,091		0,187
	<i>Pseudacanthotermes sp.</i>	1,548		0,363		0,0
	<i>Apicotermitinae</i>	0,0		0,0		0,101
Régent B	<i>Microtermes sp.</i>	0,039	0,037	0,021	0,053	0,054
	<i>Ancistrotermes sp.</i>	0,016	0,064	0,107	0,347	0,0
	<i>Apicotermitinae</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,027
	<i>Pericapritermes sp.</i>	0,005	0,0	0,0	0,0	0,0
Régent C	<i>Microtermes sp.</i>	0,105	0,075	0,075	0,187	0,059
	<i>Ancistrotermes sp.</i>	0,012	0,053	0,117	0,0	0,032
	<i>Pseudacanthotermes sp.</i>	0,076	0,181	0,181	0,0	0,229
	<i>Amitermes sp.</i>	0,0	0,475	0,0	0,0	0,0
	<i>Cubitermes sp.</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	4,475
	<i>Apicotermitinae</i>	0,021	0,373	0,091	0,0	0,0
Procibam	<i>Microtermes sp.</i>	0,074	0,176	0,208	0,117	0,113
	<i>Ancistrotermes sp.</i>	0,034	0,101	1,155	1,115	1,237
	<i>Pseudacanthotermes sp.</i>	0,329	0,0	0,0	0,123	0,011
	<i>Macrotermes sp.</i>	0,0	0,0	0,0	0,085	0,0
	<i>Apicotermitinae</i>	0,014	0,603	0,373	0,0	0,0
Paillage	<i>Microtermes sp.</i>	0,116	0,162	0,151	0,182	0,159
	<i>Ancistrotermes sp.</i>	0,620	0,153	0,330	0,156	0,163
	<i>Pseudacanthotermes sp.</i>	0,330	0,225	0,186	0,132	0,319
	<i>Amitermes sp.</i>	0,0	0,097	0,053	0,072	0,085
	<i>Cubitermes sp.</i>	0,0	0,032	0,062	0,027	0,081
	<i>Apicotermitinae</i>	0,0	0,0	0,088	0,137	0,098

3.1.1.2.3. Diversité des termites en milieu de cultures

Les parcelles de riz sont, plus riches en termites que les parcelles de maïs : elles hébergent plus d'individus, mais avec le même nombre d'espèces (5 ou 6) (**Tableaux XI et XII**).

Parcelles plantées en maïs

Le témoin présente une diversité, calculée selon l'indice de Shannon, qui varie entre 0,31 (en 1998) et 0,63 (en 2000) (**Tableau XI**). Le Régent[®] B et le Régent[®] C induisent une diminution nette de l'indice de diversité au cours du temps, qui tend vers zéro (présence d'une seule espèce) dans les parcelles T2 de 1999 et 2000 au niveau du traitement au Régent[®] B. Cela traduit son efficacité, non immédiate mais progressive, sur la diversité des populations de termites. Le Régent[®] A et le Procibam[®] ont des indices qui restent pratiquement constants tout au long des années et des traitements, à un niveau peu différent de celui du témoin, excepté en 2000. De 1 à 3 espèces arrivent à se maintenir, même en faibles effectifs, dans les parcelles traitées.

Le paillage présente les indices de diversité les plus élevés de tous les traitements, fortement supérieurs au témoin durant les trois années. Ces indices varient entre 0,27 en 1998 et 0,60 en 2000 (**Tableau XI**). De 3 espèces au départ, le milieu est colonisé par 6 espèces qui y demeurent dans le temps.

Parcelles plantées en riz

Dans ces parcelles, seul le Régent[®] C présente une diminution nette de l'indice de diversité au cours du temps, pour devenir nul dans les parcelles T1 de 2000 (**Tableau XII**). Son efficacité est alors traduite au bout d'un an sur les populations de termites. Les traitements avec le Régent[®] B et le Régent[®] A présentent des indices qui varient peu au cours du temps, et qui restent voisins de ceux obtenus dans les parcelles témoins, qui oscillent entre 0,48 et 0,71. Par rapport aux parcelles plantées en maïs, il semble que les indices de diversité des peuplements en termites sont ici moins affectés par les traitements insecticides. De 2 à 4 espèces se maintiennent dans les milieux respectifs au bout des 3 années.

Le paillage présente une augmentation de l'indice de diversité dans le temps, puis une stabilisation par la suite (**tableau XII**). Le nombre d'espèces dans le milieu passe de 4 à 6 au bout d'un an.

Tableau XI : Diversité des peuplements de la faune termitique des parcelles T1 et T2 de maïs 1998 (N = 9), 1999 (N = 3) et 2000 (N = 3)

		Parcelles T0 (An 1998)	Parcelles T1 (An 1999)	Parcelles T2 (An 1999)	Parcelles T1 (An 2000)	Parcelles T2 (An 2000)
TEM	I_{sh}	0,31	0,31		0,63	
	n	4	3		5	
REG A	I_{sh}	0,20	0,35		0,31	0,31
	n	2	4		3	3
REG B	I_{sh}	0,28	0,26	0,00	0,26	0,00
	n	3	4	1	2	1
REG C	I_{sh}	0,07	0,56	0,45	0,21	0,11
	n	2	4	4	3	2
PRO	I_{sh}	0,21	0,40	0,30	0,35	0,32
	n	2	3	2	3	3
Paillage	I_{sh}	0,27	0,56	0,53	0,65	0,60
	n	3	6	6	6	6

Tableau XII : Diversité des peuplements de la faune termitique des parcelles T1 et T2 de riz 1998 (N = 9), 1999 (N = 3) et 2000 (N = 3)

		Parcelles T0 (An 1998)	Parcelles T1 (An 1999)	Parcelles T2 (An 1999)	Parcelles T1 (An 2000)	Parcelles T2 (An 2000)
TEM	I_{sh}	0,48	0,71		0,64	
	n	4	6		5	
REG A	I_{sh}	0,06	0,39		0,41	0,23
	n	3	3		3	2
REG B	I_{sh}	0,23	0,30	0,24	0,21	0,29
	n	3	2	2	2	2
REG C	I_{sh}	0,16	0,60	0,59	0,00	0,30
	n	3	5	4	1	4
PRO	I_{sh}	0,43	0,38	0,45	0,36	0,28
	n	4	3	4	4	3
Paillage	I_{sh}	0,46	0,53	0,62	0,60	0,60
	n	4	5	6	6	6

I_{sh} : Indice de Shannon

n : nombre d'espèces de termites

3.1.1.2.4 Influence des traitements sur le taux de présence des termites

Après avoir examiné les résultats concernant les populations de termites au niveau du sol, nous analysons la présence de termites au niveau des plants.

Taux de présence dans les cultures de riz

Les taux de présence des termites sur les plants dans les parcelles de la campagne 1998, montrent, d'une part, que les traitements insecticides présentent des taux de présence qui ne diffèrent pas significativement de ceux constatés pour les témoins et le paillage (**Figure 8**). D'autre part, le Procibam[®] ne se distingue pas des traitements au Fipronil. Ces similarités restent valables, que l'on considère les termites dans leur totalité ou seulement les termites déprédateurs.

Les données de la seconde campagne (1999) ne montrent également aucune différence significative entre les traitements insecticides, le paillage et le témoin. Globalement, que ce soit dans les parcelles traitées 2 fois (T2) (**Figure 10**) ou une seule fois (T1) (**Figure 9**), les taux de présence des termites dans les parcelles témoins et les parcelles paillées ont sensiblement diminué par rapport à l'année précédente.

Sur les parcelles traitées en 1999, les mêmes conclusions peuvent être tirées : aucun traitement ne donne des résultats significativement différents du témoin (**Figure 10**).

Lors de la dernière année de culture (**Figures 11 et 12**), les différences entre les taux de présence des termites demeurent non significatives entre les traitements. Toutefois, les valeurs très faibles des infestations, tout comme l'année précédente, enlèvent une grande partie de l'intérêt que l'on peut porter à de telles comparaisons, vis-à-vis de l'efficacité supposée de ces produits au Fipronil.

Enfin, les parcelles de l'année 2000, qui n'ont été traitées qu'une seule fois en 1998, conservent néanmoins des taux de présence de termites semblables au témoin, démontrent la faible rémanence au cours du temps des produits utilisés. Le paillage a, quant à lui, permis la colonisation des termites durant toutes les trois années d'expérimentation. Cet amendement semble constituer une source de nourriture complémentaire pour ces termites déprédateurs dans le milieu, compte tenu de la constance du taux de présence de termites au cours du temps avec ou sans renouvellement du paillage.

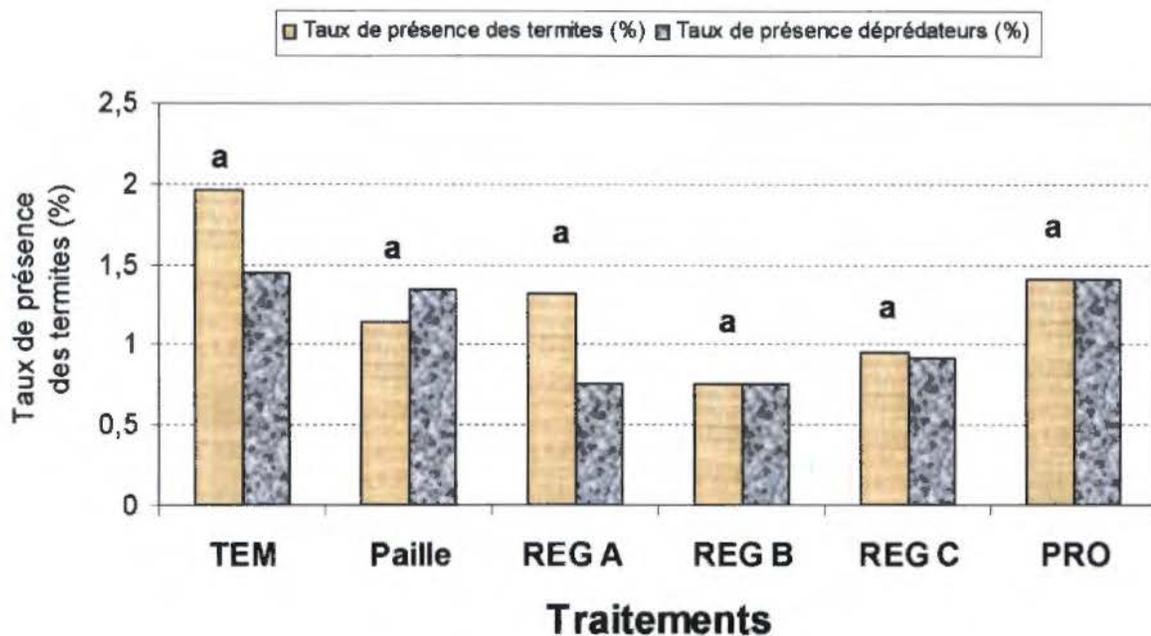


Figure 8 : Taux de présence de l'ensemble des termites et des termites déprédateurs dans les parcelles T0 de riz en 1998 à Booro-Borotou (N = 21) (Probabilité de l'ensemble des termites > 0,05 ; Probabilité des déprédateurs > 0,05)

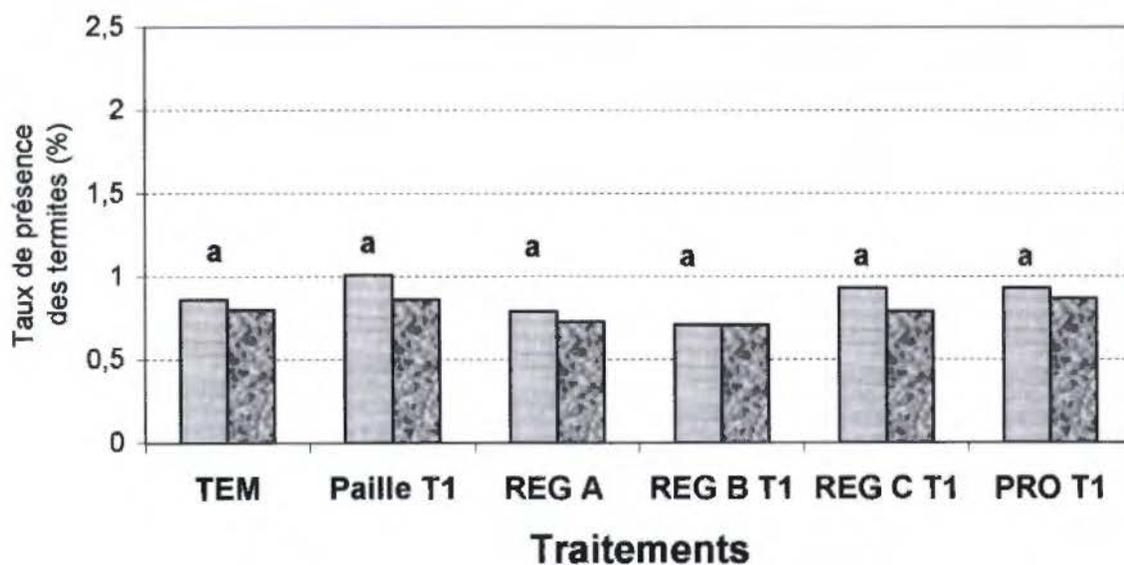


Figure 9 : Taux de présence de l'ensemble des termites et des termites déprédateurs dans les parcelles T1 de riz en 1999 à Booro-Borotou (N = 21) (Probabilité de l'ensemble des termites > 0,05 ; Probabilité des déprédateurs > 0,05)

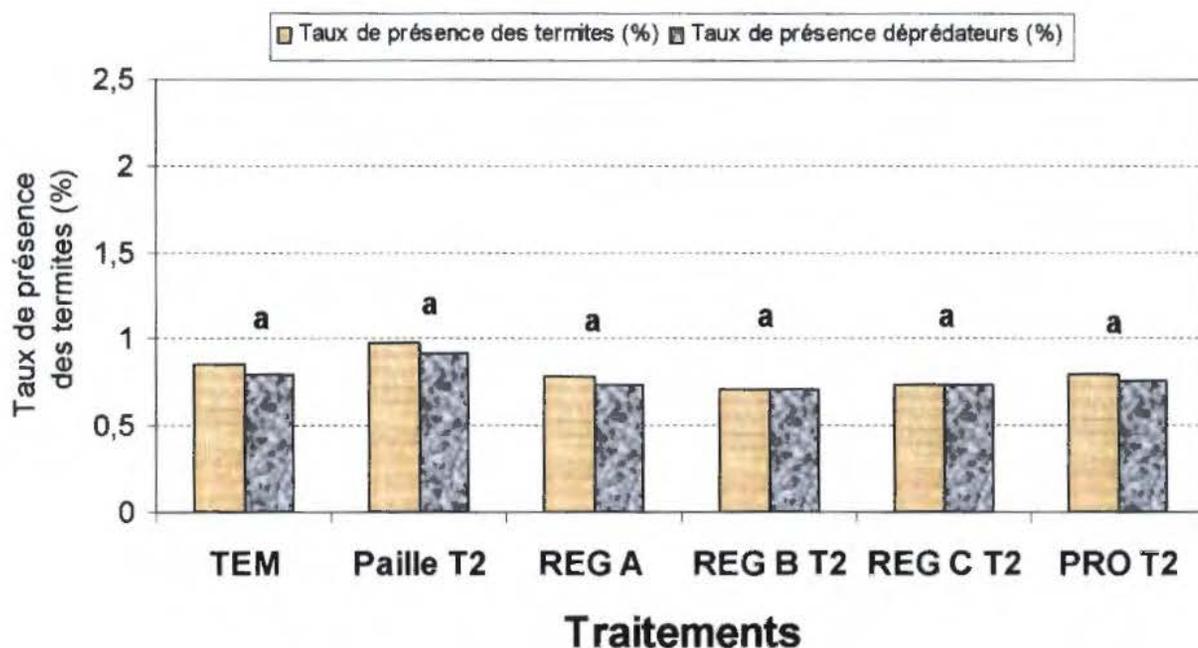


Figure 10 : Taux de présence de l'ensemble des termites et des termites prédateurs dans les parcelles T2 de riz en 1999 à Booro-Borotou (N = 21) (Probabilité de l'ensemble des termites > 0,05 ; Probabilité des prédateurs > 0,05)

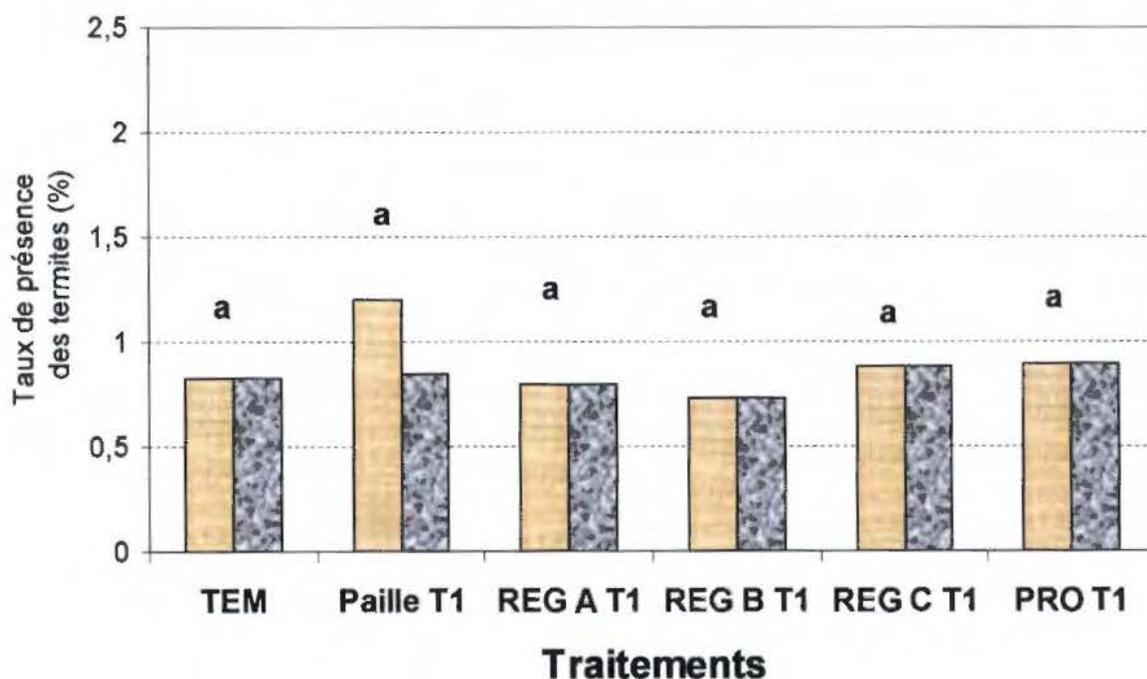


Figure 11 : Taux de présence de l'ensemble des termites et des termites prédateurs dans les parcelles T1 de riz en 2000 à Booro-Borotou (N = 21) (Probabilité de l'ensemble des termites > 0,05 ; Probabilité des prédateurs > 0,05)

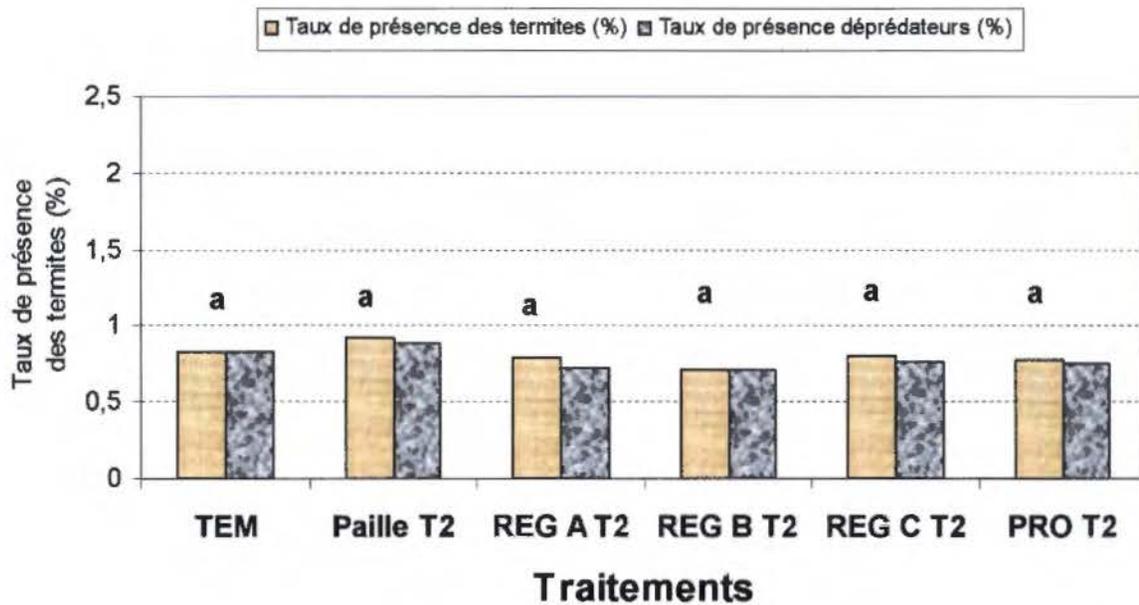


Figure 12 : Taux de présence de l'ensemble des termites et des termites déprédateurs dans les parcelles T2 de riz en 2000 à Booro-Borotou (N = 21) (Probabilité de l'ensemble des termites > 0,05 ; Probabilité des déprédateurs > 0,05)

Taux de présence dans les cultures de maïs

En 1998, les traitements avec le Régent[®] B, le Régent[®] C et le Régent[®] A, réduisent significativement les taux de présence des termites par rapport au témoin et au paillage, alors que le Procibam[®] se révèle inefficace (**Figure 13**).

La seconde année, on observe à peu de choses près les mêmes tendances : les 3 traitements au Fipronil diminuant significativement les taux de présence, à la différence du Procibam[®], qui demeure sans effet significatif (**Figure 14**). On remarque également que les parcelles ayant subi deux traitements consécutifs (en 1998 et 1999), présentent des taux de présence encore plus réduits, notamment pour le Régent[®] C (**Figure 15**).

La dernière année (2000), les différences entre les traitements insecticides et le témoin, demeurent accentuées du fait d'une augmentation notable des taux de présence des termites dans les parcelles témoins. Toutefois, au niveau du paillage, le taux de présence des termites baisse significativement par rapport à celui des parcelles T1 traitées aux insecticides. Le Régent[®] B et le Régent[®] C apparaissent plus efficaces que le paillage, qui parvient à enregistrer des taux de présence inférieurs au témoin dans les parcelles ayant reçu un traitement (T1). Les parcelles traitées au Procibam[®] (parcelles T1 et T2), restent toujours, non significativement différentes du témoin et des parcelles paillées dans leurs résultats (**Figures 16 et 17**).

3.1.1.2.5. Répartition en profondeur des populations de termites

Parcelles de riz

La parcelle témoin a une population de termites répartie de façon presque égale entre les couches 0-10, 10-20 et 20-30 cm en 1998 et 1999 (**tableau XIII**) . Ce n'est pas le cas en 2000, où une majorité de la population se situe dans la couche 20-30 cm (63,2%).

Le peuplement des parcelles traitées en 1998 apparaît nettement plus en profondeur : 62,5% dans la couche de 20 à 30 cm pour le Régent[®] A, aucun individu dans la couche supérieure du sol pour le Régent[®] B et le Régent[®] C et 78,5% pour ce dernier traitement dans la couche la plus profonde. Mais nous avons vu précédemment que les peuplements de ces parcelles témoins pouvaient être perturbés par les traitements insecticides effectués en périphérie.

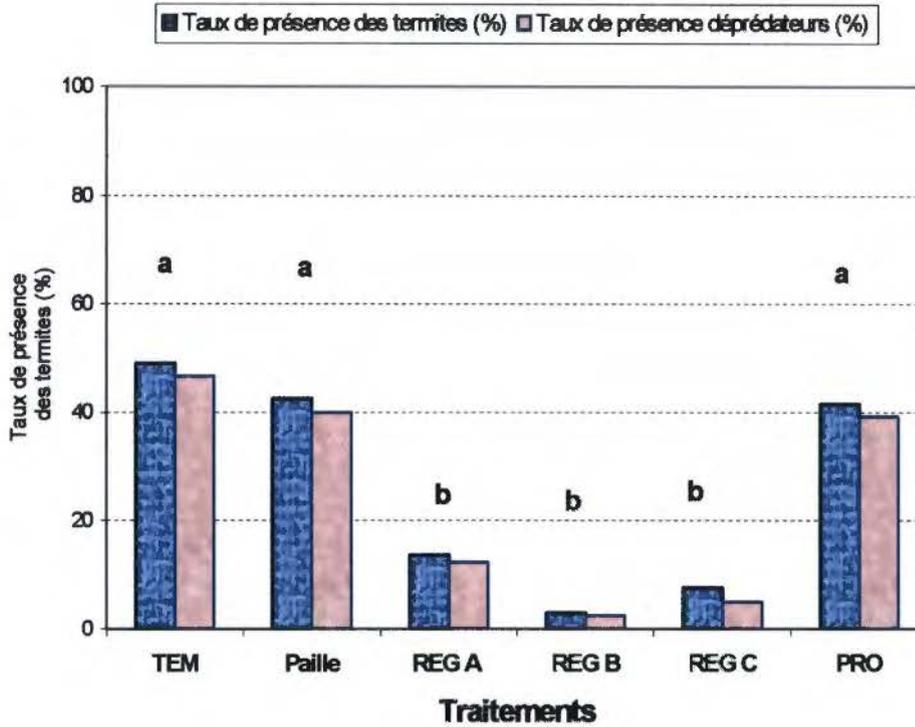


Figure 13 : Taux de présence de l'ensemble des termites et des termites déprédateurs dans les parcelles T0 de maïs en 1998 (N = 100)
 (Probabilité de l'ensemble des termites < 0,001 ; Probabilité des déprédateurs < 0,001)

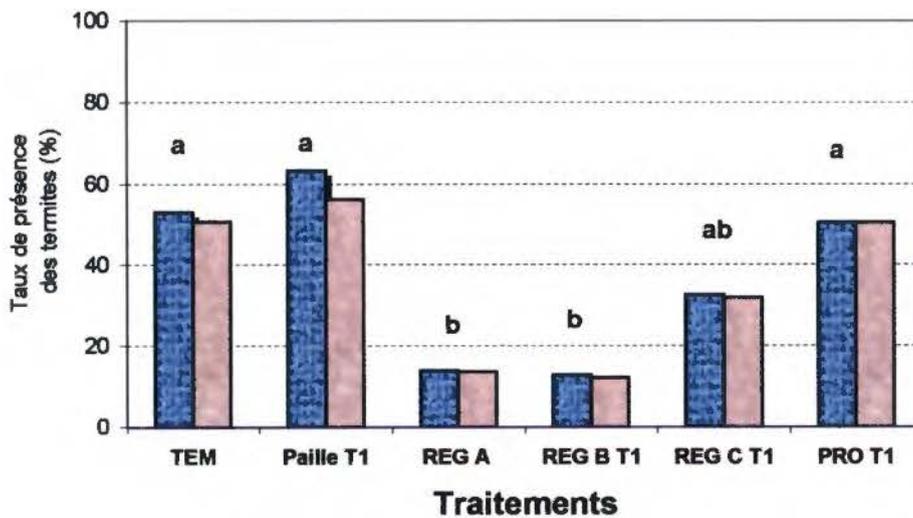


Figure 14 : Taux de présence de l'ensemble des termites et des termites déprédateurs dans les parcelles T1 de maïs en 1999 (N = 100)
 (Probabilité de l'ensemble des termites < 0,001 ; Probabilité des déprédateurs < 0,001)

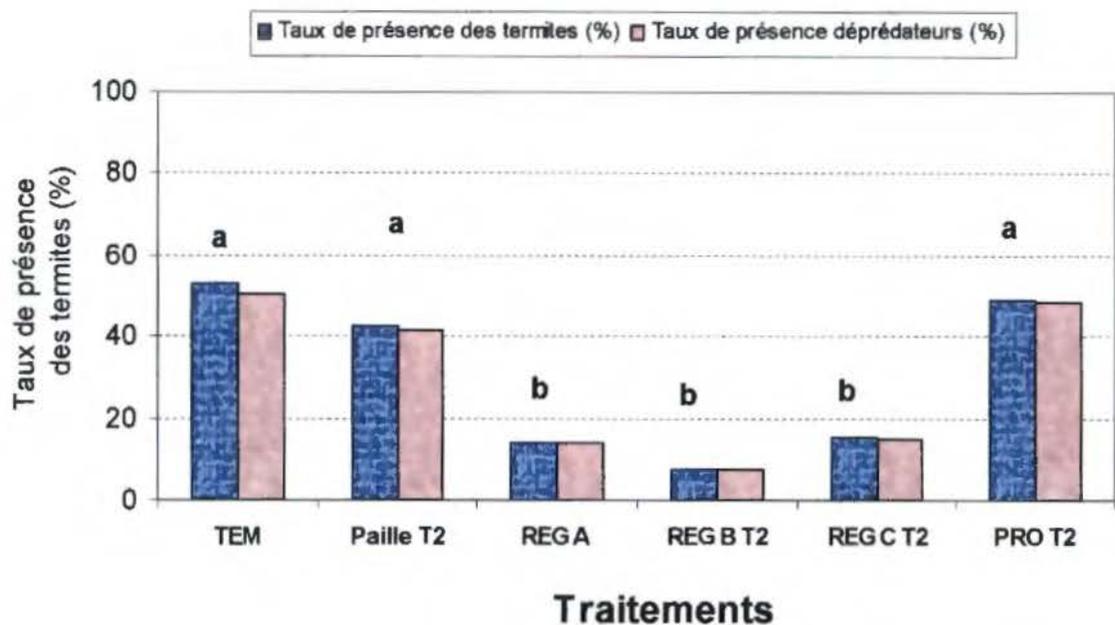


Figure 15 : Taux de présence de l'ensemble des termites et des termites déprédateurs dans les parcelles T2 de maïs en 1999 (N = 100)
 (Probabilité de l'ensemble des termites < 0,001 ; Probabilité des déprédateurs < 0,001)

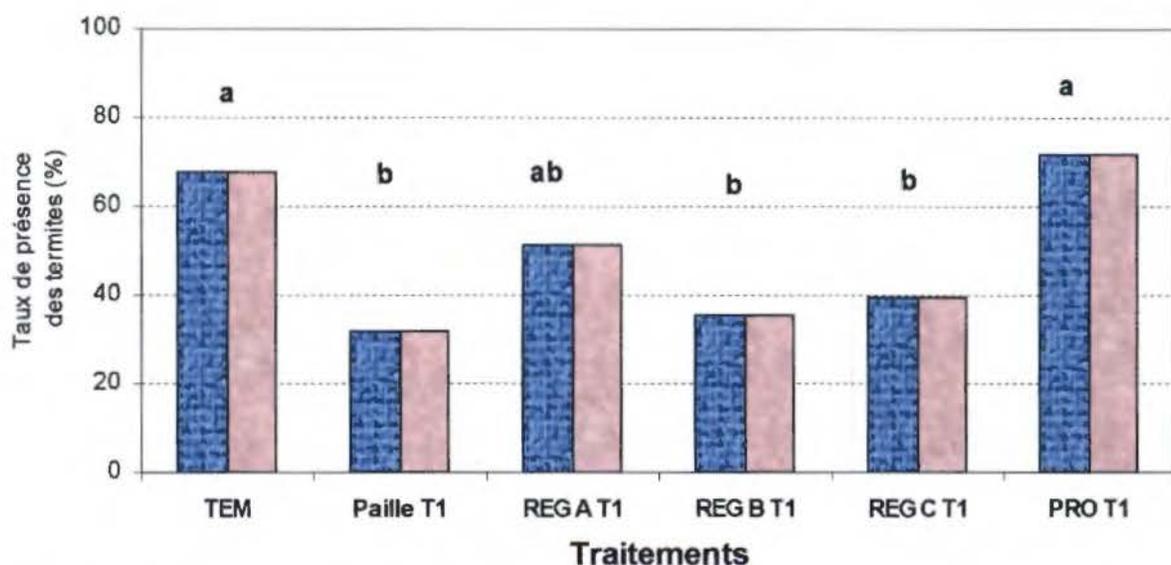


Figure 16 : Taux de présence de l'ensemble des termites et des termites déprédateurs dans les parcelles T1 de maïs en 2000 (N = 100)
 (Probabilité de l'ensemble des termites < 0,001 ; Probabilité des déprédateurs < 0,001)

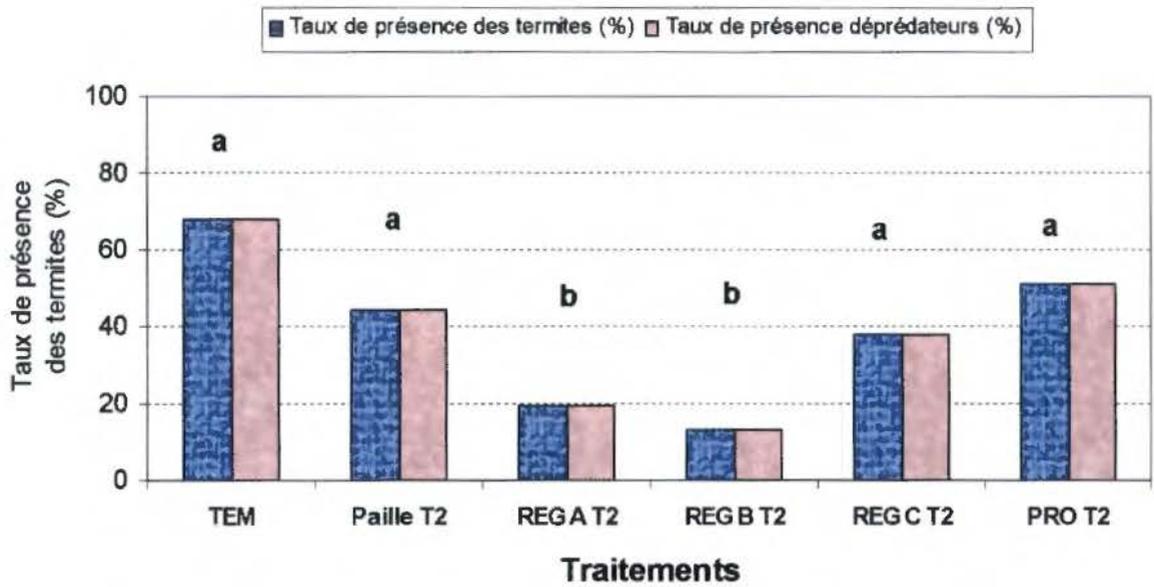


Figure 17 : Taux de présence de l'ensemble des termites et des termites déprédateurs dans les parcelles T2 de maïs en 2000 (N = 100)
 (Probabilité de l'ensemble des termites < 0,001 ; Probabilité des déprédateurs < 0,001)

Lors des années ultérieures (1999 et 2000), il convient de ne pas accorder une grande signification aux valeurs trouvées ; elles portent sur un trop petit nombre d'individus, à cause de l'efficacité des traitements. En revanche, le traitement au Procibam[®] ne montre pas de telles modifications dans la répartition en profondeur des individus, puisqu'une majorité d'entre eux se concentre dans les horizons supérieurs (57,2% dans la couche 0-10 cm en 1998, 73,1% et 75,0% en 1999). Au niveau des parcelles paillées (T0, T1 et T2), la majorité des individus (+ de 60 %) se concentre au niveau de la couche superficielle de 0-10 cm en 1998, 1999 et 2000. Le peuplement apparaît nettement à la surface, sans doute à la recherche de nourriture.

Parcelles de maïs

On retrouve, à peu de choses près, les mêmes conclusions dans le cas des parcelles plantées en maïs (**tableau XIV**), la répartition des termites est similaire à celle observée au niveau des parcelles de riz. Le témoin présente en 1998 une répartition en surface des populations (seulement 10,4% dans la couche 20-30 cm). Le Régent[®] A, en revanche, montre 83,6% de la population dans cette même tranche de sol. Pour les autres traitements, (Régent[®] B et au Régent[®] C), la répartition en profondeur est moins nette (respectivement 32,8 et 24,0% dans la couche profonde). Comme dans les parcelles plantées en riz, le Procibam[®] ne montre que peu de différences dans la répartition en profondeur des individus par rapport au témoin. En effet, La plus grande partie du peuplement se localise dans la couche de 0-10 cm durant les 2 premières années d'expérimentation et sur les parcelles ayant reçu ou non un nouveau paillage.

3.1.2. Les attaques des espèces de termites ravageurs sur les plants

3.1.2.1. Activité de récolte sur appâts enterrés

Sur les parcelles plantées en maïs, les consommations de bois, sont exprimées en g consommés par jour. Cela est moins important que sur les parcelles de riz (**Tableau XV**), et sans doute à mettre en rapport avec les populations de termites qui ont été trouvées supérieures dans ce dernier milieu. Le témoin montre une consommation de 0,67 g/jour dans la parcelle de maïs et 1,35 g/jour dans la parcelle de riz. Cette dernière valeur est importante, car elle correspond à une consommation de près de 5 tonnes par ha sur une base annuelle.

Tableau XIII : Répartition en profondeur des populations de termites (pourcentages du nombre d'individus/m²) sur les parcelles plantées en riz durant les campagnes 1998 (N = 9), 1999 (N = 3) et 2000 (N = 3)

Traitement	Profondeur (cm)	Campagne	Campagne	Campagne	Campagne	Campagne
		T0 (1998)	T1 (1999)	T2 (1999)	T1 (2000)	T2 (2000)
Témoin	0-10	33,0	35,5		14,1	
	10-20	35,6	32,2		22,7	
	20-30	31,4	32,3		63,2	
Régent A	0-10	15,0	84,8		42,1	
	10-20	22,5	09,1		29,0	
	20-30	62,5	06,1		28,9	
Régent B	0-10	0,0	45,5	85,8	28,6	100
	10-20	66,9	27,3	14,2	28,6	0,0
	20-30	33,1	27,2	0,0	42,8	0,0
Régent C	0-10	0,0	70,4	81,8	28,6	33,3
	10-20	21,5	25,9	18,2	42,9	33,3
	20-30	78,5	03,7	0,00	28,5	33,4
Procibam	0-10	57,2	73,1	75,0	69,9	11,4
	10-20	14,2	03,8	08,6	10,3	0,0
	20-30	28,6	23,1	16,4	19,8	88,6
Paillage	0-10	63,9	66,7	78,2	60,0	55,3
	10-20	15,4	17,9	17,7	26,3	13,0
	20-30	20,7	15,4	04,1	13,7	31,7

Tableau XIV: Répartition en profondeur des populations de termites (pourcentages du nombre d'individus/m²) sur les parcelles plantées en riz durant les campagnes 1998 (N = 9), 1999 (N = 3) et 2000 (N = 3)

Traitement	Profondeur (cm)	Campagne T0 (1998)	Campagne T1 (1999)	Campagne T2 (1999)	Campagne T1 (2000)	Campagne T2 (2000)
Témoin	0-10	56,4		41,0		7,4
	10-20	33,2		39,0		13,7
	20-30	10,4		20,0		78,9
Régent A	0-10	15,4		52,6	0,0	30,8
	10-20	01,0		40,4	42,3	30,7
	20-30	83,6		07,0	53,7	38,5
Régent B	0-10	50,0	86,7	55,5	15,3	0,0
	10-20	17,2	0,0	22,2	0,0	53,3
	20-30	32,8	13,3	22,3	84,7	46,7
Régent C	0-10	35,6	74,2	31,4	0,0	56,2
	10-20	40,4	20,8	59,0	4,2	37,8
	20-30	24,0	05,0	09,6	95,8	05,4
Procibam	0-10	48,4	50,4	42,3	41,9	23,0
	10-20	27,0	5,8	22,7	35,1	4,9
	20-30	24,6	43,8	35,0	23,0	72,1
Paillage	0-10	64,3	72,6	87,8	63,7	75,3
	10-20	19,4	21,4	02,6	23,9	16,6
	20-30	16,3	06,0	09,6	12,4	08,1

Les consommations enregistrées sur les appâts situés dans les parcelles traitées sont inférieures au témoin dans pratiquement tous les cas, mais ces différences ne sont pas significatives. Seules sont significatives (ou à la limite de la signification), les différences entre le témoin et les parcelles traitées deux fois avec le Régent[®] B et le Régent[®] C.

3.1.2.2. Modalités des attaques sur les plants et préférences alimentaires

3.1.2.2.1. Modalités des attaques des différentes espèces de termites

Les modalités des attaques apparaissent différentes selon les espèces.

La **figure 18** résume ces modalités, par comparaison avec un plant sain de maïs :

- les termites du genre *Amitermes* coupent les racines à la base et détruisent le parenchyme de la tige ; l'intérieur du collet est remplacé par la terre argileuse. Les attaques ont aussi lieu à l'extérieur de la tige lorsque le termite consomme le feuillet externe pour pénétrer à l'intérieur ;
- les termites du genre *Pseudacanthotermes* ne coupent pas les racines. Ces termites construisent des placages de terre sur le sol et sur la plante. Ces placages leur servent de protection pour attaquer la plante. Le parenchyme de la tige est détruit et l'intérieur du collet est remplacé par la terre argileuse. Les attaques se déroulent de l'extérieur vers l'intérieur de la tige ;
- les termites du genre *Ancistrotermes* attaquent généralement les racines en premier ; celles-ci sont coupées à la base et les termites pénètrent à l'intérieur de la tige. Au niveau de cette tige, les termites évident le parenchyme cortical en consommant le cambium interne. L'intérieur du collet est alors remplacé par la terre argileuse, en quantité notablement importante. Pour les espèces de ce genre, un autre type d'attaque est souvent rencontré, par des placages externes sur la tige, qui servent de passage pour attaquer le végétal de l'extérieur vers l'intérieur, en consommant successivement le cortex externe de la tige, le parenchyme interne et le cambium de la tige. Le collet totalement évidé est remplacé comme dans le premier mode d'attaque par un comblement de terre ;
- les termites du genre *Microtermes* sont de petite taille et très mobiles. Ils coupent les racines à la base et progressent ensuite vers l'intérieur de la tige au niveau de laquelle ils construisent une galerie interne qui leur sert de passage.

Tableau XV : Consommation journalière de bois (g) par les termites sur les parcelles plantées en riz et en maïs en 2000 (N =36)

Traitements	parcelle de maïs		parcelle de riz	
	T1	T2	T1	T2
Témoin	0,67		1,35	
Régent A	0,64	0,61	1,08	0,83
Régent B	0,61	0,60	1,17	0,55
Régent C	0,61	0,69	1,09	0,52
Procibam	0,54	0,58	0,92	0,94
Paillage	0,67	0,84	1,79	0,65
Probabilité	0,934	0,211	0,353	0,097
Signification	<i>NS</i>	NS	NS	NS

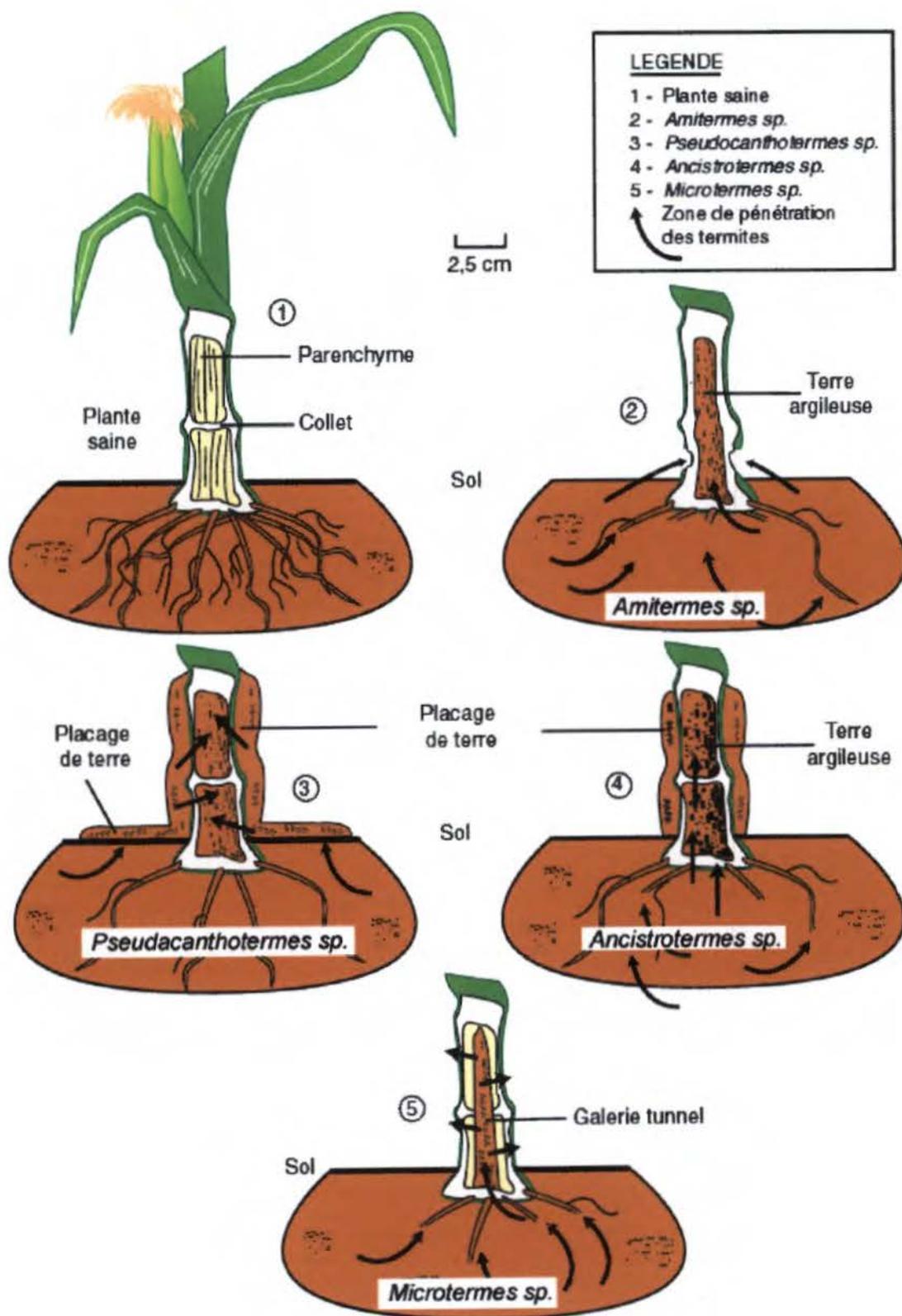


Figure 18 : Modalités d'attaques des plants de maïs par différentes espèces de termite

Une fois à l'intérieur de la tige, les termites consomment le cambium et le parenchyme interne de la tige, de l'intérieur vers l'extérieur. Le collet évidé est progressivement comblé avec de la terre.

3.1.2.2.2. Préférences alimentaires

Celles-ci ont été déterminées au laboratoire, sur deux espèces, *Macrotermes subhyalinus* et *Ancistrotermes cavithorax*. Les différents substrats testés, pour le riz et le maïs, sont les feuilles sous différents états (fraîches, fanées ou sèches), les tiges, les racines et les grains.

Pour les substrats de maïs, les préférences des deux espèces vont clairement vers les feuilles sèches, puis vers les feuilles fanées (**Figures 19 et 20**). Les tiges et les feuilles fraîches sont très peu appréciées. Il semble que *Macrotermes* préfère un peu plus les racines que *Ancistrotermes*.

Pour les substrats de riz (**Figures 21 et 22**), on retrouve les mêmes préférences des deux espèces pour les feuilles sèches. Comme pour les substrats de maïs, *Macrotermes* montre une préférence plus importante qu'*Ancistrotermes* pour les racines.

3.1.2.2.3. Survie des termites sur les différents substrats

Nous avons également suivi au laboratoire la survie des ouvriers de termites sur les différents substrats de maïs et de riz dont nous avons testé les préférences alimentaires.

Les 4 graphiques (**Figures 23, 24, 25 et 26**) relatifs à la survie des deux genres de termites (*Ancistrotermes* et *Macrotermes*) sur les différents substrats de maïs et de riz montrent généralement une meilleure survie des individus en présence de feuilles fanées et de feuilles sèches. Les survies les plus médiocres sont obtenues en présence de tiges et de racines.

En ce qui concerne la survie des termites en présence des grains, le maïs se montre plus intéressant pour *Macrotermes* et *Ancistrotermes* que le riz. Ceci semble résulter de la qualité du grain de maïs qui présente une dureté moins importante de son enveloppe protectrice que le grain de riz. En effet, nos observations nous ont permis de noter que les termites triturent plus les grains de maïs que ceux du riz.

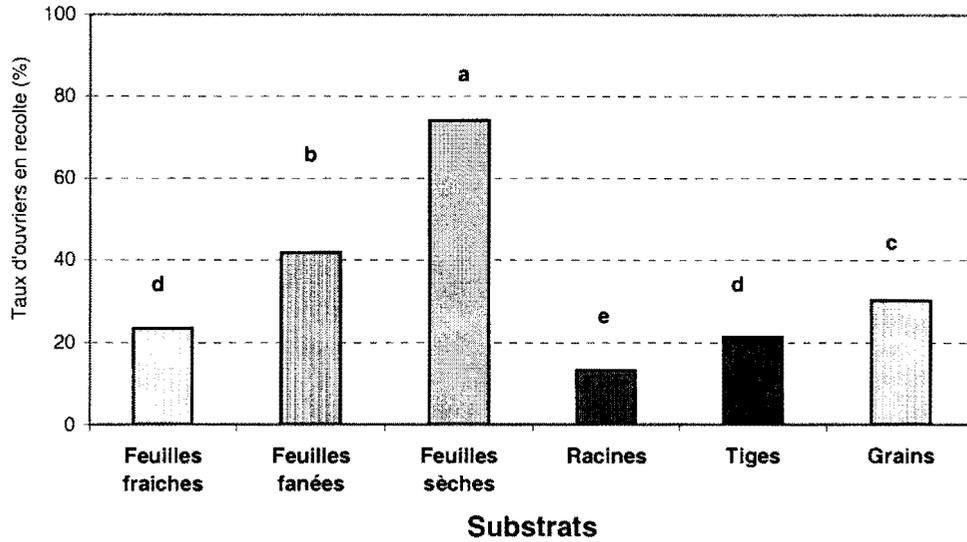


Figure 19 : Activité de récolte des ouvriers *Ancistrotermes cavithorax* sur les différentes parties du plant de maïs (N = 9)

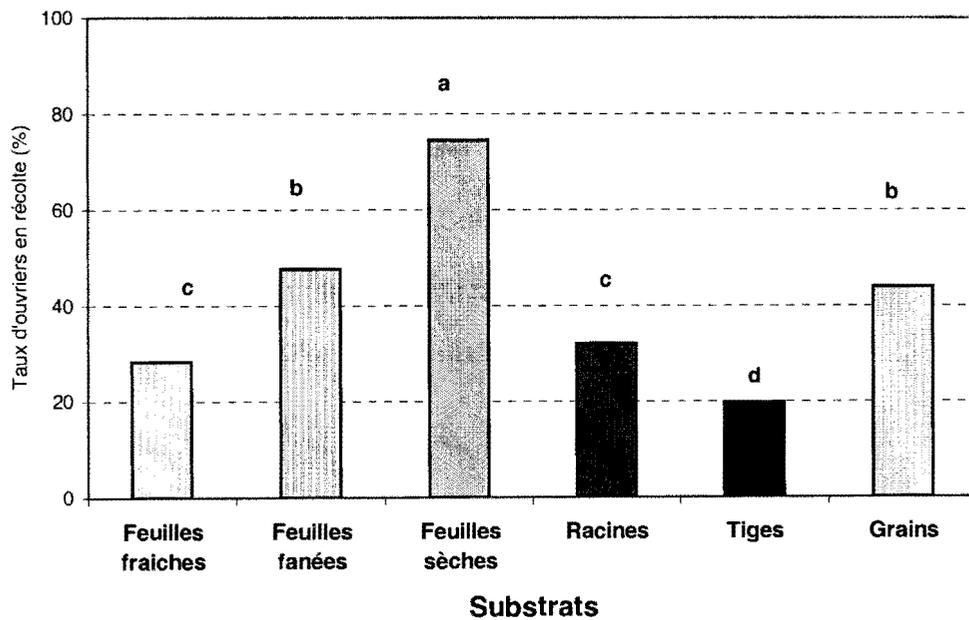


Figure 20 : Activité de récolte des ouvriers de *Macrotermes subhyalinus* sur les différentes parties du plant de maïs (N = 9)

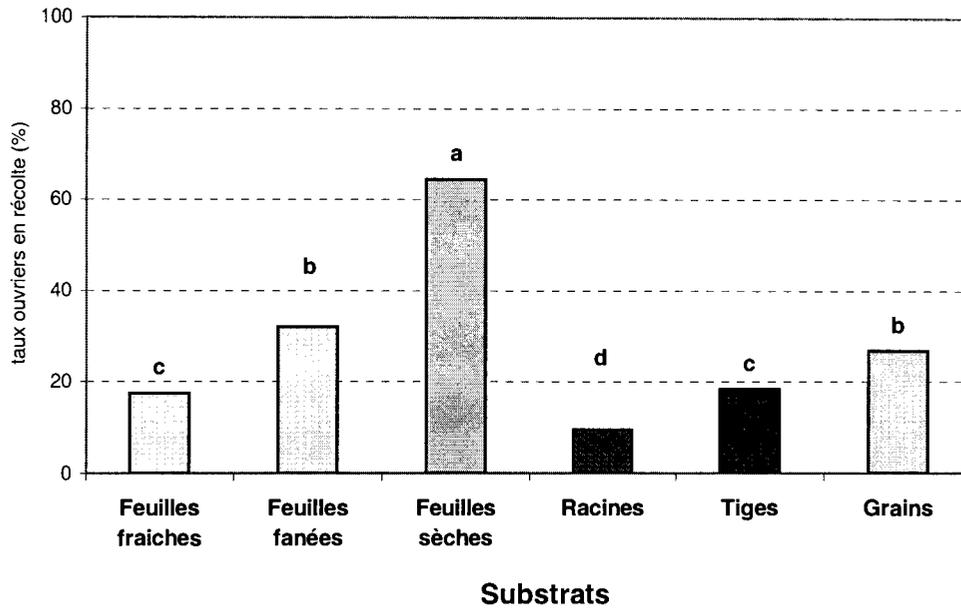


Figure 21 : Activité de récolte des ouvriers *d'Ancistrotermes cavithorax* sur les différentes parties du plant de riz (N = 9)

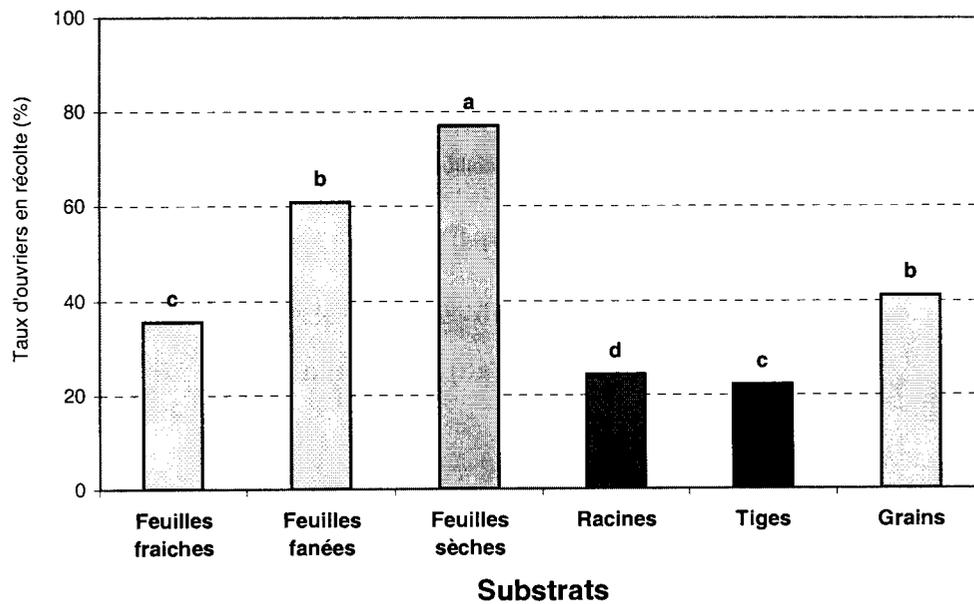


Figure 22 : Activité de récolte des ouvriers de *Macrotermes subhyalinus* sur les différentes parties du plant de riz (N = 9)

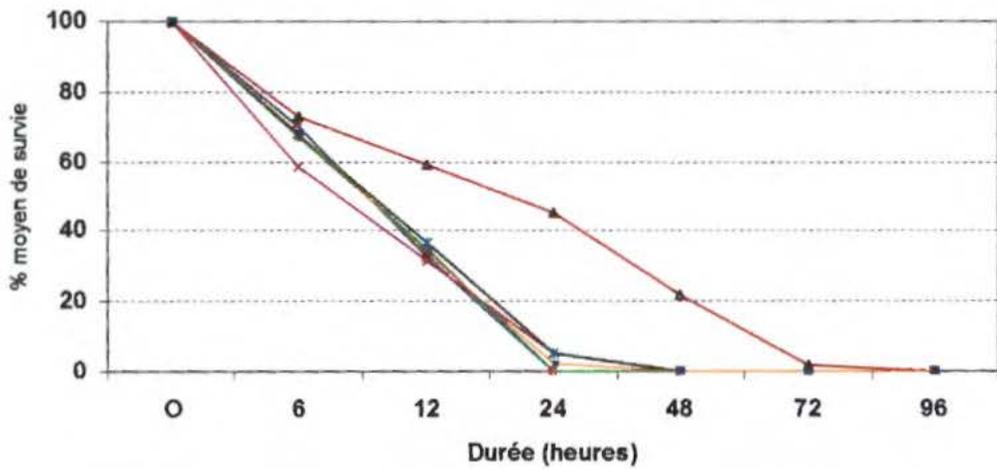


Figure 23 : Survie des ouvriers d'*Ancistrotermes cavithorax* en fonction des substrats de maïs (N = 6)

—■— racines —◆— tiges —▲— grains —×— Feuilles sèches —■— feuilles fanées —■— feuilles fraîches

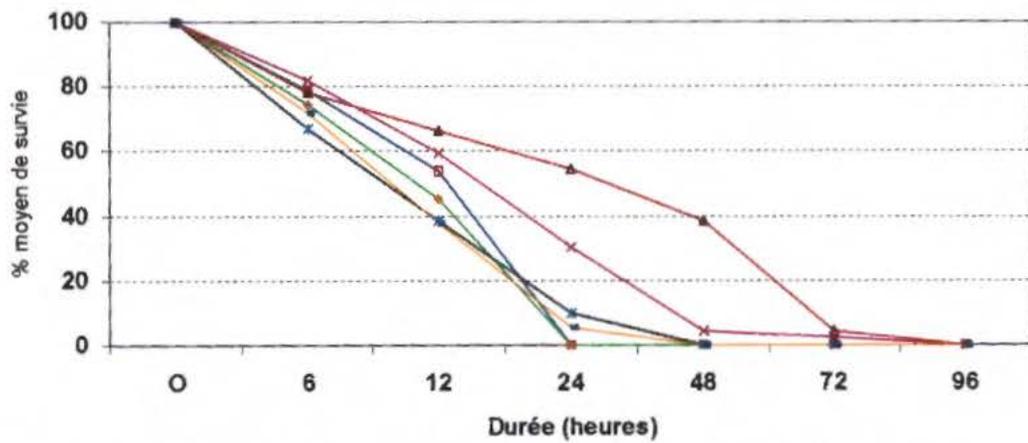


Figure 24 : Survie des ouvriers de *Macrotermes subhyalinus* en fonction des substrats de maïs (N = 6)

—■— racines —◆— tiges —▲— grains —×— Feuilles sèches —■— feuilles fanées —■— feuilles fraîches

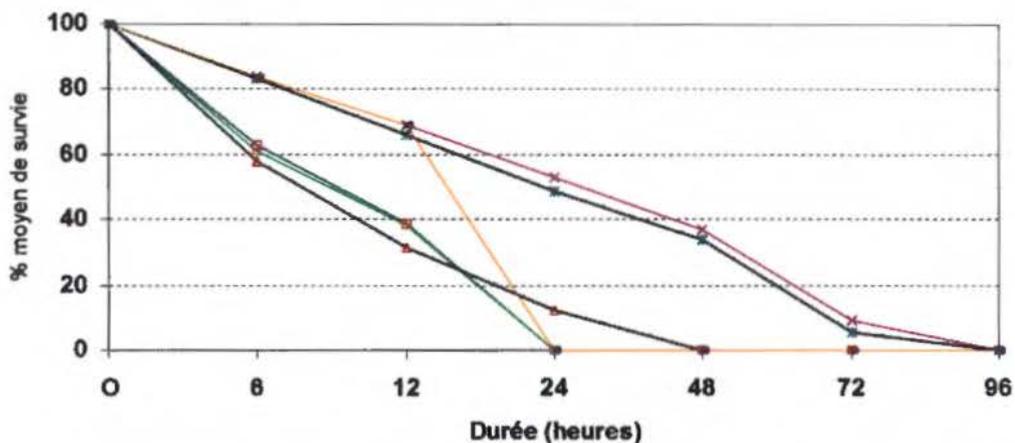


Figure 25: Survie des ouvriers d'*Ancistrotermes cavithorax* en fonction des substrats de riz (N = 6)

—■— racines —●— tiges —▲— grains —×— Feuilles sèches —◆— feuilles fanées —★— feuilles fraîches

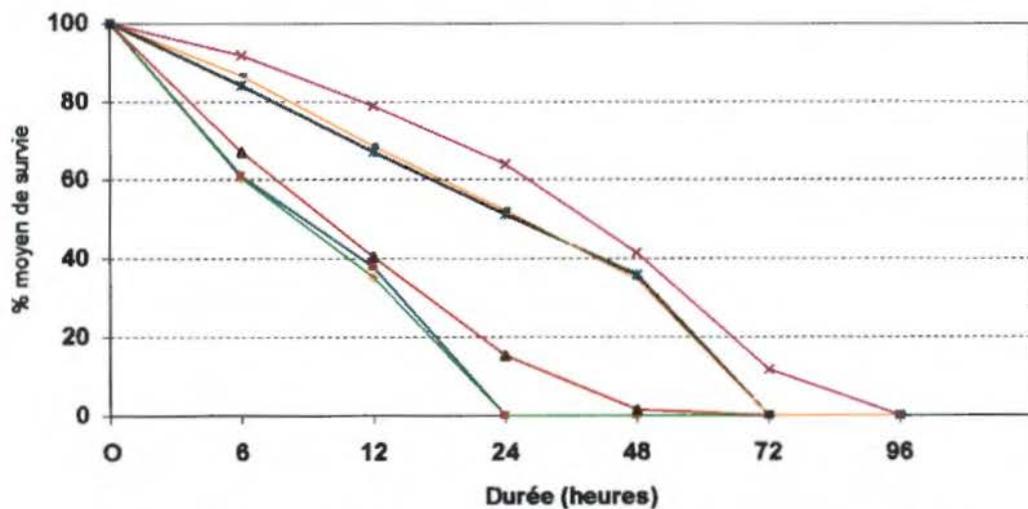


Figure 26 : Survie des ouvriers de *Macrotermes subhyalinus* en fonction des substrats de riz (N = 6)

—■— racines —●— tiges —▲— grains —×— Feuilles sèches —◆— feuilles fanées —★— feuilles fraîches

3.1.3. Suivi et évaluation des attaques sur les plants

Les attaques des termites ont été évaluées dans les parcelles expérimentales, depuis le démariage, jusqu'à la récolte pour le maïs et du semis à la récolte pour le riz. Des relevés ont été faits aussi sur les pieds de maïs morts au cours du temps.

Des relevés des attaques par les termites ont également été faits, à titre comparatif, dans les parcelles paysannes, afin d'évaluer, à l'échelle du bassin versant de Booro-Borotou, l'impact des termites sur les cultures vivrières de riz et de maïs.

3.1.3.1. Les attaques au niveau des pieds de maïs

3.1.3.1.1. Evaluation globale des attaques sur les plants

Cette évaluation est obtenue par l'examen périodique de plants arrachés sur les parcelles et examinés pour y déceler les traces d'une attaque par les termites.

Les parcelles témoins présentent un taux d'attaque relativement constant au cours du temps entre 1999 et 2000 (**Tableau XVI**). Les résultats obtenus en 1998 n'ont pas pu être comparés puisqu'ils ont été obtenus uniquement lors de la récolte des pieds. Les parcelles traitées présentent des taux d'attaque inférieurs au témoin en 1999, mais non significativement différents pour les parcelles traitées une seule fois. En revanche, dans les parcelles traitées deux fois, les taux d'attaque, suite aux traitements insecticides, sont nettement inférieurs au témoin. Le Régent[®] B montre le taux d'attaque le plus faible (0,50 %). L'efficacité des traitements insecticides est en effet révélée ; l'impact de l'insecticide est plus grand lorsque l'on traite les parcelles pendant deux années consécutives.

Dès la première année (1998), le Procibam[®] se révèle moins efficace que le Fipronil (**Tableau XVI**). Le Régent[®] C est le plus efficace lors des 3 campagnes, à l'exception des parcelles T1 de la campagne 2000.

L'efficacité des traitements insecticides tend à diminuer avec le temps, comme le démontrent les résultats obtenus en 2000, que ce soit sur les parcelles traitées une ou deux années de suite, surtout pour le Régent[®] A qui est un insecticide qui traite les semences et donc ne devrait pas agir sur les insectes présents dans le sol. A cet égard, les parcelles T2 montrent un taux d'attaque quasiment uniforme pour tous les traitements (de 0,38 à 0,66 % de pieds attaqués).

Les parcelles paillées sont les plus attaquées en 1998 et 2000. Le nouvel amendement (paillage) diminue les attaques des termites de 30% comparativement aux parcelles non traitées en 1999. Lors de la dernière campagne, le phénomène contraire est noté, les parcelles paillées (T2) enregistrent une augmentation des attaques de 43,62%. Cette augmentation des attaques des termites pourrait être due à la décomposition de la matière organique contenue dans la paille, ce qui ne conviendrait plus aux termites champignonnistes déprédateurs et les conduirait à s'attaquer aux plants (**Tableau XVI**).

3.1.3.1.2. Evaluation des attaques des racines et des tiges de maïs par les termites sur les différents traitements

Les dégâts engendrés par les termites déprédateurs sont estimés au niveau des racines et des tiges du maïs, suite à l'examen périodique des plantes arrachées et disséquées (**tableau XVII**).

Microtermes causent des dégâts sur les racines et sur les tiges au niveau de tous les traitements et ceci à tous les stades. Lors de la campagne 1998, les *Microtermes* sont responsables de plus de 60% de dégâts au niveau des racines sur le témoin, les traitements au Régent[®] C, au Procibam[®] et sur le paillage. Les termites du genre *Ancistrotermes* présentent des taux d'attaques assez proches de ceux de *Microtermes* sur les traitements au Régent[®] A et au Régent[®] B (**tableau XVII**). Les autres espèces (*Pseudacanthotermes* et *Amitermes*) causent généralement peu de dégâts aux racines de maïs sur les différentes parcelles, hormis le traitement au Régent[®] A, où on enregistre un taux d'attaque de 30%.

Les données de la seconde campagne (1999) montrent également que les *Microtermes* sont les plus grands ravageurs des cultures. La nouvelle application des produits (T2) semble réduire les attaques de *Microtermes* sur l'ensemble des traitements. Les attaques de *Microtermes* et de *Ancistrotermes* varient très peu, par rapport à la première année sur l'ensemble des parcelles non traitées à nouveau, hormis le traitement au Régent[®] B pour les *Ancistrotermes* (**tableau XVII**).

La dernière année (2000), les attaques des *Microtermes* sont supérieures ou égales à 50% pour toutes les parcelles T1 et T2, sauf au niveau du Régent[®] B où le taux d'attaques enregistré est de 45%. Les *Ancistrotermes* engendrent des attaques dans la majorité des traitements, mais ces taux sont inférieurs à ceux des *Microtermes*. Les *Pseudacanthotermes* et les *Amitermes* occasionnent très peu d'attaques au cours de cette dernière campagne.

Tableau XVI : Evaluation des attaques des termites sur la culture de maïs durant les trois années d'expérimentation (N = 48)

Traitements	Attaques occasionnées par les termites (%)				
	Parcelle T ₀ (Campagne 1998)	Parcelle T ₁ (Campagne 1999)	Parcelle T ₂ (Campagne 1999)	Parcelle T ₁ (Campagne 2000)	Parcelle T ₂ (Campagne 2000)
Témoin	13,12 a		2,33 a		2,44 a
Régent A	5,58 b		0,61 ab	0,77 b	0,66 b
Régent B	3,67 b	0,88 a	0,50 b	0,72 b	0,38 b
Régent C	3,25 b	1,38 a	0,55 b	0,77 b	0,66 b
Procibam	11,01 a	1,38 a	1,00 ab	1,22 b	1,52 b
Paillage	18,35 a	3,16 a	2,44 a	2,83 a	5,02 a
	1,75 E - 04	0,476	5,14 E - 02	3,07 E - 02	1,24 E - 02
Probabilité					
Interprétation	HS	NS	NS	S	S

Tableau XVII : Taux d'attaque (%) des différentes espèces de termites sur les racines des parcelles plantées en maïs durant les campagnes 1998 (N = 100), 1999 (N = 36) et 2000 (N = 36)

Traitement	Espèces de termites	T0 (1998)	T1 (1999)	T2 (1999)	T1 (2000)	T2 (2000)
Témoin	<i>Microtermes sp.</i>	80,98		45,83		55,56
	<i>Ancistrotermes sp.</i>	11,96		33,33		37,04
	<i>Pseudacanthotermes sp.</i>	7,07		16,67		0,00
	<i>Amitermes sp.</i>	0,00		4,17		7,41
Régent A	<i>Microtermes sp.</i>	40,00		61,90	66,67	50,00
	<i>Ancistrotermes sp.</i>	42,00		19,05	26,67	26,67
	<i>Pseudacanthotermes sp.</i>	10,00		19,05	6,67	6,67
	<i>Amitermes sp.</i>	8,00		0,00	0,00	0,00
Régent B	<i>Microtermes sp.</i>	40,00	42,86	42,86	45,45	75,00
	<i>Ancistrotermes sp.</i>	30,00	42,86	28,57	27,27	25,00
	<i>Pseudacanthotermes sp.</i>	30,00	7,14	0,00	0,00	0,00
	<i>Amitermes sp.</i>	0,00	7,14	28,57	27,27	0,00
Régent C	<i>Microtermes sp.</i>	62,50	68,00	33,33	58,33	50,00
	<i>Ancistrotermes sp.</i>	18,75	24,00	50,00	8,33	33,33
	<i>Pseudacanthotermes sp.</i>	18,75	0,00	8,33	0,00	0,00
	<i>Amitermes sp.</i>	0,00	8,00	8,33	33,33	16,67
Procibam	<i>Microtermes sp.</i>	76,27	62,50	52,38	56,52	52,94
	<i>Ancistrotermes sp.</i>	17,21	20,83	38,10	21,74	41,18
	<i>Pseudacanthotermes sp.</i>	6,21	8,33	9,52	0,00	5,88
	<i>Amitermes sp.</i>	0,00	8,33	0,00	21,74	0,00
Paillage	<i>Microtermes sp.</i>	67,47	45,00	61,67	52,17	75,00
	<i>Ancistrotermes sp.</i>	22,89	25,00	26,47	34,78	16,67
	<i>Pseudacanthotermes sp.</i>	9,64	15,00	5,88	4,35	0,00
	<i>Amitermes sp.</i>	0,00	15,00	5,88	8,70	8,33

En ce qui concerne les attaques des termites au niveau des tiges de maïs, les observations sont similaires à celles faites sur les racines durant les trois années d'expérimentation (**tableau XVIII**). Les *Microtermes* sont les principaux ravageurs des tiges de maïs, mais leurs différents taux d'attaques varient très peu dans le temps au niveau du témoin, du traitement au Procibam® et du paillage. Le second traitement stabilise les attaques de *Microtermes* au niveau du traitement au Régent® B et réduit plus ou moins ces attaques pour les traitements au Régent® C et au Procibam® en 1999 (**tableau XVIII**). Ce second traitement insecticide semble ne pas avoir d'effet sur les *Ancistrotermes* au cours de cette campagne.

Lors de la campagne 2000, les *Microtermes* sont responsables de plus de la moitié des attaques sur les parcelles traitées et non traitées en 1999. Les *Pseudacanthotermes* sont responsables de très peu d'attaques sur les racines durant toutes les années d'expérimentation (**tableau XVIII**). Quant aux *Amitermes*, lorsqu'ils colonisent les milieux, leurs attaques évoluent au cours des années (**tableau XVIII**).

3.1.3.1.3. Mortalité des pieds et suivi au cours du temps

Les pieds de maïs morts ont été relevés sur chaque ligne au niveau des parcelles, lors d'échantillonnages mensuels. La première année de culture, le pourcentage de pieds morts est significativement plus élevé dans les parcelles témoin (12,41%) par rapport aux parcelles traitées avec les insecticides et au paillage (**tableau XIX**). Toutefois, les parcelles traitées au Procibam® conservent un taux de mortalité significatif des plants (9,84 %). Le paillage présente un taux de 6,93 %.

La seconde année, les différences des taux de mortalité, si elles sont encore significatives, demeurent moins accentuées. Les parcelles traitées au Procibam® montrent encore un taux de mortalité supérieur à celles traitées au Fipronil. Un deuxième traitement réduit légèrement les mortalités des plants. Le paillage montre le taux de mortalité le plus élevé de l'ensemble des parcelles T1 et T2 avec des taux de mortalité respectifs de 7,50% et 6,16%.

**Tableau XVIII : Taux d'attaque (%) des différentes espèces de termites sur les tiges
parcelles plantées en maïs durant les campagnes 1998 (N = 100), 1999
(N = 36) et 2000 (N = 36)**

Traitement	Espèces de termites	T0	T1	T2	T1	T2
		(1998)	(1999)	(1999)	(2000)	(2000)
Témoin	<i>Microtermes sp.</i>	54,29		50,00		56,52
	<i>Ancistrotermes sp.</i>	42,86		31,25		34,78
	<i>Pseudacanthotermes sp.</i>	2,86		12,50		0,00
	<i>Amitermes sp.</i>	0,00		6,25		8,70
Régent A	<i>Microtermes sp.</i>	46,88		61,54	72,73	50,00
	<i>Ancistrotermes sp.</i>	37,50		15,38	18,18	33,33
	<i>Pseudacanthotermes sp.</i>	9,38		23,08	9,9	16,67
	<i>Amitermes sp.</i>	6,25		0,00	0,00	0,00
Régent B	<i>Microtermes sp.</i>	60,00	45,45	66,67	50,00	100,0
	<i>Ancistrotermes sp.</i>	20,00	36,36	33,33	12,50	0,00
	<i>Pseudacanthotermes sp.</i>	20,00	9,09	0,00	0,00	0,00
	<i>Amitermes sp.</i>	0,00	9,09	0,00	37,50	0,00
Régent C	<i>Microtermes sp.</i>	72,73	63,11	28,57	62,50	50,00
	<i>Ancistrotermes sp.</i>	18,18	21,05	42,86	12,50	25,00
	<i>Pseudacanthotermes sp.</i>	9,09	10,53	14,29	0,00	0,00
	<i>Amitermes sp.</i>	0,00	5,26	14,29	37,50	25,00
Procibam	<i>Microtermes sp.</i>	66,67	75,00	53,85	60,67	58,33
	<i>Ancistrotermes sp.</i>	22,22	18,75	38,46	20,00	33,33
	<i>Pseudacanthotermes sp.</i>	11,11	6,25	7,69	0,00	8,33
	<i>Amitermes sp.</i>	0,00	0,00	0,00	13,33	0,00
Paillage	<i>Microtermes sp.</i>	68,53	46,15	70,83	52,94	78,95
	<i>Ancistrotermes sp.</i>	22,38	23,08	12,50	29,41	10,83
	<i>Pseudacanthotermes sp.</i>	9,09	15,38	8,33	5,88	0,00
	<i>Amitermes sp.</i>	0,00	15,38	8,33	11,76	10,53

Tableau XIX : Evaluation des pertes de pieds occasionnées par les termites sur la culture de maïs durant les trois années d'expérimentation (N = 48)

Traitements	Pertes occasionnées par les termites (%)				
	Parcelle T ₀ (Campagne 1998)	Parcelle T ₁ (Campagne 1999)	Parcelle T ₂ (Campagne 1999)	Parcelle T ₁ (Campagne 2000)	Parcelle T ₂ (Campagne 2000)
Témoin	12,41 a		3,83 b		13,5 a
Régent A	4,45 d		2,33 bc	6,75 b	5,83 c
Régent B	5,28 cd	3,08 c	1,50 c	4,42 c	3,25 d
Régent C	6,44 c	3,82 c	3,00 b	4,50 c	5,50 c
Procibam	9,84 b	4,92 b	3,42 b	6,33 b	4,00 d
Paillage	6,93 c	7,50 a	6,16 a	8,83 b	8,12 b
Probabilité	2,5 E - 03	1,1 E - 04	4,7 E - 04	5,9 E - 03	1,5 E - 05
Interprétation	HS	HS	HS	HS	HS

Les moyennes suivies d'une même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% selon le test de Duncan.

HS : test hautement significatif au seuil de 1 %

S : test significatif au seuil de 5 %

NS : test non significatif au seuil de 5 %

Tableau XX : Evaluation des attaques des termites sur la culture de riz durant les trois années d'expérimentation (N = 48)

Traitements	Attaques occasionnées par les termites (%)				
	Parcelle T ₀ (Campagne 1998)	Parcelle T ₁ (Campagne 1999)	Parcelle T ₂ (Campagne 1999)	Parcelle T ₁ (Campagne 2000)	Parcelle T ₂ (Campagne 2000)
Témoin	0,76 a		0,29 ab		0,45 a
Régent A	0,03 c		0,16 ab	0,30 a	0,10 b
Régent B	0,07 bc	0,15 a	0,02 c	0,35 a	0,07 b
Régent C	0,03 bc	0,27 a	0,09 c	0,15 a	0,08 b
Procibam	0,28 b	0,27 a	0,18 b	0,47 a	0,42 a
Paillage	0,84 a	0,38 a	0,71 a	0,81 a	0,71 a
Probabilité	7,21 E - 08	0,596	3,61 E - 05	5,11 E - 02	6,25 E - 05
Interprétation	HS	NS	HS	NS	HS

Lors de la 3^e campagne (2000), les mortalités constatées sur les différentes parcelles, à la fois les témoins et les parcelles traitées, sont plus importantes que celles des années antérieures (plus de 13,5% sur les témoins, de 3,25 à 5,50% sur les parcelles traitées et de 8,12 % sur le paillage). Cela correspond à une légère baisse de l'efficacité des traitements insecticides qui sont intervenus 2 ans auparavant (parcelles T1) ou un an auparavant (parcelles T2). Cela démontre également la virulence des attaques de termites dans ces milieux.

3.1.3.2. Les attaques au niveau des pieds de riz

Les taux des attaques observées dans les parcelles de riz sont minimales par rapport aux attaques observées sur les parcelles de maïs (**tableau XX**). En première année (1998), comme pour le maïs, les taux des attaques dans les parcelles traitées sont significativement inférieurs à ceux constatés dans les parcelles paillées et témoins. Le Procibam[®] s'avère également moins efficace. Lors de la seconde campagne (1999), les parcelles T1 ne montrent aucune différence significative entre les traitements et avec deux traitements (T2), seules les parcelles traitées au Régent[®] B et au Régent[®] C diffèrent significativement du témoin. En 2000, on constate des différences significatives par rapport au témoin et au paillage dans les parcelles T2 traitées au Régent[®] B, au Régent[®] C et au Régent[®] A. Le traitement au Procibam[®] ne diffère pas du témoin. Sur les parcelles T1, les observations sont similaires à celles effectuées en 1999 (aucune différence significative).

3.1.3.3. Les attaques dans les parcelles paysannes

Ces attaques ont été estimées lors des prospections effectuées dans 20 champs de maïs et dans 10 champs de riz, au voisinage de nos parcelles expérimentales, selon une disposition dans une toposéquence. Pour les champs de maïs, 100 pieds par champ ont été examinés, l'abondance des termites a été quantifiée ainsi que leurs attaques et mises en rapport avec l'état phytosanitaire des plants. Pour les champs de riz, 100 carrés de 1 m x 1m ont été examinés afin de détecter et de quantifier les traces éventuelles de déprédations par les termites.

En fonction de tous ces indices, une analyse en correspondances multiples (ACM) a été faite afin d'examiner la répartition de ces attaques et les différences pouvant exister entre les champs prospectés.

Les variables mesurées au niveau du riz sont relatives :

- à la présence des termites ;

Pr Rac- 0 : absence totale de termite au niveau des racines

Pr Rac- 1 : présence peu importante de l'espèce 1 (*Ancistotermes*) au niveau des racines

Pr Rac- 2 : présence importante de l'espèce 2 (*Microtermes*) au niveau des racines

Pr Tige- 0 : absence totale de termite au niveau des tiges

Pr Tige- 1 : présence peu importante de l'espèce 1 au niveau des tiges

Pr Tige- 2 : présence importante de l'espèce 2 au niveau des tiges

- aux attaques des termites ;

Att Rac- 0 : aucune attaque de termite au niveau des racines

Att Rac- 1 : attaque peu importante des racines par l'espèce 1

Att Rac- 2 : attaque importante des racines par l'espèce 1

Att Tige- 0 : aucune attaque de termite au niveau des tiges

Att Tige- 1 : attaque peu importante des tiges par l'espèce 1

Att Tige- 2 : attaque importante des tiges par l'espèce 1

- à l'identification de l'espèce présente ;

SpRac- 0 : aucune espèce de termite n'est rencontrée au niveau des racines

SpRac- 1 : les *Ancistotermes* sont rencontrés au niveau des racines

SpRac- 2 : les *Microtermes* sont rencontrés au niveau des racines

SpRac- 3 : les *Pseudacanthotermes* sont rencontrés au niveau des racines

SpRac- 4 : les *Amitermes* sont rencontrés au niveau des racines

SpRac- 5 : les *Cubitermes* sont rencontrés au niveau des racines

SpRac- 6 : les *Trinervitermes* sont rencontrés au niveau des racines

SpRac- 7 : les *Macrotermes* sont rencontrés au niveau des racines

SpTige- 0 : aucune espèce de termite n'est rencontrée au niveau des tiges

SpTige- 1 : les *Ancistotermes* sont rencontrés au niveau des tiges

SpTige- 2 : les *Microtermes* sont rencontrés au niveau des tiges

SpTige- 3 : les *Pseudacanthotermes* sont rencontrés au niveau des tiges

SpTige- 4 : les *Amitermes* sont rencontrés au niveau des tiges

SpTige- 5 : les *Cubitermes* sont rencontrés au niveau des tiges

SpTige- 6 : les *Trinervitermes* sont rencontrés au niveau des tiges

SpTige- 7 : les *Macrotermes* sont rencontrés au niveau des tiges

En ce qui concerne le maïs, les variables mesurées sur le riz sont conservées, mais l'état phytosanitaire est pris en compte sur cette culture.

Phys- 0 : le plant de maïs est mort sur pied

Phys- 1 : le plant de maïs est desséché ou dépérissant

Phys- 2 : le plant de maïs est en bon état.

3.1.3.3.1. Parcelles paysannes de riz

La **figure 27** représente les projections des variables mesurées selon les axes F1 et F2, qui expriment à eux deux 38 % de la variance. Les variables qui contribuent le plus fortement à l'axe F1 sont : **la présence et les attaques** au niveau des racines et tiges.

L'analyse des correspondances multiples (**Figure 27**), au niveau des parcelles paysannes de riz montre que les variables « présence », « attaque au niveau des racines et tiges » de même que « les espèces » 1 (*Ancistrotermes sp.*) ; 2 (*Microtermes sp.*) ; 3 (*Pseudacanthotermes sp.*) et 4 (*Amitermes sp.*) sont toutes proches de l'axe des abscisses et dans un même secteur, avec des coordonnées de même signe. Ces trois variables sont corrélées positivement et représentent la corrélation présence-attaque par les déprédateurs la plus forte. L'espèce 7 (*Macrotermes sp.*) a été très rarement rencontrée dans les parcelles paysannes de riz. Les humivores (espèce 5) se distinguent également, car ils sont présents dans les plantations paysannes au niveau des racines et des tiges, mais ne semblent pas avoir un impact sur les cultures.

Sur les dix plantations paysannes prospectées, la représentation sphérique des variables normalisées (**Figure 28**) (qui correspond à la représentation des corrélations de ces variables) montre que toutes les parcelles présentent des similitudes et qu'il n'y a pas « d'effet champ ». En effet, les centres de gravités et les ellipses comprenant 95 % des points convergent tous vers un même point (point 0 des axes). Ces points proches sont fortement corrélés, ce qui revient à dire que les plantations paysannes de riz ne se distinguent pas les unes des autres et que le milieu est homogène.

3.1.3.3.2. Parcelles paysannes de maïs

Au niveau des 20 plantations de maïs prospectées, les résultats (**Figure 29**) indiquent que les deux premiers axes rendent compte, suivant la présence et les attaques des termites considérés, de 27 % de la variabilité totale. L'examen de la **figure 29** révèle que les plantes en bon état physiologique (plantes saines) hébergent généralement les humivores (espèce 5) au sein de leurs racines et de leurs tiges et que ces plantes se distinguent du reste du groupe.

Le deuxième plan défini par l'axe F1 et F2 des différentes parcelles paysannes renforce l'hypothèse des attaques des racines et des tiges des plantes en mauvais état physiologique par les principaux termites déprédateurs. En effet, les variables : présence, attaque et états physiologiques malsain et moribonds (plantes mortes et plantes peu vigoureuses), sont fortement corrélés aux espèces *Ancistrotermes* (espèce 1), *Microtermes* (espèce 2) qui sont les plus nombreux dans la majorité des champs. L'espèce *Pseudacanthoermites* (espèce 3) est présente dans le milieu mais en faible proportion et influence très peu les cultures. La représentation sphérique des variables normalisées (**Figure 30**) permet de noter les mêmes conclusions qu'au niveau des champs de riz, c'est-à-dire une absence « d'effet champ » et une homogénéité du milieu.

3.1.4. Etude de l'effet des insecticides sur les populations de termites

Nous avons étudié au laboratoire l'effet doses des insecticides utilisés sur les populations de termites, en conditions standard. Les tests ont été effectués sur 100 ouvriers des espèces *Macrotermes subhyalinus* et *Ancistrotermes cavithorax*. Chaque boîte renferme 50 g de sol de termitière de *Macrotermes subhyalinus* préalablement tamisé, traité avec différentes doses d'insecticide (Régent[®] A, Régent[®] B et Procibam[®] 480).

Le taux de mortalité des individus a été suivi toutes les 4 h au cours de l'expérience ; de même que les doses provoquant 50% de morts.

Au niveau de *Macrotermes subhyalinus*, les doses de 2, 3 et 5 mg m.a./l, donnent des taux de mortalité des ouvriers traités significativement plus élevés que ceux du témoin, quelle que soit la formulation de l'insecticide (Fipronil et Chlorpyrifos-éthyl).

Individus et modalités (axes F1 et F2 : 38%)

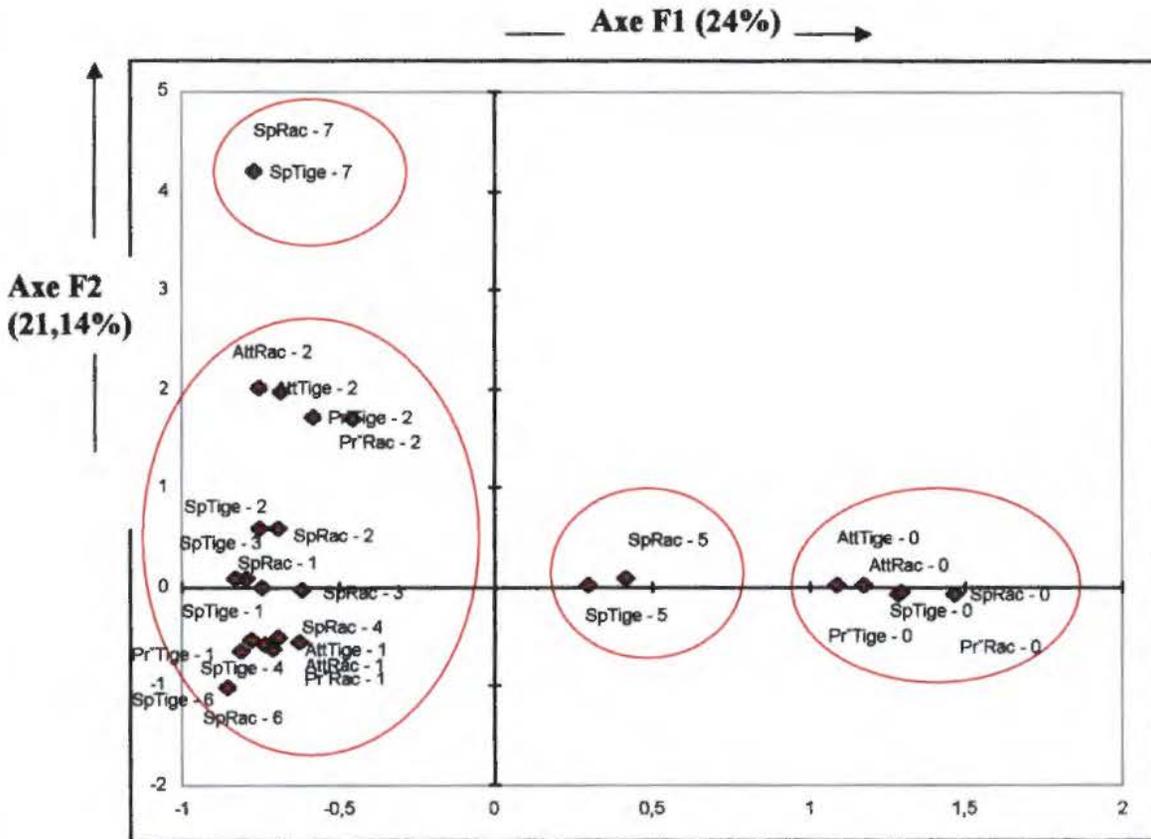


Figure 27: Analyse des correspondances multiples des relations entre les abondances, les attaques et les espèces de termites présentes sur les parcelles paysannes de riz à Booro-Borotou (N = 1000)

Rac = racines ; **Tige** = Tiges ; **Pr** = Présence
Pr Rac- 0 : 0 termite au niveau des racines ; **Pr Rac- 1** : présence peu importante de *Ancistotermes* ; **Pr Rac- 2** : présence importante de *Microtermes* ; **Pr Tige- 0** : 0 termite au niveau au niveau des tiges ; **Pr Tige- 1** : présence peu importante de *Ancistotermes* ; **Pr Tige- 2** : présence importante de *Microtermes* ; **Att** = Attaque ; **Att Rac- 0** : 0 attaque de termite au niveau des racines ; **Att Rac- 1** : attaque peu importante de *Ancistotermes* ; **Att Rac- 2** : attaque importante de *Microtermes* ; **Att Tige- 0** : 0 attaque de termite au niveau au niveau des tiges ; **Att Tige- 1** : attaque peu importante de *Ancistotermes* ; **Att Tige- 2** : attaque importante de *Microtermes* ; **Sp** = espèce ; **SpRac- 0** : aucun termite au niveau des racines ; **SpRac- 1** : *Ancistotermes* est rencontré au niveau des racines ; **SpRac- 2** : *Microtermes* est rencontré au niveau des racines ; **SpRac- 3** : *Pseudacanthotermes* est rencontré au niveau des racines ; **SpRac- 4** : *Amitermes* est rencontré au niveau des racines ; **SpRac- 5** : *Cubitermes* est rencontré au niveau des racines ; **SpRac- 6** : *Trinervitermes* est rencontré au niveau des racines ; **SpRac- 7** : *Macrotermes* est rencontré au niveau des racines ; **SpTige- 0** : aucun termite au niveau des tiges ; **SpTige- 1** : *Ancistotermes* est rencontré au niveau des tiges ; **SpTige- 2** : *Microtermes* est rencontré au niveau des tiges ; **SpTige- 3** : *Pseudacanthotermes* est rencontré au niveau des tiges ; **SpTige- 4** : *Amitermes* est rencontré au niveau des tiges ; **SpTige- 5** : *Cubitermes* est rencontré au niveau des tiges ; **SpTige- 6** : *Trinervitermes* est rencontré au niveau des tiges ; **SpTige- 7** : *Macrotermes* est rencontré au niveau des tiges.

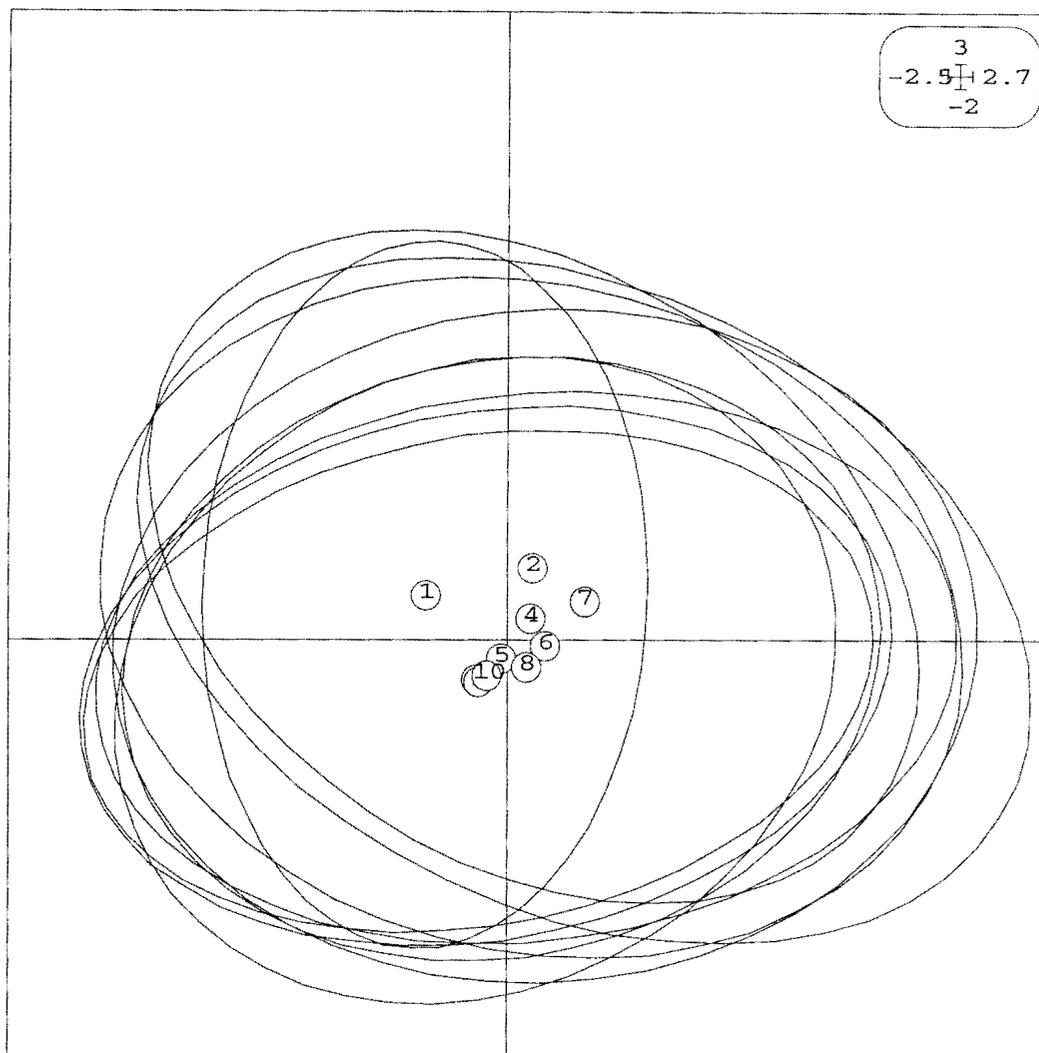


Figure 28 : Représentation sphérique des variables normalisées des 10 parcelles paysannes de riz prospectées à Booro-Borotou (N = 1000)

Individus et modalités (axes F1 et F2: 27%)

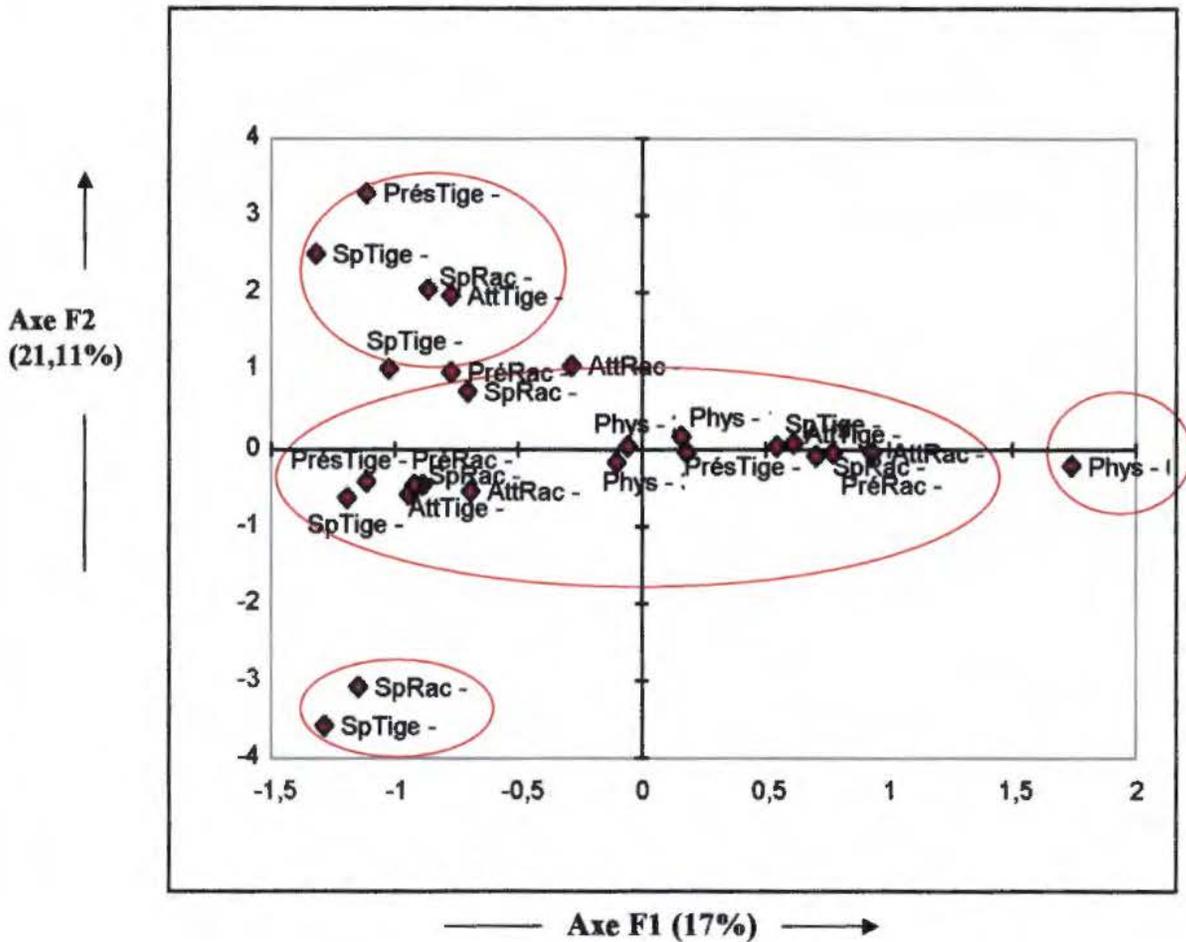


Figure 29 : Analyse des correspondances multiples des relations entre les abondances, les attaques et les espèces présentes sur les parcelles paysannes de maïs à Booro-Borotou (N = 2000)

Rac = racines ; Tige = Tiges ; Pr = Présence Pr Rac- 0 : 0 termite au niveau des racines ; Pr Rac- 1 : présence peu importante de *Ancistotermes* ; Pr Rac- 2 : présence importante de *Microtermes* ; Pr Tige- 0 : 0 termite au niveau au niveau des tiges ; Pr Tige- 1 : présence peu importante de *Ancistotermes* ; Pr Tige- 2 : présence importante de *Microtermes* ; Att = Attaque ; Att Rac- 0 : 0 attaque de termite au niveau des racines ; Att Rac- 1 : attaque peu importante de *Ancistotermes* ; Att Rac- 2 : attaque importante de *Microtermes* ; Att Tige- 0 : 0 attaque de termite au niveau au niveau des tiges ; Att Tige- 1 : attaque peu importante de *Ancistotermes* ; Att Tige- 2 : attaque importante de *Microtermes* ; Sp = espèce ; SpRac- 0 : aucun termite au niveau des racines ; SpRac- 1 : *Ancistotermes* est rencontré au niveau des racines ; SpRac- 2 : *Microtermes* est rencontré au niveau des racines ; SpRac- 3 : *Pseudacanthotermes* est rencontré au niveau des racines ; SpRac- 4 : *Amitermes* est rencontré au niveau des racines ; SpRac- 5 : *Cubitermes* est rencontré au niveau des racines ; SpRac- 6 : *Trinervitermes* est rencontré au niveau des racines ; SpRac- 7 : *Macrotermes* est rencontré au niveau des racines ; SpTige- 0 : aucun termite au niveau des tiges ; SpTige- 1 : *Ancistotermes* est rencontré au niveau des tiges ; SpTige- 2 : *Microtermes* est rencontré au niveau des tiges ; SpTige- 3 : *Pseudacanthotermes* est rencontré au niveau des tiges ; SpTige- 4 : *Amitermes* est rencontré au niveau des tiges ; SpTige- 5 : *Cubitermes* est rencontré au niveau des tiges ; SpTige- 6 : *Trinervitermes* est rencontré au niveau des tiges ; SpTige- 7 : *Macrotermes* est rencontré au niveau des tiges ; Phys = état phytosanitaire ; Phys- 0 = plant mort sur pied ou couché ; Phys- 1 = plant desséché ou dépérissant ; Phys- 2 = plant sain en bon état.

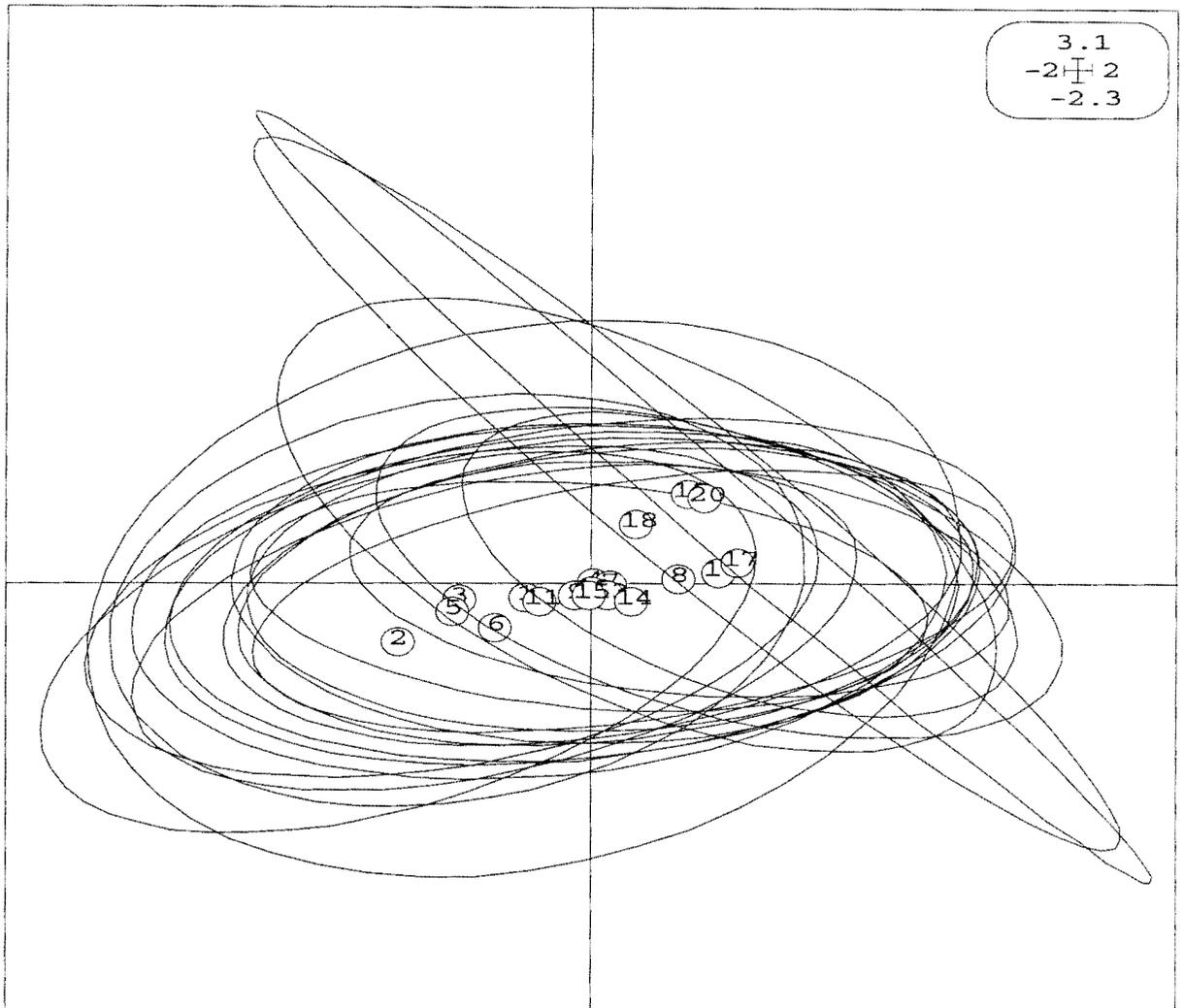


Figure 30 : Représentation sphérique des variables normalisées des 20 parcelles paysannes de maïs prospectées à Booro-Borotou (N = 2000)

Quant aux *Ancistrotermes cavithorax*, seul le traitement au Régent[®] C présente des différences de mortalité significativement supérieures au témoin pour toutes les doses testées (**Tableau XXI**). Les TL 50 obtenues pour les doses de 0,25 et 0,50 mg m.a./l de toutes les substances insecticides, hormis le Régent[®] C, sont très proches de celles du témoin (0,72 jours) sur les termites *Macrotermes subhyalinus*. Les temps d'observation de 50% de mortalité des *Ancistrotermes cavithorax* sont pratiquement les mêmes que ceux du témoin au niveau de tous les traitements, hormis celui au Régent[®] C. Le traitement au Régent[®] C se démarque de l'ensemble des autres traitements car pour toutes doses testées, d'importantes différences de temps de mortalité de 50% de la population échantillonnée sont enregistrées pour les deux espèces de termites.

3.1.4.1. Efficacité des produits sur *Ancistrotermes cavithorax*

La TL 50 est obtenue au niveau du témoin en 0,50 jour. Le Régent[®] C, suivi du Régent[®] B pour les petites doses, et du Régent[®] A pour les grandes doses, montrent leurs efficacités ; ce qui n'est pas le cas pour le Procibam[®] (**Tableau XXI**). La TL 50 est obtenue en 0,22 jour et 0,46 jour pour ces deux substances (Régent[®] C et Régent[®] A) à la plus faible dose. Ces résultats montrent l'efficacité du Régent[®] C qui diffère significativement des autres traitements. Les trois autres traitements insecticides semblent se comporter plus moins de la même manière sur *Ancistrotermes cavithorax*, bien que le Procibam[®] semble se montrer moins efficace comparativement au Régent[®] B et au Régent[®] A en ce qui concerne toutes les doses (2, 3 et 5 mg m.a./l) ; mais aucune différence n'est observée au laboratoire. Ces résultats vont dans la logique de ceux observés sur les parcelles expérimentales (**Tableau XXI**).

En ce qui concerne les DL50, les *Ancistrotermes* semblent plus sensibles au Régent[®] C, au Régent[®] A et au Régent[®] B. Le Fipronil, sous sa forme en granulés (Régent C[®]), est 32 fois plus toxique que le Procibam[®] sur les *Ancistrotermes cavithorax* : les DL50 obtenues sont respectivement de 0,045, et 1,44 mg m.a./l. Le Régent[®] C est respectivement 6 et 14 fois plus toxique que le Régent[®] A et le Régent[®] B, qui se présentent sous forme liquide et qui sont utilisés pour traiter les semences et le sol. Les DL50 obtenues pour ces deux insecticides (Régent[®] A et Régent[®] B) sont respectivement de 0,27 et 0,64 mg m.a./l.

Le Procibam[®] se montre le moins efficace sur ces espèces de termites. En effet, les traitements au Régent[®] A et au Régent[®] B sont respectivement 5 fois et 2 fois plus toxiques que ce produit. La DL50 obtenue pour le traitement au Régent[®] A présente une différence

significative par rapport au Procibam[®] ($P < 0,02$). Au niveau des DL95 enregistrées, le traitement au Procibam[®], présente la dose la plus importante (DL95 = 1,99 mg m.a./l) (**Tableau XXI**).

3.1.4.2. Efficacité des produits sur *Macrotermes subhyalinus*

Les différentes formulations semblent être efficaces sur l'espèce *Macrotermes subhyalinus*. En effet, toutes les TL 50 obtenues sont très inférieures à celles du témoin (TL 50 = 0,72 jours) quelle que soit la dose testée (**tableau XXI**).

Les mêmes observations sont notées au niveau de la mortalité de 50 % des individus (0,72 jours pour le témoin) pour des durées allant de 0,10 à 0,27 jour avec le Régent[®] C, de 0,28 à 0,55 jour avec le Régent[®] A, de 0,30 à 0,55 jour avec le Régent[®] B et de 0,23 à 0,64 jour avec le Procibam[®] et cela pour les doses croissantes. Une importante différence significative est observée entre le Régent[®] C et les autres traitements pour les doses similaires des différents produits. Les trois autres substances insecticides semblent se comporter de la même manière au laboratoire.

En ce qui concerne les DL50 pour *Macrotermes subhyalinus*, des observations similaires à celles enregistrées au niveau des *Ancistrotermes cavithorax* sont notées. En effet, le traitement au Régent[®] C, se montre, le plus efficace sur les termites ; la dose létale entraînant 50% de morts obtenues est de 0,14 mg m.a./l contre respectivement 0,30, 0,31 et 0,40 mg m.a./l pour les traitements au Régent[®] A, au Régent[®] B et au Procibam[®]. Le traitement au Régent[®] B, présente des différences de doses hautement significatives par rapport au Procibam[®]. L'analyse des DL50 montre que le Régent[®] C est 2 fois plus toxique que le Régent[®] A et le Régent[®] B, et 3 fois plus toxique que le Procibam[®] sur *Macrotermes subhyalinus*. La DL95, obtenue pour le traitements au Régent[®] C (0,16 mg m.a./l) sur les *Macrotermes subhyalinus* est significativement inférieure à celle des trois autres substances insecticides qui se montrent très proches les unes des autres (**Tableau XXI**).

Le traitement au Régent[®] C, s'est montré très efficace sur les populations des deux espèces de termites testées au laboratoire. Les autres insecticides se sont comportés plus ou moins de la même manière sur les deux espèces étudiées. Les termites du genre *Ancistrotermes* se sont révélés légèrement plus sensibles que les *Macrotermes* aux mêmes doses ; mais aucune différence significative n'est observée.

Tableau XXI : TL 50 (en jours), DL50 (en mg m.a./l) estimés par l'analyse probit « XL STAT, (6.0, ADDINSOFT) » des ouvriers de 2 espèces de termites en présence de différentes concentrations d'insecticides

Traitements	<i>Macrotermes sp.</i>				<i>Ancistrotermes sp.</i>			
	Régent A	Régent B	Régent C	Proci- bam	Régent A	Régent B	Régent C	Proci- bam
Concentrations								
0,25 mg m.a./l TL50	0,59	0,55	0,27	0,64	0,46	0,50	0,22	0,50
0,50 mg m.a./l TL50	0,50	0,52	0,22	0,44	0,46	0,38	0,18	0,44
1 mg m.a./l TL50	0,47	0,44	0,19	0,42	0,39	0,36	0,17	0,43
2 mg m.a./l TL50	0,38	0,40	0,15	0,40	0,35	0,33	0,15	0,41
3 mg m.a./l TL50	0,30	0,33	0,13	0,36	0,28	0,31	0,13	0,33
5 mg m.a./l TL50	0,28	0,30	0,10	0,23	0,10	0,29	0,09	0,28
Témoin TL50	0,72				0,5			
DL50	0,304	0,307	0,136	0,403	0,267	0,640	0,045	1,44
DL 95	0,450	0,410	0,164	0,446	0,198	1,590	0,100	1,990
Coef de cor (r) DL50	0,49	0,89	0,87	0,77	0,75	0,35	0,88	0,74
Probabilité DL50	P > 0,05	P < 0,005	P < 0,005	P < 0,02	P < 0,02	P > 0,05	P < 0,005	P < 0,02
Signification	NS	HS	HS	S	S	NS	HS	S

TL50 : temps léthal moyen (jours) pour lequel on observe 50 % de morts.

DL50 : dose létale moyenne (en mg m.a. /l) provoquant 50 % de morts.

DL95: dose létale moyenne (en mg m.a. /l) provoquant 95 % de morts.

Coef de cor (r) DL50 = Coefficient de corrélation de la DL50

Les TL 50 obtenues sont très proches les unes des autres, mais des différences sont observées au niveau des DL 50. Enfin, lorsque plusieurs doses ont été testées, il apparaît nettement que plus la dose utilisée est importante, plus la mortalité des termites est rapide au niveau de tous les insecticides testés.

3.1.5. Discussion

3.1.5.1. L'abondance des termites

3.5.1.1. Dans le milieu naturel

Les termites constituent l'essentiel de la macrofaune des milieux naturels des écosystèmes de savane (JOSENS, 1972, 1974; LEPAGE, 1981 ; KOUASSI, 1987 ; 1999 ; YAPI, 1991 ; TANO, 1993 ; BIGNELL et EGGLETON, 2000 ; YAPI *et al.*, 2001).

L'échantillonnage sur transect, par la méthode des points-contacts, nous a permis de répertorier 6 genres de termites sur notre site. Ce nombre de genres est inférieur à celui déterminé par la technique des carrés de fouille (12 genres) dans le même milieu. Cette méthode utilisant les points-contacts est donc très rapide, non destructive, mais assez sommaire dans ses résultats. Les auteurs (KOUASSI, 1987, 1990, 1991 et 1999 ; TANO, 1993) ont également signalé 12 et 36 genres de termites par la technique de carrés de fouille, dans ce milieu. En revanche, les travaux réalisés au Nigeria (WOOD *et al.*, 1980 ; WOOD *et al.*, 1977 a, 1982) répertorient respectivement 25 et 33 espèces de termites dans un milieu naturel de savane, tandis que l'étude de KOOYMAN et ONCK (1987) a permis de répertorier 16 espèces de termites dans les pâturages de basse altitude au Kenya, ce qui est supérieur à nos résultats.

Plusieurs raisons peuvent expliquer ces différences. En dehors de causes climatiques possibles, le fait que le bassin versant de Booro-Borotou ait été cultivé pendant de longues périodes pourrait expliquer ces différences dans le peuplement en termites. En outre, l'ampleur de notre échantillonnage réalisé n'est pas comparable, en terme de nombre d'échantillons et en terme de profondeur des échantillons, avec les travaux précités. Il reste également à déterminer avec plus de précisions les espèces récoltées dans notre travail.

Les termites champignonnistes (Macrotermitinae) constituent l'essentiel de la faune termitique de ce milieu, avec la présence des genres *Microtermes*, *Ancistrotermes* et *Pseudacanthotermes*. Nous avons identifié les meules de ces trois espèces de termites dans le

milieu, ce qui corrobore avec les résultats de KOUASSI (1999) obtenus sur le même site de Booro-Borotou.

Les travaux de JOSENS (1972) dans la savane de Lamto avaient identifié les meules de 4 genres de termites, parmi lesquels figurent les 3 genres que nous avons collectés. Seul le genre *Odontotermes* n'a pas été récolté dans nos échantillons. Mais le nid de ce groupe étant très agrégatif, il a pu échapper à notre échantillonnage.

En comparant, nos équations des droites de régression et les corrélations existantes entre le nombre de meules et le nombre de termites à celles de JOSENS (1974), nous constatons que les pentes de nos droites sont moins importantes pour les trois espèces de termites. Cette faiblesse des pentes s'expliquerait par le fait que la majorité des meules se sont fragmentées au cours de l'échantillonnage, et lors du décompte final au laboratoire, après un passage à l'étuve, des fragments de meules ont pu être pris en compte comme des meules entières. Tous ces éléments expliquent la difficulté de l'échantillonnage des meules.

En ce qui concerne les densités des meules au cours de notre échantillonnage, nos résultats au niveau des *Microtermes* et *Ancistrotermes* sont supérieurs d'un facteur dix à ceux observés par JOSENS (1974). Pour les *Pseudacanthotermes*, nous avons enregistré le double de la densité des meules obtenue par JOSENS (1974) dans la savane arbustive ouverte de Lamto, qui est légèrement équivalente au milieu de savane boisée où se trouve notre parcelle expérimentale. Ceci indique des populations de Macrotermitinae vraisemblablement très importantes sur notre site.

Toutes les corrélations obtenues entre les paramètres reliés aux meules et les paramètres reliés aux effectifs de termites sont significatives. Les moins bonnes corrélations sont notées entre la biomasse des termites et celle des meules. Ces mêmes observations ont été faites par JOSENS (1974) à Lamto et KOUASSI (1999) à Booro-Borotou.

Nos résultats montrent peu de différences entre les populations de termites récoltées en saison sèche et en saison de pluie (respectivement 1586,8 et 1590,3 individus par m²). D'autres travaux (TANO, 1993 ; KOUASSI, 1999), sur le même site expérimental, ont montré que la densité de termites était plus importante en saison de pluies qu'en saison sèche ; La densité obtenue par KOUASSI (1999) était de 4251,9 individus par m². Dans d'autres régions d'Afrique de l'Ouest, les densités obtenues dans des milieux de savane sous des climats analogues, sont beaucoup plus importantes (respectivement de 2966, 3528 et 4402

individus par m²) (WOOD *et al.*, 1977 b, 1980 ; WOOD et SANDS, 1978). Ces différences peuvent être liées à la pluviométrie ou bien à l'échantillonnage, qui reste limité, dans notre étude, aux couches 0-30 cm du sol, alors que l'on sait que les termites peuvent descendre bien plus profondément (WOOD *et al.*, 1977 b). Dans notre étude, la pluviométrie était de 0 mm en janvier et de 468 mm en août, les termites ont sans doute été perturbés à la fois par la sécheresse (en saison sèche) et l'abondance des pluies (en saison des pluies), ce qui a sûrement entraîné leur migration vers des couches plus profondes. Au Nigeria, la pluviométrie annuelle enregistrée était de 1175 mm en 1980 contre 1411,8 mm en 1998 à Booro-Borotou, ce qui met en relief que l'abondance des pluies pourrait perturber les termites.

3.1.5.1.2. Dans les parcelles expérimentales

Les auteurs (WOOD *et al.*, 1980) qui ont suivi au Nigeria l'évolution des espèces de termites présentes dans un champ de maïs cultivé sur plusieurs années, montrent qu'avant l'exploitation, 25 espèces de termites étaient présentes sur la parcelle avec 6 espèces dominantes : 4 appartenant aux champignonnistes (*Microtermes*, *Ancistrotermes*, *Odontotermes* et *Macrotermes*), 1 xylophage (*Microcerotermes*) et 1 fourrageur (*Trinervitermes*). Il ne restait que 7 espèces de termites après une année d'exploitation. Dans les pâturages du Kenya (KOOYMAN et ONCK, 1987), 16 espèces ont été trouvées dans la savane naturelle, contre 8 dans les champs de maïs, ce qui explique que dans les champs cultivés, un plus petit nombre d'espèces est capable de se maintenir.

Nos résultats vont dans le même sens : 11 genres et une unité taxonomique (*Apicotermatinae*) dans la savane naturelle, contre 3 à 6 genres dans nos parcelles témoins cultivées. On note par ailleurs une faible augmentation du nombre d'espèces due à la recolonisation du milieu par *Amitermes sp.* qui sont aussi de dangereux ravageurs de cultures. Les milieux paillés montrent un plus grand nombre d'espèces de termites, à cause de l'apport supplémentaire important de nourriture qu'ils procurent aux termites. En effet, les cultures laissant des résidus sur le sol attirent fortement les termites, mais ce sont souvent des espèces différentes de celles qui attaquent les cultures vivantes telles les *Pseudacanthotermes militaris* (RENOUX *et al.*, 1990). Ce paillage augmentant la diversité, on peut se poser la question de son effet sur la réduction des attaques de termites (rétablissement d'un certain « équilibre » entre les populations de prédateurs et de non-prédateurs, fourniture de nourriture qui détournerait les prédateurs consommateurs de litière comme les champignonnistes de

l'attaque des plants), comme l'ont suggéré certains auteurs : (JOSENS (1972), RAYMUNDO (1986), WARDELL (1987) et CISSE (1991). Il faut ajouter que l'espèce végétale utilisée comme plante de couverture pourrait jouer un rôle important dans la répulsion ou l'attraction des termites (WARDELL, 1987 ; RAYMUNDO, 1986 ; CISSE, 1991). En outre, l'adjonction de matériel qui se décompose dans les parcelles modifie les propriétés chimiques du sol et surtout ses caractéristiques relatives à l'humidité, ce qui peut influencer à la fois le comportement des termites et la croissance des cultures. Toutefois, les résidus de cultures ont été considérés comme une cause d'attaque sur le cotonnier au Malawi et au Soudan (MATTHEWS, 1989).

Les termites en général, et les champignonnistes en particulier, constituent l'essentiel du peuplement en milieu de cultures de riz et de maïs sur notre site. En effet, ces termites déprédateurs consomment une proportion importante de débris végétaux et sont présents dans les cultures (WOOD, 1976 ; WOOD et SANDS, 1978). Leur possibilité de stocker des aliments sous forme de meules à champignons souterraines leur permet de subsister dans les périodes difficiles (lors de la saison sèche). Au niveau des parcelles témoins et du paillage, la population de termites évolue dans le temps. Cette augmentation serait liée au maintien d'une source de nourriture dans ces milieux. La culture de maïs stimule la recolonisation des sols par les termites (WOOD *et al.*, 1980 ; TONDOH, 1992). Il en est de même pour la canne à sucre (MORA, 1990). Les densités de termites observés dans les parcelles de maïs au cours de cette étude sont notablement inférieures à celles du Nigeria (WOOD *et al.*, 1977 b ; 1980). En effet, des populations totales respectives de 1533 et 3 528 individus/m² ont été observés dans les parcelles de maïs au Nigéria (WOOD *et al.*, 1977 b ; 1980), à comparer avec des effectifs allant de 213,4 individus/m² en 1998 à 421,4/m² en 2000 dans nos parcelles.

Au niveau des parcelles de riz, les densités de termites enregistrées (325,3 individus/m²) sont inférieures à celles observées par KOUASSI (1991) sur le même site au niveau des parcelles paysannes en saison sèche (452,4 individus/m²) et en saison des pluies (3248 individus/m²).

Les termites humivores sont peu rencontrés dans les milieux de cultures sans doute à cause de la saisonnalité assez forte du climat et de la qualité de la nourriture ingérée qui semble ne pas être favorable à ces termites (TONDOH, 1992).

Parmi les termites dominants, *Microtermes* est l'espèce la plus abondante dans les cultures, suivie de *Ancistrotermes*. Ces deux termites sont généralement présents dans tous les milieux de cultures (naturel, paillé et traités aux insecticides). Ce genre *Microtermes* représentait 72,5% de la population totale en 1998 et 75% après un an de culture de maïs contre 44% et 31% au niveau de la culture de riz. Au Nigeria (WOOD *et al.*, 1980), *Microtermes* représentaient 58 % de la population totale après un an et 98% de cette population après trois années de culture de maïs. Les termites champignonnistes *Microtermes* et *Ancistrotermes* représentaient à eux deux respectivement 96,7% et 100% après un an et deux ans de culture de maïs et 62,3% et 52% après les mêmes périodes au niveau de la culture de riz. Au niveau de la culture de la canne à sucre en République Centrafricaine (MORA *et al.*, 1996), ces deux genres représentaient 60% des espèces et *Microtermes* représente à lui seul, 38 % des termites sur les cultures maraîchères au Sénégal (HAN et N'DIAYE, 1998). Ces termites du genre *Microtermes* résistent aux labours et aux préparations de terrain même lorsque leurs nids sont partiellement détruits. En effet, ce termite déprédateur construit des nids diffus qui se prolongent depuis la surface du sol, jusqu'à près de 2 m de profondeur et sont constitués de chambres, chacune contenant une meule à champignon, reliées par un réseau de galeries. En conséquence, ces nids ne sont gênés par la culture que superficiellement. De plus, *Microtermes* est petit et très mobile et ceci, combiné à son aptitude à accéder par le sol dans les plants et à ravager largement l'intérieur des tissus, lui permet d'exploiter les racines et les autres résidus des cultures (RENOUX, 1995 ; MORA *et al.*, 1996).

La répartition en profondeur des termites dans notre étude donne quelques indications sur ces modifications des peuplements de termites selon les traitements insecticides. Pour ceux à base de Fipronil, on constate une tendance à la localisation en profondeur des individus. C'est seulement avec le Procibam[®] et le paillage que la majorité des termites se localisent dans l'horizon supérieur. Cela démontre la faible efficacité de ce traitement insecticide et l'effet du paillage qui semble attirer les termites. Les travaux effectués par WOOD et JOHNSON (1978) au Nigeria montrent que les termites, plus précisément *Microtermes*, sont plus nombreux dans les strates de 0-50 cm en milieu naturel de savane. En milieux de culture de maïs, d'arachide et d'igname, la strate de sol la plus colonisée est celle de 0-25 cm ; la densité des termites peut atteindre 80%. Ce constat est le même que le nôtre ; en effet, au cours des deux premières années, aussi bien sur la culture de riz que de maïs, les termites se répartissaient dans la strate de 0-20 cm mais en troisième année, ils vont plus en

profondeur sans doute à cause de la perturbation de ces milieux par les traitements insecticides des parcelles limitrophes.

En ce qui concerne les traitements insecticides, nos résultats sont en accord avec ceux de ANONYME (1996) et LEPAGE (1999). En effet, selon ces études, les traitements insecticides ont pour effet principal une répartition plus profonde des individus et les résidus du Fipronil tendent à rester au niveau de la strate supérieure de 0-15 cm du sol ce qui pousse les termites à migrer vers les profondeurs.

3.1.5.2. Evaluation des dégâts sur les cultures

3.1.5.2.1. Dégâts sur le maïs

Sur les parcelles étudiées, les attaques des termites sont plus importantes sur la culture de maïs que sur le riz. Les pertes les plus importantes au niveau de la culture de maïs sont observées en première année, mais n'ont pas pu être comparées avec celles des années ultérieures compte tenu du fait qu'elle ont été faites à la récolte et que pour les années ultérieures, un suivi dans le temps a été réalisé. Sur l'ensemble des traitements et en fonction du temps, les attaques les plus importantes sont observées sur les parcelles non traitées (témoins) et sur les parcelles paillées. Ces attaques se répartissent en fonction de la pluviométrie et se scindent en deux tranches :

- la première a lieu au mois d'août, période de croissance des plants, elle est peu importante (0,67% d'attaques en 1999 et 2,25% en 2000) ;
- la seconde est plus importante : respectivement 1,33% d'attaques en 1999 et 4,42% en 2000. Elle a lieu lors de la phase de maturation des plants de maïs, juste après le maximum des pluies qui a lieu au mois de septembre.

Les attaques des termites sont plus importantes la première année et tendent à stagner ou à diminuer dans le temps (2,33% en 1999 et 2,44% en 2000) au niveau de la culture de maïs. Ces résultats sont conformes à ceux déjà observés dans les plantations d'hévéa en Côte d'Ivoire (TRAN VAN CANH, 1993). RENOUX (1991) décrit des attaques d'*Ancistrotermes guineensis* entraînant d'importants dégâts au moment du planting. Les résultats d'autres études semblent, en revanche, contraires à nos données : en effet, les travaux de WOOD *et al.*, (1977 a ; 1980) au Nigeria sur la culture de maïs, KUMAR et VEERESH (1990) en Inde sur le blé, WOOD *et al.*, (1987) au Yémen sur la culture de coton, montrent que les attaques des

termites sont peu importantes la première année (1-2%), mais qu'elles évoluent avec le temps sur les parcelles non traitées. Mais nous avons déjà remarqué que nos parcelles témoins, de faible dimension, pouvaient être contaminées par les traitements opérés sur les parcelles situées à proximité et que les insecticides utilisés pouvaient avoir une influence sur les populations de termites de ces témoins. En outre, la durée de notre expérimentation (3 ans) n'est sans doute pas suffisante pour observer une tendance de longue durée.

3.1.5.2.2. Dégâts sur le riz

Peu d'études ont été faites sur cette graminée HEMPEL, 1920 In (CZEPAK et *al.*, 1993) a été le premier à avoir recensé des attaques de termites dans les plantations de riz. Il existe peu de données sur les termites ravageurs de cette culture en Afrique, où les dégâts en général semblent peu importants. Plus de données existent en Amérique latine, où les genres *Syntermes* et *Cornitermes* sont de véritables ravageurs de riz au Brésil (SANDS, 1973). Leurs dégâts ont lieu sur le feuillage et les racines. *Syntermes molestus* peut être considéré comme le principal termite prédateur du riz, pouvant détruire totalement ou partiellement le système racinaire (DARIO et VILLELA FILHO, 1998).

En ce qui concerne la culture de riz, les attaques des plants sont très minimales durant les trois années d'expérimentation, elles varient entre 0,76% et 0,45%. Ces résultats sont similaires à ceux observés dans les rizicultures par BRENIERE (1983).

3.1.5.3. Efficacité des traitements insecticides

3.1.5.3.1. Comparaison des traitements sur le terrain

Le Fipronil, qui est une nouvelle molécule (BOBE, 1998), s'est montré efficace contre les termites. En effet, tous les traitements à base de Fipronil montrent des résultats plus efficaces que le Procibam au niveau des cultures de riz et de maïs.

Les traitements par pulvérisation de l'insecticide au niveau du sol (Régent[®] B) et par application de granulés (Régent[®] C) sur les cultures en croissance, donnent les effets les plus importants dans le temps. Le non renouvellement du traitement montre également des effets positifs, mais à un degré moindre en termes de réduction des populations de termites au niveau des cultures de riz et de maïs. Nos résultats sont en accord avec le Livret Technique du

Fipronil (ANONYME, 1995), qui affirme que le Fipronil (phénylpyrazoles) sous cette forme, utilisé à des doses allant de 25 à 75 g de m.a./ha, permet de lutter contre pratiquement l'ensemble des insectes, en particulier contre les termites, qu'il élimine pendant au moins 12 mois. Ce traitement élimine la plupart des termites déprédateurs dans les parcelles traitées.

L'efficacité des produits chimiques dans la lutte contre les termites a été étudiée par HARRIS, (1969); SANDS (1973); WOOD *et al.* (1987), CISSE (1991); WOOD *et PEARCE*,1991; TANO *et LEPAGE* (1996), HAN *et al.*, (1998), *et KOUDOU* (2000). Le traitement au Procibam[®] s'est montré moins performant sur la plupart des termites (champignonnistes et humivores) récoltés dans les parcelles, par rapport aux autres traitements à base de Régent[®], cela bien que les doses de matière active par ha aient été plus importantes (près de 8 fois plus : 960 g/ha, contre 125 g et même 100 g seulement avec le Régent[®] B). Pourtant, des études avaient montré que cet insecticide pouvait être très efficace contre les termites : dans la protection de l'arachide contre *O. obesus*, il réduit les attaques des racines et double le rendement (SINGH, 1989; LOGAN *et al.*, 1990), dans les cultures de cotonniers (WOOD *et al.*, 1987), et sur le maïs (TANO *et LEPAGE*, 1996). Dans les plantations de cocotiers au Sumatra, il donne de très bons résultats dans la mesure où il tue et repousse les termites de l'espèce *Coptotermes sp.* (MARIAU *et al.*, 1992; STEVENS *et WOODSON*, 2002). Mais il est vrai que ces auteurs ont employé des doses nettement supérieures à celles utilisées dans cette étude. Dans la mesure où les nouvelles exigences en matière d'environnement recommandent de diminuer autant que cela peut se faire les doses d'insecticides employées, sans réduction de leur efficacité, le Fipronil s'avère une bonne option pour le traitement chimique des cultures. Il est remarquable que le produit le plus efficace sur les rendements en grains, le Régent[®] C, est justement celui dont la quantité de matière active/ha est la plus faible.

Des premiers résultats obtenus sur les cultures de canne à sucre au Sénégal (MAMPOUYA, 1997), et au Brésil (MELO FILHO *et VEGA*, 1997) et sur les plantes cultivées au laboratoire, au Brésil (FERNANDES *et al.*, 1997) et des tests au laboratoire sur plusieurs espèces de termites africains, européens et sud-américains (DELGRADE, 1998; 2002) ont montré l'intérêt du produit. En effet, même à faible dose, la protection est équivalente à celle de la Dieldrine, pour un meilleur respect de l'environnement (MARCOLIN, 2000). Le Régent[®] B s'avère nettement plus efficace que le Procibam[®] 480 qui utilise le même mode d'application. L'efficacité du traitement des semences par le Régent[®] A

dépend des doses requises et de la rémanence du produit dans le milieu pour empêcher les attaques de cultures par les termites ; ce produit aurait une rémanence d'au moins 12 mois, et une dose requise de 100 à 120 g m.a./ha pour être très efficace sur les termites en traitement des semences de maïs (ANONYME, 1995 ; 1997). Pour le traitement des plantes en croissance (Régent[®] C), il dépend de la possibilité d'infiltration du produit dans le sol à partir de la surface et également de la dose à appliquer ; cette dose est fixée à 12,5 à 50 g m.a./ha sur le riz. Le Régent[®] C s'est montré efficace à la dose de 40 g/plant sur les essais en parcelles cultivées d'hévéas (KOUDOU, 2000). Tous les insecticides utilisés ont une rémanence d'au moins douze mois comme semblent l'attester nos résultats et certains tels que Régents[®] A et B peuvent l'être au – delà de cette durée.

Nos résultats montrent que ces nouveaux insecticides présentent des persistances assez importantes, à l'opposer d'autres travaux (MAULDIN *et al.*, 1987 ; WOOD *et al.*, 1987 ; MAMPE, 1989) qui affirment que cet insecticide n'est pas assez persistant en conditions tropicales.

3.1.5.3.2. Comparaison des traitements insecticides au laboratoire

Très peu d'études ont été réalisées au laboratoire, sur la toxicité des insecticides vis-à-vis des termites déprédateurs de cultures. Les principales données disponibles sur les termites supérieurs sont celles de PEPPUY *et al.* (1998) qui ont testé l'effet toxique de l'hexaflumuron sur les sexués de *Pseudacanthotermes spiniger* par application topique de la cuticule et ceux de DELGRADE (2002) qui a testé l'effet de toxicité des insecticides Fipronil et Thiamethoxam sur les termites par traitement direct des sols.

Par ailleurs, plusieurs insecticides ont été testés en laboratoire sur les termites inférieurs. Le Chlorpyrifos (SU *et al.*, 1997), la bifenthrine, la cyfluthrine et la fenpropathine (KARD *et al.*, 1996). Ces insecticides causent 100% de morts en moins d'une heure chez *Reticulitermes virginicus*.

En conditions semi-expérimentales, sur des nids, le Chlorpyrifos-éthyl (4,8 g m.a./nid) a été testés sur 60 nids de *C. cumulans* au total, après 120 jours d'application, tous les nids étaient détruits (MARICONI *et al.*, 1989). Ce même insecticide (4 kg de m.a./ha) appliqué dans les sillons de plantations a été testé sur les *Microtermes obesi* et les Macrotermitinae en

Côte d'Ivoire et dans d'autres pays africains tels que le Malawi (CHILIMA, 1989 ; LOGAN *et al.*, 1992 ; LEPAGE et TANO, 1996).

En ce qui concerne nos résultats, la grande sensibilité des termites du genre *Ancistrotermes* par comparaison avec les termites du genre *Macrotermes*, pourrait s'expliquer par la différence nette de poids entre ces deux termites et par le mode de récolte qui diffère. En effet, les *Ancistrotermes*, termites à nids hypogés, ont donc une tendance à l'édification de galeries souterraines et à l'enfouissement rapide des végétaux, ce qui les conduirait à manipuler de plus grandes quantités de sol que les *Macrotermes*, qui récoltent à l'abri des galeries, ou à l'air libre, du fait de leurs nids épigés, et qui, par conséquent, manipulaient moins de sol. Des observations similaires ont été faites par DELGRADE (2002) en mode opératoire différent du nôtre. En effet, elle a testé le Fipronil sur d'autres genres de termites (*Trinervitermes*, *Syntermes* et *Odontotermes*), ayant des régimes alimentaires différents de ceux des Macrotermitinae. Le nombre de termites mis par boîte variait en fonction de la taille des individus, ce qui n'est pas le cas dans notre étude ; ce nombre est le même pour les deux espèces testées. Les tests ont concerné des termites fourrageurs, des termites xylophages et des termites champignonnistes. Le nombre important d'ouvriers mis en élevage peut influencer la résistance des termites à l'insecticide, ce qui semble être observé dans notre étude, car les termites du genre *Macrotermes subhyalinus*, manipulant très peu le sol comparativement aux *Ancistrotermes cavithorax*, arrivent à survivre plus longtemps, compte tenu de leurs nombres importants qui leur permettent de digérer assez rapidement le Fipronil comparativement aux *Ancistrotermes cavithorax* qui s'empoisonnent davantage en manipulant le sol au cours de l'expérimentation. Les données de la littérature (GRASSE, 1982) et les travaux de DE SOUZA *et al.*, (2001) ont montré que plus le nombre d'individus est important, plus les tâches sociales comme le léchage et la trophallaxie sont partagées, ce qui a pour conséquence de diminuer le travail individuel et la dépense d'énergie, donnant ainsi une chance plus élevée à chaque individu de survivre aux effets toxiques de l'insecticide.

La meilleure adaptation des *Macrotermes subhyalinus* pourrait s'expliquer aussi par le fait que le substrat utilisé au cours de ces expériences est issu de termitières de l'espèce (*Macrotermes*), ainsi, le contenu en éléments minéraux et organiques, sa communauté microbienne pourraient-ils accélérer la dégradation du Fipronil, ce qui pourrait affecter la biodisponibilité de l'insecticide (FORSCHLER et TOWNSEND, 1996 ; RAMAKRISHNAN *et al.*, 2000 ; GAHLHOFF et KOEHLER, 2001 ; YING et KOOKANA, 2002).

En ce qui concerne la comparaison entre le Fipronil sous ces trois formes (Régent[®] A, Régent[®] B et Régent[®] C) et le Procibam[®], les différences de doses (DL50) et de temps létaux (TL50) sont significatives au niveau des résultats sur les deux espèces.

Le manque de différences significatives entre les traitements au Régent[®] A, au Régent[®] B comparativement au Procibam[®], pourrait être due à la difficulté de manipulation de laboratoire, qui semblent montrer que le Procibam[®] a été très toxique pour les populations de termites en les éliminant rapidement, ce qui est contraire à ce qui a été observé sur le terrain. Pour les trois insecticides au Fipronil, plus la dose testée est importante, plus la mortalité des termites est élevée. Des tests au laboratoire sur différents genres de termites (MOURA *et al.*, 1998) sur les *Syntermes wheeleri*, (FERNANDES *et al.*, 1997) sur les *Cornitermes snyderi*, et (MELO FILHO et VEIGA, 1997) sur les *Nasutitermes sp.* (DELGRADE, 2002) sur 7 genres de termites d'Afrique, d'Europe et d'Amérique confirment les bons résultats obtenus sur les nids de plusieurs espèces de termites supérieurs.

Les TL 50 obtenus par DELGRADE (2002) avec le Fipronil aux mêmes doses sur un autre termite champignoniste *Odontotermes smeathmani* pratiquant le même mode de récolte de *Macrotermes subhyalinus* sont très supérieurs au nôtre. On peut donc s'interroger sur ces différences et sur la plus grande fragilité des individus termites utilisés dans nos expériences.

Le Fipronil s'est montré également très efficace sur d'autres genres de termites, tels que *Reticulitermes virginicus* et *Coptotermes formosanus* au niveau desquels, il provoque 90% de morts en respectivement 7 heures et 4 heures avec de très faibles doses (OSBRINK *et al.*, 2001).

3.2. Impact des termites sur la production de riz et de maïs

L'impact des termites sur la production végétale des parcelles expérimentales est estimé par comparaison entre les parcelles traitées et les parcelles témoins. La production de ces parcelles témoins constitue donc une référence importante qu'il convient de bien préciser avant toute comparaison. C'est pourquoi nous avons jugé utile d'essayer de comprendre la mise en place de la biomasse végétale dans les parcelles témoins avant d'aborder l'impact proprement dit des termites sur la production végétale des cultures.

3.2.1. Relation entre la phénologie des plantes et les quantités de pluies tombées

Du semis à la récolte, le développement des plantes passe successivement par 4 ou 5 étapes selon les cultures : la germination, le tallage, la floraison, l'épiaison et la maturation. Le riz et le maïs ont chacun des besoins en eau pour assurer valablement leurs différentes périodes de croissance et de maturation.

Les besoins en eau de la culture, à chaque étape de son développement, sont très importants à estimer car ils influencent fortement le rendement obtenu en fin de récolte.

3.2.1.1. Parcelles de riz

En 1998, les quantités de pluies tombées 10 jours avant le planting ont été importantes et ont permis d'avoir une levée au bout de 5 jours. Les quantités de pluies tombées au cours de la croissance (13 mm par jour) sont suffisantes pour la culture de riz, qui nécessite une quantité journalière de 5 à 10 mm. Les périodes de floraison et d'épiaison ont connu une légère baisse des quantités de pluies (**Tableau XXII**). Les cultures n'ont aucunement souffert de la faible chute de la pluviométrie journalière jusqu'à la fin de la maturation.

La seconde année, la zone été faiblement arrosée les 10 derniers jours avant le planting ; seulement 36 mm de pluies sont tombées (**Tableau XXII**). La levée a été plus étalée dans le temps, mais la moyenne des pluies tombées est plus basse. Les premières pousses sont sorties de terre après 10 jours contre 5 jours en 1998. La phase de croissance, qui s'est étalée sur 59 jours, a connu des moyennes de pluies journalières de 8,71 mm, inférieures à celles de l'année précédente.

Tableau XXII : Quantités de pluies tombées sur la parcelle expérimentale pendant les différentes phases phénologiques de la culture de riz

Stades phénologiques	Quantité de pluies (mm/j) en 1998	Quantité de pluies (mm/j) en 1999	Quantité de pluies (mm/j) en 2000
1^{ère} décade avant la levée	152,6	36	62
Levée	5,00 (0-5 J.A.S)	4,25 (0-10 J.A.S)	12,00 (0-5 J.A.S)
Croissance	13,00 (5-52 J.A.S)	8,71 (10-69 J.A.S)	3,67 (5-81 J.A.S)
Floraison- épiaison	9,00 (52-64 J.A.S)	17,83 (69-87 J.A.S)	9,18 (81-108 J.A.S)
Maturation	9,90 (64-133 J.A.S)	2,69 (87-129 J.A.S)	1,36 (108-148 J.A.S)

J.A.S : jours après semis

Tableau XXIII : Quantités de pluies tombées sur la parcelle expérimentale pendant les différentes phases phénologiques de la culture de maïs

Stades phénologiques	Quantité de pluies (mm/j) en 1998	Quantité de pluies (mm/j) en 1999	Quantité de pluies (mm/j) en 2000
1^{ère} décade avant la levée	152,6	36	96
Levée	5,00 (0-4 J.A.S)	4,72 (0-9 J.A.S)	5,30 (0-5 J.A.S)
Croissance	13,00 (4-50 J.A.S)	9,88 (9-63 J.A.S)	5,53 (5-47 J.A.S)
Floraison- épiaison	9,00 (50-61 J.A.S)	15,28 (63-84 J.A.S)	14,96 (47-71 J.A.S)
Maturation	9,90 (61-133 J.A.S)	2,44 (84-129 J.A.S)	0,00 (71-130 J.A.S)

J.A.S : jours après semis

Pendant la phase de floraison et d'épiaison, les importantes quantités de pluies tombées (17,83 mm/jour) ont perturbé les cultures car on sait que de fortes pluies sont nuisibles à l'épiaison de cette culture. A la maturation, une diminution drastique des pluies a été observée (2,69 mm/jour), ce qui a sans doute influencé négativement la récolte.

Lors de la dernière année de culture, les quantités de pluies tombées une décade avant les semis est peu abondante (62 mm), mais elle a permis la levée au bout de 5 jours. Les chutes journalières des pluies ont connu leurs plus bas niveaux lors de la phase de croissance avec seulement 3,67 mm/jour sur une durée de 76 jours. A la période de floraison et d'épiaison, une augmentation de la pluviométrie a été observée. En effet, des totaux de 9,2 mm par jour ont été enregistrés sur cette culture. La phase de maturation a été relativement peu arrosée, avec seulement 1,4 mm de pluies par jour. Cette irrégularité de la distribution des pluies a été défavorable pour le bon déroulement des cultures.

3.2.1.2. Parcelles de maïs

Les résultats sont similaires à ceux obtenus pour les parcelles de riz. La première année a été bien arrosée avant la mise en culture, ce qui a facilité la levée qui s'est effectuée au bout de 4 jours (**Tableau XXIII**). Les phases de croissance, de floraison, épiaison et maturation ont été suffisamment arrosées, les hauteurs des pluies journalières obtenues dépassent largement les besoins de la culture en ces différentes périodes. En effet, on estime les besoins en eau de cette culture à environ 5,2-5,5 mm/jour jusqu'au 60^{ème} jour, c'est-à-dire à la floraison et 6 mm par jour de la floraison au 90^{ème} jour, ce qui correspond à la maturation. De la maturation à la récolte, les besoins en eau sont estimés à au moins 4 mm/jour. Cette couverture hydrique est largement dépassée en première année.

Au cours de la seconde campagne (1999), la faiblesse des pluies d'avant semis (36 mm) a retardé la levée, qui a eu lieu au bout de 9 jours. La croissance, qui s'est effectuée sur 52 jours a été bien couverte (10 mm/jour). La phase de floraison-épiaison a été abondamment arrosée (15,3 mm/jour), ce qui aurait pu être défavorable à la culture (**Tableau XXIII**). Les pluies ont été rares de la maturation à la récolte, avec seulement 2,4 mm/jour sur une période de 45 jours alors que les besoins en eau pour cette phase sont d'au moins 4 mm/jour.

En 2000, les variations hydriques au cours des différents stades phénologiques sont similaires à ceux observés au niveau de la culture de riz. Ces différents stades phénologiques ont connu de faibles chutes d'eau en période de croissance et une absence totale d'eau de la maturation à la récolte, sur une durée de 61 jours. Le remplissage des épis en période de maturité n'a pas pu être assurée correctement.

3.2.2. Comparaison des biomasses végétales non consommables

L'évaluation des biomasses en fin de récolte des cultures a porté sur les poids des racines et de la partie épigée des plants (tige, feuilles, panicules sans les grains), parties non consommables pour l'alimentation humaine. Nous distinguerons ensuite la biomasse (c'est-à-dire la production) des grains, qui constitue la partie consommable.

3.2.2.1. Parcelles de riz

3.2.2.1.1. Biomasse racinaire

On constate des variations importantes selon les traitements et selon les années (**Tableau XXIV**). On observe en première année un investissement plus important de biomasse de 20,2 % pour le traitement au Régent[®] A, mais cette moyenne n'est pas significativement différente de celle du témoin au seuil de 0,05. Les baisses des biomasses enregistrées pour les traitements au Procibam[®] et au paillage (- 28 %) sont significatives.

La seconde année (1999), sur les parcelles traitées une fois (T₁), les productions de biomasse par rapport au témoin sont importantes du fait de la faiblesse de la productivité du témoin. Toutefois, le gain significatif est observé seulement pour le traitement au Régent[®] A (+ 58,3%). La biomasse racinaire correspondant au traitement Régent[®] C, bien que supérieure de 38,6 % au témoin, n'en diffère pas significativement en raison de fortes variations des résultats autour de la moyenne. Pour ce qui concerne les parcelles traitées en 1998 et en 1999 (T₂), les gains de biomasses sont nettement supérieurs et significatifs pour les traitements à base de Régent[®] C, de Régent[®] A et de Régent[®] B (respectivement + 69,2 %, + 58,3 % et 49,3 %). Les investissements en biomasse sur les parcelles traitées au Procibam[®] et à la paille sont significativement moins importantes que les valeurs obtenues sur les parcelles témoin.

Lors de la dernière année (2000), les racines des parcelles témoin ayant subi d'importantes attaques comparativement aux autres traitements, la biomasse de cet essai montre une baisse de productivité par rapport à l'ensemble des traitements. Cette baisse de la productivité racinaire du témoin a une influence sur les gains de biomasse des différents traitements. En effet, les parcelles traitées aux Régent[®] B et Régent[®] C, une fois ou deux années successivement diffèrent significativement du témoin (dépassant même ou avoisinant + 70 % pour le Régent[®] B et le Régent[®] C au niveau des parcelles T₂). La comparaison des

traitements insecticides permet de dire que la biomasse racinaire la plus importante est obtenue sur les parcelles traitées aux Régent[®] B et C et, dans une moindre mesure, sur les parcelles traitées au Régent A (pour T1). Le paillage et le Procibam[®] ne diffèrent pas du témoin, tant au niveau des parcelles ayant reçues un nouvel amendement, que de celles qui sont demeurées sans traitement en 1999. Toutefois, l'examen des moyennes obtenues montre que ces gains correspondent surtout à une diminution de la biomasse racinaire au niveau des témoins, plutôt qu'à un gain net dans les parcelles traitées. Il convient de s'interroger sur les raisons d'une telle baisse au cours des années de l'étude.

3.2.2.1.2. Biomasse épigée

La première année, la biomasse en tiges dans le témoin est significativement supérieure à celle mesurée dans le traitement insecticide au Procibam[®] (**Tableau XXV**). Par contre, cette biomasse en tiges est inférieure à celles des traitements au Régent[®] A et Régent[®] B, mais sans que ces différences soient significatives.

En revanche, lors de la seconde année de campagne, les traitements insecticides au Fipronil présentent des gains de biomasse importants par rapport au témoin, que ce soit sur les parcelles traitées une seule année ou durant les deux années 1998 et 1999. Ces investissements en biomasse des différents traitements au Fipronil sont respectivement de + 40,7% pour le traitement au Régent[®] A, de + 61,4% pour celui au Régent[®] B et enfin de + 78,1% pour le traitement au Régent[®] C. Le Procibam[®] enregistre des biomasses très proches du témoin au niveau de ces diverses répétitions tandis que sur les parcelles paillées, un ou deux ans de suite, des biomasses inférieures au témoin sont enregistrées (**Tableau XXV**).

Lors de la dernière année d'étude, les biomasses sont toutes supérieures à celle du témoin, à l'exception du paillage sur les parcelles traitées une fois, qui ne diffère pas significativement du témoin. Les investissements en biomasse réalisés avec les traitements aux Régents[®] B et C diffèrent significativement des autres traitements insecticides et du paillage.

Tableau XXIV : Biomasse racinaire de riz sur les différentes parcelles traitées durant les trois années d'expérimentation

Traitements	Biomasses des végétaux (kg /ha)				
	Parcelle T0 (Campagne 1998)	Parcelle T1 (Campagne 1999)	Parcelle T2 (Campagne 1999)	Parcelle T1 (Campagne 2000)	Parcelle T2 (Campagne 2000)
Témoin	649,92 a	315,79 bc		231,41 b	
Régent A	781,12 a	499,75 a		345,24 a	332,27 a
Régent B	593,60 b	380,39 b	471,47 a	358,76 a	394,01 a
Régent C	489,84 bc	437,57 ab	534,34 a	333,63 a	399,23 a
Procibam	462,80 c	301,63 b	291,20 c	256,00 b	242,79 b
Paillage	464,98 c	359,29 b	258,07 c	274,37 b	292,21 b
	2,87 E - 02	4,79 E - 07	7,21 E - 05	1,43 E - 02	2,22 E - 02
Probabilité					
Interpretation	S	HS	HS	S	S

Tableau XXV : Biomasse aérienne non consommable de riz sur les différentes parcelles traitées durant les trois années d'expérimentation

Traitements	Biomasses des végétaux (kg /ha)				
	Parcelle T0 (Campagne 1998)	Parcelle T1 (Campagne 1999)	Parcelle T2 (Campagne 1999)	Parcelle T1 (Campagne 2000)	Parcelle T2 (Campagne 2000)
Témoin	955,76 ab	969,67 c		951,7 c	
Régent A	1002,76 a	1564,83 a		1354,50 ab	1196,58 b
Régent B	1000,88 a	1364,54 ab	1498,32 b	1395,87 a	1525,86 a
Régent C	833,20 b	1726,96 a	2325,93 a	1273,16 ab	1458,17 a
Procibam	771,84 c	1033,78 bc	1085,54 b	1143,94 b	1069,26 b
Paillage	925,44 ab	792,65 d	618,73 d	1114,90 c	1197,9 b
	3,89 E - 04	2,98 E - 07	7,14 E - 13	1,68 E - 09	4,90 E - 13
Probabilité					
Interpretation	HS	HS	HS	HS	HS

Tableau XXVI : Biomasse totale non consommable du riz sur les différentes parcelles traitées durant les trois années d'expérimentation

Traitements	Biomasses des végétaux (kg /ha)				
	Parcelle T ₀ (Campagne 1998)	Parcelle T ₁ (Campagne 1999)	Parcelle T ₂ (Campagne 1999)	Parcelle T ₁ (Campagne 2000)	Parcelle T ₂ (Campagne 2000)
Témoin	1667,38 a	1359,34 c		1283,93 b	
Régent A	1786,74 a	2356,25 b		1808,94 a	1624,02 b
Régent B	1623,47 a	1913,00 b	2203,48 b	1871,77 a	2051,14 a
Régent C	1346,49 b	2394,31 b	3181,13 a	1710,31 a	1981,53 a
Procibam	1260,59 b	1549,62 c	1848,03 b	1489,07 b	1393,01 b
Paillage	1417,67 b	1336,74 c	1014,03 d	1661,61 ab	1532,57 b
	4,21 E - 02	1,84 E - 02	0,24 E - 07	1,56 E - 05	2,41 E - 03
Probabilité					
Interpretation	S	S	HS	HS	HS

Les moyennes suivies d'une même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5 % selon le test de Duncan.

HS : test hautement significatif au seuil de 1 % ; S : test significatif au seuil de 5 %

3.2.2.1.3. Biomasse totale non consommable des plants de riz

Nous avons totalisé, pour chaque traitement, l'ensemble des biomasses des parties hypogée et épigée des plants. Les résultats vont dans le même sens et confortent les conclusions apportées précédemment. Bien que les moyennes de biomasses enregistrées soient très variables selon les parcelles, d'une campagne à l'autre, et d'un traitement à l'autre (**Tableau XXVI**), tous les traitements insecticides présentent des biomasses significativement supérieures à celles du témoin, à l'exception de la première année de culture où le témoin montre l'une des plus importantes biomasses (1667,38 kg/ha) ; les traitements au Régent[®] C, au Procibam[®] et le paillage ont des biomasses significativement inférieures au témoin. Les productions végétales les plus importantes, au cours des différentes campagnes, sont notées dans les parcelles traitées avec le Régent[®] C (respectivement + 76,14 %, + 134,02%) en 1999 et dans les parcelles traitées avec le Régent[®] B en 2000 (+ 45,78% et + 59,75%) selon les traitements T1 et T2. Les parcelles traitées deux années de suite montrent un investissement en biomasse supérieur par rapport aux parcelles traitées seulement en 1998 (+ 15,18 % pour le Régent[®] B, + 32,86% pour le Régent[®] C et + 19,25 % pour le Procibam[®]). Ces différences semblent baisser au cours de la 3^e campagne (entre les parcelles T1 et T2) pour les traitements à base de Fipronil (+ 9,58 % pour le Régent[®] B, + 15,92 % pour le Régent[®] C), mais pas pour le traitement au Procibam[®] et au Régent[®] A. Le paillage, par contre, présente des biomasses inférieures au témoin durant les deux premières campagnes aussi bien sur les parcelles ayant été amendées une ou deux fois (**Tableau XXVI**). Les parcelles ayant été paillées une seule fois produisent plus de biomasse végétale que celles qui ont subi deux amendements consécutifs en 1999 et en 2000.

3.2.2.2. Parcelles de maïs

3.2.2.2.1. Biomasse racinaire

Comme pour les parcelles de riz, les valeurs des biomasses mesurées pour le maïs diffèrent fortement selon les traitements et selon les années (**Tableau XXVII**).

Lors de la première année, les traitements au Régent[®] B et au Régent[®] C et le paillage présentent des biomasses significativement différentes du témoin, (soit des gains respectifs de + 38,9 %, + 24,6 % et + 27,6%).

En 1999, au cours de la seconde campagne, les investissements et les baisses de biomasse obtenues ne sont cette fois-ci pas significatives pour tous les traitements insecticides. Les biomasses enregistrées au niveau des parcelles T2 ainsi que sur les parcelles T1 du paillage sont significativement inférieures à celles du témoin et aux autres traitements (- 40,8%).

En dernière année (2000), les valeurs des biomasses sont sensiblement égales ; les traitements ne diffèrent pas les uns des autres.

3.2.2.2.2. Biomasse épigée

La récolte des parties épigées des plants de maïs, au cours de la première année, montre une différence significative des biomasses, uniquement pour le traitement au Régent[®] B et le paillage (+ 72,2 % et + 68,6 %) (**Tableau XXVIII**).

En 1999, lors de la seconde campagne, les biomasses sont significativement inférieures à celles du témoin pour tous les traitements hormis le traitement au Procibam[®] des parcelles T1. En effet, les baisses enregistrées pour les parcelles traitées seulement en 1998 (T1) sont respectivement de -32,8% pour le traitement au Régent[®] C et de - 47,7 % pour le traitement au Régent[®] B. Lorsque le traitement des parcelles est opéré également en 1999, aucun traitement ne montre une augmentation des biomasses par rapport au témoin. Tous les traitements nous donnent des résultats significativement inférieurs au témoin.

Lors de la dernière année (2000), les investissements en biomasses des différents traitements (T1 et T2) sont significatifs par rapport au témoin, qui a subi de nombreuses attaques des termites (13,5%). La comparaison entre les différents traitements ne révèle aucune différence de biomasse pour les parcelles T2.

3.2.2.2.3. Biomasse totale non consommable des plants de maïs

Au cours de la première année, seul le paillage montre une augmentation significative de la biomasse non consommable totale (+ 35,33 %) (**Tableau XXIX**).

En deuxième année, pour ce qui concerne toutes les parcelles traitées au Fipronil, une seule fois et deux fois, des différences significatives de biomasse par rapport au témoin sont enregistrées. En effet, le témoin investit le plus en biomasse non consommable au cours de la

**Tableau XXVII : Biomasse racinaire de maïs sur les différentes parcelles
traitées durant les trois années d'expérimentation**

Traitements	Biomasses des végétaux (kg /ha)				
	Parcelle T ₀ (Campagne 1998)	Parcelle T ₁ (Campagne 1999)	Parcelle T ₂ (Campagne 1999)	Parcelle T ₁ (Campagne 2000)	Parcelle T ₂ (Campagne 2000)
Témoin	147,75 b		192,65 a		208,3 a
Régent A	148,11 b		218,58 a	164,44 a	156,67 a
Régent B	205,23 a	179,04 a	263,91 a	171,38 a	197,15 a
Régent C	184,03 a	221,58 a	210,81 a	197,31 a	170,11 a
Procibam	154,13 b	194,67 a	198,68 a	174,79 a	177,22 a
Paillage	188,52 a	165,99 c	114,07 b	155,94 a	161,81 a
Probabilité	5,76 E - 03	2,21 E - 05	1,32 E - 04	5,51 E - 02	6,12 E - 02
Interpretation	HS	HS	HS	NS	NS

**Tableau XXVIII : Biomasse épiquée non consommable de maïs sur les différentes parcelles
traitées durant les trois années d'expérimentation**

Traitements	Biomasses des végétaux (kg /ha)				
	Parcelle T ₀ (Campagne 1998)	Parcelle T ₁ (Campagne 1999)	Parcelle T ₂ (Campagne 1999)	Parcelle T ₁ (Campagne 2000)	Parcelle T ₂ (Campagne 2000)
Témoin	245,41 b		758,01 a		309,08 c
Régent A	278,75 b		496,39 c	453,54 b	456,60 a
Régent B	422,53 a	396,20 d	614,90 b	437,14 b	462,26 a
Régent C	331,52 ab	509,70 c	617,96 b	530,02 a	456,45 a
Procibam	282,43 b	749,38 a	641,99 b	497,21 ab	483,12 a
Paillage	413,88 a	630,49 b	336,01 c	488,30 ab	480,59 a
Probabilité	4,01 E - 02	2,12 E - 05	2,61 E - 07	7,96 E - 08	1,08 E - 07
Interpretation	S	HS	HS	HS	HS

**Tableau XXIX : Biomasse totale non consommable du maïs sur les différentes parcelles
traitées durant les trois années d'expérimentation**

Traitements	Biomasses des végétaux (kg /ha)				
	Parcelle T ₀ (Campagne 1998)	Parcelle T ₁ (Campagne 1999)	Parcelle T ₂ (Campagne 1999)	Parcelle T ₁ (Campagne 2000)	Parcelle T ₂ (Campagne 2000)
Témoin	961,24 b		1760,35 a		1341,3 a
Régent A	1022,76 b		1368,03 b	1071,01 b	1058,72 b
Régent B	1225,08 ab	965,64 c	1321,83 b	1150,54 b	1184,60 ab
Régent C	1170,79 b	1446,96 b	1252,91 b	1245,62 ab	1371,63 a
Procibam	1172,64 b	1597,35 a	1489,91 b	1265,28 ab	1236,62 ab
Paillage	1300,92 a	1680,18 a	858,31 c	1366,52 a	1398,21 a
Probabilité	4,81 E - 02	2,31 E - 03	2,22 E - 03	1,31 E - 04	3,92 E - 04
Interpretation	S	HS	HS	HS	HS

Les moyennes suivies d'une même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5 % selon le test de Duncan. HS : test hautement significatif au seuil de 1 % ; S : test significatif au seuil de 5 %
NS : test non significatif au seuil de 5 %

campagne 1999 (1740,4 kg/ha). Lorsque les traitements insecticides sont pratiqués lors des deux années 1998 et 1999 (parcelles T2), tous ces traitements montrent des biomasses significativement inférieures au témoin.

En troisième année de culture en 2000, les parcelles ayant subi le paillage, en simple et double amendements, ont les biomasses végétales les plus importantes de tous les traitements. La différence de biomasse n'est pas significative par rapport à celle du témoin et par rapport à la plupart des traitements insecticides (**Tableau XXIX**).

Tous les traitements insecticides ne présentent pas de différences entre les parcelles traitées une ou deux fois (T1 et T2). On ne constate pas de différences entre les divers traitements insecticides dans les parcelles T2, bien que le Régent® C donne des résultats légèrement supérieurs (+ 2,2 % par rapport au témoin).

3.2.3. Comparaison des rendements en grains

3.2.3.1. Parcelles de riz

Les résultats obtenus quant aux différences de production de grains selon les traitements ne vont pas dans le même sens que les données provenant des biomasses non consommables des plants et montrent des différences difficilement explicables. (**Tableau XXX**).

Lors de la campagne 1998, tous les traitements insecticides, y compris le paillage, ont des rendements significativement inférieurs au témoin (**Tableau XXX**).

L'analyse des données de la seconde campagne (1999) confirme ces tendances, puisque l'on obtient des rendements en grains significativement inférieurs au témoin pour tous les traitements : Régent® B, Régent® C, Procibam® et paillage (jusqu'à - 82,2% pour ce dernier dans les parcelles T1 et - 33,1 % dans les parcelles T2). Le traitement lors des deux années 1998 et 1999, s'il réduit les écarts de production par rapport au témoin, montre néanmoins également des productions inférieures au témoin dans les parcelles traitées (**Tableau XXX**).

En 2000, en revanche, les traitements insecticides au Fipronil donnent tous, des productions de grains supérieures au témoin (**Tableau XXX**). Le gain le plus important est

obtenu avec le Régent[®] A (+ 21,6% dans les parcelles T1) et le Régent[®] B (+ 30,82 % dans les parcelles T2). Mais il faut remarquer que la production en grains du témoin est faible, sans doute du fait des attaques des termites, et des irrégularités des pluies tombées au cours des différentes phases de la phénologie de cette culture.

3.2.3.2. Parcelles de maïs

L'examen du **Tableau XXXI**, qui rassemble les données de production de grains, est difficilement interprétable. En effet, d'une part, les résultats sont très différents selon les traitements et selon les années, sans que l'on puisse discerner une tendance claire et d'autre part, la plupart des différences observées (en gains ou en pertes) ne sont pas statistiquement prouvées.

La première année, un gain significatif est mesuré uniquement pour le traitement avec le Régent[®] A (+ 47,8%). (**Tableau XXXI**).

Les rendements obtenus en seconde année sont significativement supérieurs au témoin uniquement avec le Régent[®] A dans les parcelles T1 (respectivement + 75,4%) mais, curieusement, ces gains de production n'apparaissent plus dans les parcelles traitées une seconde fois en 1999 (différences non significatives), sans doute en raison de variations importantes entre les parcelles. Le paillage enregistre des productions significativement inférieures au témoin (T1 et T2).

Les résultats de la dernière campagne (2000) montrent une différence significative entre le paillage au niveau des parcelles T1 et les autres traitements insecticides et le témoin (**Tableau XXXI**). Toutefois, il semblerait que les parcelles traitées deux fois en 1998 et 1999 (T2) montrent des rendements supérieurs à ceux mesurés dans les parcelles T1 et les parcelles traitées avec le Régent[®] A montrent des différences significatives par rapport aux autres traitements et au témoin ; un gain de + 47,2 % est enregistré sur ce traitement.

Le poids moyen de grains produit par un épi de maïs a été déterminé au cours des différentes campagnes (**Tableau XXXII**).

La première année, tous les traitements ne diffèrent pas du témoin en ce qui concerne le poids moyen de grains produits par pied. Ce qui confirme les résultats de la production totale en grains de l'ensemble.

Tableau XXX : Rendement du riz (grains) sur les différentes parcelles traitées durant les trois années d'expérimentation

Traitements	Rendement (kg /ha)				
	Parcelle T ₀ (Campagne 1998)	Parcelle T ₁ (Campagne 1999)	Parcelle T ₂ (Campagne 1999)	Parcelle T ₁ (Campagne 2000)	Parcelle T ₂ (Campagne 2000)
Témoin	1005 a		804 a		723,33 b
Régent A	870,8 b		831,15 a	879,63 a	866,48 ab
Régent B	757,6 b	558,82 b	666,13 b	832,37 a	945,96 a
Régent C	584,0 c	606,14 b	646,05 b	850,55 a	863,99 ab
Procibam	697,9 c	492,91 b	545,73 b	759,41 b	811,22 ab
Paillage	620,0 c	143,23 c	538,2 b	801,67 ab	793,00 b
Probabilité	2,35 E - 02	1,10, E - 04	2,44 E - 03	1.61 E - 14	1,42 E - 15
Interprétation	S	HS	HS	HS	HS

Les moyennes suivies d'une même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5 % selon le test de Duncan.

HS : test hautement significatif au seuil de 1 %

S : test significatif au seuil de 5 %

Tableau XXXI : Rendement du maïs (grains) sur les différentes parcelles traitées durant les trois années d'expérimentation

Traitements	Rendement (kg /ha)				
	Parcelle T ₀ (Campagne 1998)	Parcelle T ₁ (Campagne 1999)	Parcelle T ₂ (Campagne 1999)	Parcelle T ₁ (Campagne 2000)	Parcelle T ₂ (Campagne 2000)
Témoin	1054,07 b		1057,2 b		723,79 b
Régent A	1558,01 a		1854,4 a	673,97 b	1065,33 a
Régent B	1128,12 b	731,05 c	950,82 c	565,38 c	775,66 b
Régent C	1145,21 b	1358,72 ab	937,31 c	530,85 c	849,71 b
Procibam	1354,12 ab	1314,57 ab	1211,28 b	652,73 b	770,74 b
Paillage	1109,2 b	567,97 c	778,84 d	820,98 a	808,70 b
Probabilité	5,51 E - 03	3,32 E - 02	4,81 E - 01	6,53 E - 01	6,78 E - 01
Interprétation	HS	S	NS	NS	NS

Les moyennes suivies d'une même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5 % selon le test de Duncan.

HS : test hautement significatif au seuil de 1 %

NS : test non significatif au seuil de 5 %

S : test significatif au seuil de 5 %

L'analyse des données de la seconde campagne (1999) montre en revanche des poids moyens de grains par pied significativement supérieurs au témoin dans les traitements au Régent[®] A, au Régent[®] C uniquement sur les parcelles T1 et au Procibam[®] sur les parcelles T1 et T2.

En 2000, aucune différence de rendement n'est observée par rapport au témoin. Les poids moyens des grains obtenus sur les parcelles T1 ne diffèrent pas entre eux au niveau des parcelles non traitées en 1999. A la différence des parcelles non traitées, les parcelles traitées pendant deux années successives au Régent[®] C et au Procibam[®] enregistrent les plus bas poids de grains produits par pied.

3.2.4. Comparaison des valeurs des rapports entre biomasse épigée et biomasse hypogée des cultures

Afin de préciser les influences des attaques des termites sur la croissance des cultures de riz et maïs, nous avons étudié les investissements des plants au niveau des racines et des tiges pour chaque traitement effectué, en effectuant la comparaison des rapports de la biomasse épigée à la biomasse hypogée.

3.2.4.1. Parcelles de riz

Sur l'ensemble des parcelles de riz, aucune différence significative n'est observée entre les rapports des biomasses épigées sur les biomasses hypogées (**Tableau XXXIII**).

Pour ce qui concerne les parcelles traitées en 1998, le rapport biomasse épigée sur biomasse hypogée donne des valeurs plus élevées mais ne différant pas de façon significatives pour tous les traitements insecticides, par rapport au témoin et au paillage (**Tableau XXXIII**). Ces résultats signifient que la plante investit plus en biomasse épigée qu'en racines. Ces résultats sont toutefois à examiner avec précaution, compte tenu qu'une partie des récoltes, des racines reste enfouie dans le sol et échappe ainsi à la mesure à la récolte.

Les explications possibles à cet investissement en faveur des parties épigées du plant seraient relatives, d'une part à l'attaque des termites au niveau des racines sur les parcelles non traitées, ce qui diminuerait d'autant leur biomasse et d'autre part, à un meilleur état

sanitaire des plants traités, qui leur permettrait de consacrer une part moins importante à la production de racines, pour une alimentation minérale satisfaisante.

Lors des années ultérieures, la valeur du rapport des biomasses croît par rapport à la première année au niveau du témoin, du paillage et de tous les traitements aussi bien sur les parcelles traitées une fois que deux fois mais il n'y a pas de différences significatives entre les différents traitements. En 1999, le traitement au Régent[®] C sur les parcelles T1 et T2 présente la valeur la plus élevée de l'ensemble des parcelles suivi des parcelles traitées au Procibam[®], qui montrent un investissement important en biomasse épigée sur les parcelles T1 et T2 qui ne diffère pas statistiquement des autres traitements (**Tableau XXXIII**).

En 2000, on constate, une hausse de la valeur du rapport sur le témoin, et une hausse très importante de cette valeur sur les parcelles traitées au Procibam[®] et les parcelles paillées ou non en 1999. Ces hausses ne diffèrent pas de celles des autres traitements au plan statistique. Les traitements insecticides au Fipronil présentent tous un rapport similaire statistiquement au témoin.

3.2.4.2. Parcelles de maïs

Des observations similaires à celles du riz, sont faites sur le maïs. Tous les traitements donnent les résultats semblables durant les deux premières années de campagne. Les seules différences constatées entre les traitements ont lieu en 2000.

Au cours de la première année, tous les traitements présentent des rapports de biomasse identiques au témoin (**Tableau XXXIV**). Les valeurs des rapports sont très proches les uns des autres au niveau de tous les traitements insecticides. En deuxième et en troisième années, les valeurs des rapports sont plus importants que ceux obtenus la première année comme au niveau des parcelles de riz, mais les résultats ne sont pas différents au plan statistique (**Tableau XXXIV**). Le témoin et le traitement au Procibam[®] correspondent à un léger investissement des plants en biomasse épigée sur les parcelles T1 et T2 de 1999. En 2000, cet investissement est plus important au niveau du Procibam[®] aussi bien sur les parcelles traitées une fois que celles traitées deux fois (**Tableau XXXIV**) en ce qui concerne les traitements insecticides.

Tableau XXXII : Poids moyen des grains (g) produits par un pied de maïs (N =9)

Traitement	Campagne T0 (1998)	Campagne T1 (1999)	Campagne T2 (1999)	Campagne T1 (2000)	Campagne T2 (2000)
<i>Témoin</i>	109,8 a		88,1 b		71,0 a
Régent A	136,7 a		147,2 a	72,3 a	100,0 a
Régent B	99,0 a	60,9 b	71,3 b	60,6 a	83,2 a
Régent C	112,3 a	127,4 a	70,3 b	63,8 a	44,3 b
Procibam	118,8 a	123,2 a	113,6 a	82,7 a	54,4 b
Paillage	123,2 a	53,2 b	64,9 b	67,5 a	68,5 ab
Probabilité	7,96 E - 01	3,46 E - 02	3,95 E - 02	0,74	4,97 E - 02
Interprétation	NS	S	S	NS	S

Les moyennes suivies d'une même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5 % selon le test de Duncan.

S : test hautement significatif au seuil de 5 %

NS : test non significatif au seuil de 5 %

Tableau XXXIII : Rapport de la biomasse des parties épigées sur les parties hypogées en culture de riz (N = 9)

Traitement	Campagne T0 (1998)	Campagne T1 (1999)	Campagne T2 (1999)	Campagne T1 (2000)	Campagne T2 (2000)
Témoin	1,47 a		3,07 a		4,11 a
Régent A	1,28 a		3,13 a	3,59 a	3,60 a
Régent B	1,69 a	3,59 a	3,18 a	3,89 a	3,87 a
Régent C	1,70 a	3,95 a	4,35 a	3,82 a	3,65 a
Procibam	1,67 a	3,43 a	3,73 a	4,47 a	4,40 a
Paillage	1,99 a	2,21 a	2,40 a	4,06 a	4,10 a
Probabilité	0,652	0,971	0,097 E - 02	0,84	0,795
Interprétation	NS	NS	NS	NS	NS

Tableau XXXIV : Rapport de la biomasse des parties épigées sur les parties hypogées de la culture de maïs (N =9)

Traitement	Campagne T0 (1998)	Campagne T1 (1999)	Campagne T2 (1999)	Campagne T1 (2000)	Campagne T2 (2000)
Témoin	1,66 a		3,93 a		1,48 b
Régent A	1,88 a		2,27 a	2,76 b	2,91 b
Régent B	2,06 a	2,21 a	2,33 a	2,55 b	2,34 b
Régent C	1,80 a	2,30 a	2,93 a	2,69 b	2,68 b
Procibam	2,15 a	3,85 a	3,23 a	2,84 b	2,73 b
Paillage	1,50 a	3,80 a	2,95 a	7,15 a	2,97 b
Probabilité	0,342	0,876	0,112	0,023	0,432
Interprétation	NS	NS	NS	S	NS

sanitaire des plants traités, qui leur permettrait de consacrer une part moins importante à la production de racines, pour une alimentation minérale satisfaisante.

Lors des années ultérieures, la valeur du rapport des biomasses croît par rapport à la première année au niveau du témoin, du paillage et de tous les traitements aussi bien sur les parcelles traitées une fois que deux fois mais il n'y a pas de différences significatives entre les différents traitements. En 1999, le traitement au Régent[®] C sur les parcelles T1 et T2 présente la valeur la plus élevée de l'ensemble des parcelles suivi des parcelles traitées au Procibam[®], qui montrent un investissement important en biomasse épigée sur les parcelles T1 et T2 qui ne diffère pas statistiquement des autres traitements (**Tableau XXXIII**).

En 2000, on constate, une hausse de la valeur du rapport sur le témoin, et une hausse très importante de cette valeur sur les parcelles traitées au Procibam[®] et les parcelles paillées ou non en 1999. Ces hausses ne diffèrent pas de celles des autres traitements au plan statistique. Les traitements insecticides au Fipronil présentent tous un rapport similaire statistiquement au témoin.

3.2.4.2. Parcelles de maïs

Des observations similaires à celles du riz, sont faites sur le maïs. Tous les traitements donnent les résultats semblables durant les deux premières années de campagne. Les seules différences constatées entre les traitements ont lieu en 2000.

Au cours de la première année, tous les traitements présentent des rapports de biomasse identiques au témoin (**Tableau XXXIV**). Les valeurs des rapports sont très proches les uns des autres au niveau de tous les traitements insecticides. En deuxième et en troisième années, les valeurs des rapports sont plus importants que ceux obtenus la première année comme au niveau des parcelles de riz, mais les résultats ne sont pas différents au plan statistique (**Tableau XXXIV**). Le témoin et le traitement au Procibam[®] correspondent à un léger investissement des plants en biomasse épigée sur les parcelles T1 et T2 de 1999. En 2000, cet investissement est plus important au niveau du Procibam[®] aussi bien sur les parcelles traitées une fois que celles traitées deux fois (**Tableau XXXIV**) en ce qui concerne les traitements insecticides.

Tableau XXXII : Poids moyen des grains (g) produits par un pied de maïs (N =9)

Traitement	Campagne T0 (1998)	Campagne T1 (1999)	Campagne T2 (1999)	Campagne T1 (2000)	Campagne T2 (2000)
<i>Témoin</i>	109,8 a		88,1 b		71,0 a
Régent A	136,7 a		147,2 a	72,3 a	100,0 a
Régent B	99,0 a	60,9 b	71,3 b	60,6 a	83,2 a
Régent C	112,3 a	127,4 a	70,3 b	63,8 a	44,3 b
Procibam	118,8 a	123,2 a	113,6 a	82,7 a	54,4 b
Paillage	123,2 a	53,2 b	64,9 b	67,5 a	68,5 ab
Probabilité	7,96 E - 01	3,46 E - 02	3,95 E - 02	0,74	4,97 E - 02
Interprétation	NS	S	S	NS	S

Les moyennes suivies d'une même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5 % selon le test de Duncan.

S : test hautement significatif au seuil de 5 %

NS : test non significatif au seuil de 5 %

Tableau XXXIII : Rapport de la biomasse des parties épigées sur les parties hypogées en culture de riz (N = 9)

Traitement	Campagne T0 (1998)	Campagne T1 (1999)	Campagne T2 (1999)	Campagne T1 (2000)	Campagne T2 (2000)
Témoin	1,47 a		3,07 a		4,11 a
Régent A	1,28 a		3,13 a	3,59 a	3,60 a
Régent B	1,69 a	3,59 a	3,18 a	3,89 a	3,87 a
Régent C	1,70 a	3,95 a	4,35 a	3,82 a	3,65 a
Procibam	1,67 a	3,43 a	3,73 a	4,47 a	4,40 a
Paillage	1,99 a	2,21 a	2,40 a	4,06 a	4,10 a
Probabilité	0,652	0,971	0,097 E - 02	0,84	0,795
Interprétation	NS	NS	NS	NS	NS

Tableau XXXIV : Rapport de la biomasse des parties épigées sur les parties hypogées de la culture de maïs (N =9)

Traitement	Campagne T0 (1998)	Campagne T1 (1999)	Campagne T2 (1999)	Campagne T1 (2000)	Campagne T2 (2000)
Témoin	1,66 a		3,93 a		1,48 b
Régent A	1,88 a		2,27 a	2,76 b	2,91 b
Régent B	2,06 a	2,21 a	2,33 a	2,55 b	2,34 b
Régent C	1,80 a	2,30 a	2,93 a	2,69 b	2,68 b
Procibam	2,15 a	3,85 a	3,23 a	2,84 b	2,73 b
Paillage	1,50 a	3,80 a	2,95 a	7,15 a	2,97 b
Probabilité	0,342	0,876	0,112	0,023	0,432
Interprétation	NS	NS	NS	S	NS

Le paillage correspond à un investissement plus important en biomasse épiquée comparativement aux autres traitements au niveau des parcelles T1. Le témoin connaît une baisse importante de la valeur de ce rapport au cours de cette dernière campagne ; cette baisse ne diffère pas statistiquement de celle des années antérieures.

3.2.5. Comparaison des valeurs des rapports de la production des grains et de la biomasse épiquée

Dans le but de comparer l'investissement de chaque culture dans la production de grains de l'ensemble des traitements, nous avons déterminé le rapport de cette production de grains de riz et de maïs à la biomasse épiquée.

3.2.5.1. Parcelles de riz

Les investissements les plus élevés en grains des plants de riz sont notés en première année. En effet, les valeurs de rapports grains sur tiges les plus importantes sont notées avec le traitement avec le Régent® A, le Procibam® et le témoin (**Tableau XXXV**). Dans l'ensemble des traitements des cultures de riz, aucune différence significative n'est observée de la première à la dernière campagne (1998 à 2000).

Les années suivantes, 1999 et 2000, une petite baisse de l'investissement des plants de riz, mais pas sur le plan des analyses statistiques pour la production est notée sur tous les traitements (T1 et T2). Le traitement au Régent® A correspond au meilleur investissement de l'ensemble en 1999, tandis qu'en 2000, les plants des parcelles témoins investissent plus en grains par rapport aux autres traitements, qu'ils soient renouvelés ou non en 1999.

3.2.5.2. Parcelles de maïs

Dans l'ensemble des traitements des cultures de riz et de maïs, aucune différence significative n'est observée de la première à la dernière campagne (1998 à 2000).

Les rapports biomasse des grains sur biomasse épiquée (tiges), sont indiqués dans le **Tableau XXXVI**. Ces différentes valeurs de biomasse ont des valeurs uniformes statistiquement au cours des trois années d'expérimentation.

**Tableau XXXV : Rapport de la production de grains sur la biomasse
épigée en culture de riz (N = 9)**

Traitement	Campagne T0 (1998)	Campagne T1 (1999)	Campagne T2 (1999)	Campagne T1 (2000)	Campagne T2 (2000)
Témoin	4,30 a		1,39 a		2,34 a
Régent A	5,59 a		3,74 a	1,49 a	1,90 a
Régent B	2,67 a	1,85 a	1,55 a	1,29 a	1,68 a
Régent C	3,45 a	2,67 a	1,52 a	1,00 a	1,86 a
Procibam	4,79 a	1,75 a	1,89 a	1,31 a	1,60 a
Paillage	2,68 a	0,90 a	2,32 a	1,83 a	1,68 a
Probabilité	0,056	0,321	0,094	0,467	0,277
Interprétation	NS	NS	NS	NS	NS

**Tableau XXXVI : Rapport de la production des grains sur la biomasse épigée
en culture de maïs (N =9)**

Traitement	Campagne T0 (1998)	Campagne T1 (1999)	Campagne T2 (1999)	Campagne T1 (2000)	Campagne T2 (2000)
Témoin	1,05 a		0,83 a		0,76 a
Régent A	0,87 a		0,53 a	0,65 a	0,72 a
Régent B	0,76 a	0,41 a	0,44 a	0,60 a	0,62 a
Régent C	0,70 a	0,35 a	0,28 a	0,67 a	0,59 a
Procibam	0,90 a	0,48 a	0,50 a	0,70 a	0,76 a
Paillage	0,67 a	0,18 a	0,87 a	0,72 a	0,66 a
Probabilité	0,211	0,101	0,288	0,498	0,561
Interprétation	NS	NS	NS	NS	NS

La première année, le meilleur investissement relatif en grains de l'ensemble est noté sur les parcelles témoins, mais il reste peu différent de l'investissement constaté sur les parcelles des traitements insecticides et du paillage.

En revanche, la seconde année, le témoin investit une nouvelle fois un peu plus que tous les traitements insecticides au niveau des parcelles T1 et T2. Le paillage renouvelé donne le meilleur résultat au niveau des parcelles T2.

Lors de la dernière année d'étude, les investissements relatifs en grains semblent similaires au niveau de tous les traitements insecticides et le paillage sur les parcelles T1, mais varie très peu au niveau des parcelles T2. L'investissement au niveau du témoin subit une petite baisse qui n'a aucune signification au plan de la statistique au cours du temps, cela pourrait être lié aux importantes attaques des termites.

3.2.6. Corrélations entre les attaques et les différents paramètres mesurés

3.2.6.1. Corrélation entre les attaques et le rapport de la biomasse épigée sur la biomasse hypogée

3.2.6.1.1. Parcelles de riz

Au niveau de la culture de riz, les attaques des termites se corrént plus ou moins significativement au rapport des biomasses épigées sur les biomasses hypogées. En effet, cette corrélation est importante avec les traitements avec le Régent[®] A et le Régent[®] B au niveau des parcelles T1 (avec des coefficients de corrélation respectifs de $r = 0,94$ et $0,87$) (**Tableau XXXVII**).

Sur les parcelles traitées à nouveau en 1999 (**Tableau XXXVIII**), les corrélations les plus importantes sont obtenues pour les traitements avec le Régent[®] A et le Régent[®] C. Ces importantes attaques sont un facteur limitant pour la production de la plante et ces attaques sont plus ressenties au niveau des racines des cultures de riz. Les corrélations sont assez importantes ($r = -0,65$) sur le paillage au niveau des parcelles T2 et sur le Procibam[®] au niveau des parcelles T1, ce qui traduit l'effet important des attaques des termites au niveau de ces deux traitements.

Tableau XXXVII : Equation de la droite de régression et coefficient de corrélation
entre les attaques et le rapport de biomasse des parties épigées sur celle des
parties hypogées au niveau des parcelles non traitées (T1) en 1999 de la
culture de riz (N =9)

Traitement	Equation de la droite de régression	Coefficients de corrélation (r) et degré de signification
Témoin	$Y = - 0,132 x + 0,881$	- 0,74 (P< 0,005)
Régent A	$Y = 0,103 x - 0,113$	+ 0,94 (P< 0,005)
Régent B	$Y = 0,073 x - 0,061$	+ 0,87 (P< 0,005)
Régent C	$Y = + 0,005 x + 0,069$	+ 0,58 (P< 0,02)
Procibam	$Y = - 0,076 x - 0,121$	- 0,75 (P< 0,01)
Paillage	$Y = 0,081 x + 0,452$	+ 0,36 (P> 0,05)

Tableau XXXVIII : Equation de la droite de régression et coefficient de corrélation
entre les attaques et le rapport de biomasse des parties épigées sur celle des
parties hypogées au niveau des parcelles traitées (T2) en 1999 de la culture de
riz (N =9)

Traitement	Equation de la droite de régression	Coefficients de corrélation (r) et degré de signification
Témoin	$Y = - 0,132 x + 0,881$	- 0,74 (P< 0,005)
Régent A	$Y = 0,103 x - 0,113$	+ 0,94 (P< 0,005)
Régent B	$Y = - 0,005 x + 0,069$	- 0,21 (P> 0,05)
Régent C	$Y = 0,076 x - 0,121$	+ 0,83 (P< 0,005)
Procibam	$Y = 0,060 x + 0,143$	+ 0,33 (P> 0,05)
Paillage	$Y = - 0,043 x + 0,877$	- 0,65 (P< 0,01)

3.2.6.1.2. Parcelles de maïs

En ce qui concerne les corrélations entre les attaques et le rapport des biomasses, elles sont toutes négativement corrélées. Le témoin est le plus faiblement corrélé comparativement à l'ensemble des traitements insecticides et au paillage au niveau des parcelles T1 (**Tableau XXXIX**). Par contre, les traitements au Régent[®] C et au Régent[®] B montrent de fortes corrélations ($r = - 0,97$ et $- 0,99$) au niveau des parcelles T1 et T2 (**Tableau XL**). Le témoin montre une corrélation plus faible, significative ($r = - 0,58$ et $P < 0,02$).

3.2.6.2. Corrélation entre les attaques et le poids des grains produit par un pied de maïs

Les attaques des termites sont plus ou moins fortement liées à la production des grains de maïs au niveau du témoin et du traitement au Régent[®] B dans les parcelles non traitées en 1999 (**Tableau XLI**). La production est importante pour les parcelles ayant subi peu d'attaques telles que la parcelle traitée au Régent[®] B ; donc, moins il y a d'attaques de termites, plus il y a production de grains par pied.

Dans les parcelles T2, le témoin et tous les autres traitements (insecticides et paillage), hormis le traitement au Régent[®] A, les attaques sont significativement corrélées au poids de grains produit par pied de maïs (**Tableau XLII**).

3.2.6.3. Corrélation entre les attaques, la production végétale consommable (grains) et non consommable (biomasses végétales)

Dans le but de bien dégager les impacts des termites sur la production (biomasse végétale et grains) des cultures de riz et de maïs en général, nous avons fait une analyse en composantes principales (ACP) qui nous permettra de résumer la variabilité des paramètres que nous avons recueillis au cours de cette étude. Cette analyse permet de dégager les relations entre les variables du rendement utilisées dans les différents traitements au cours de cette expérimentation.

Tableau XXXIX : Equation de la droite de régression et coefficient de corrélation

entre les attaques et le rapport de biomasse des parties épigées sur celle des parties hypogées au niveau des parcelles non traitées (T1) en 1999 de la culture de maïs (N=9)

Traitement	Equation de la droite de régression	Coefficients de corrélation (r) et degré de signification
Témoin	$Y = - 2,878 x + 13,13$	- 0,58 (P< 0,02)
Régent A	$Y = - 5,220 x + 14,35$	- 0,81 (P< 0,005)
Régent B	$Y = - 5,072 x + 13,288$	- 0,77 (P< 0,005)
Régent C	$Y = - 2,830 x + 8,206$	- 0,97 (P< 0,005)
Procibam	$Y = - 5,235 x + 19,94$	- 0,79 (P< 0,005)
Paillage	$Y = - 2,255 x + 10,122$	- 0,82(P< 0,005)

Tableau XL : Equation de la droite de régression et coefficient de corrélation

entre les attaques et le rapport de biomasse des parties épigées sur celle des parties hypogées au niveau des parcelles traitées (T2) en 1999 de la culture de maïs (N=9)

Traitement	Equation de la droite de régression	Coefficients de corrélation (r) et degré de signification
Témoin	$Y = - 2,878 x + 13,13$	- 0,58 (P< 0,02)
Régent A	$Y = - 5,220 x + 14,35$	- 0,81 (P< 0,005)
Régent B	$Y = - 11,746 x + 27,866$	- 0,99 (P< 0,005)
Régent C	$Y = - 2,534 x + 7,747$	- 0,98 (P< 0,005)
Procibam	$Y = - 9,456 x + 30,07$	- 0,91 (P< 0,005)
Paillage	$Y = - 9,994 x + 33,32$	- 0,98(P< 0,005)

Tableau XLI : Equation de la droite de régression et coefficient de corrélation

entre les attaques (%) et le poids des grains produit par un pied de maïs (kg/ha) au niveau des parcelles non traitées (T1) en 1999 (N=9)

Traitement	Equation de la droite de régression	Coefficients de corrélation (r) et degré de signification
Témoin	$Y = - 2,846 x - 19,55$	- 0,83 (P < 0,005)
Régent A	$Y = 0,249 x - 0,63$	+ 0,36 (P > 0,05)
Régent B	$Y = 0,751 x - 3,76$	+ 0,99 (P < 0,005)
Régent C	$Y = 0,197 x - 0,196$	+ 0,51 (P < 0,05)
Procibam	$Y = 1,071 x - 7,05$	+ 0,42 (P > 0,05)
Paillage	$Y = 2,341 x - 10,93$	+ 0,95 (P < 0,005)

Tableau XLII : Equation de la droite de régression et coefficient de corrélation

entre les attaques (%) et le poids des grains produit par un pied de maïs (kg/ha) au niveau des parcelles traitées (T2) en 1999 (N=9)

Traitement	Equation de la droite de régression	Coefficients de corrélation (r) et degré de signification
Témoin	$Y = - 2,846 x - 19,55$	- 0,83 (P < 0,005)
Régent A	$Y = 0,249 x - 0,63$	+ 0,36 (P > 0,05)
Régent B	$Y = 1,196 x - 8,56$	+ 0,89 (P < 0,005)
Régent C	$Y = 0,406 x - 1,58$	+ 0,91 (P < 0,005)
Procibam	$Y = 0,823 x - 3,36$	+ 0,52 (P < 0,05)
Paillage	$Y = 2,597 x - 13,65$	+ 0,99(P < 0,005)

3.2.6.3.1. Variables mesurées

Nous avons utilisé cette ACP afin de dégager les principales interactions entre les composantes du rendement et les attaques des termites suivies au cours de ces trois années d'expérimentation. La parcelle de la première année (50 m²) est utilisée pour cet échantillonnage. Les sous-parcelles obtenues en 1999 et 2000 sont utilisées pour ce traitement. Dans chacune des parcelles et sous-parcelles, nous avons relevé l'ensemble des variables qui composent le rendement et les attaques des termites afférentes à ces différents traitements en fonction des années d'étude.

Les variables mesurées au niveau du riz sont relatives :

- *à la biomasse des différentes parties du végétal ;*
 - racines : biomasse des racines
 - tiges : biomasse des tiges
 - feuilles : biomasse des feuilles
 - glumes + rafles : biomasse des glumes et des rafles au niveau du maïs
 - grains : biomasse des grains

- *aux attaques des termites;*
- *aux différents traitements*
 - TEM : Témoin
 - REG A: Régent[®] A
 - REG B : Régent[®] B
 - REG C : Régent[®] C
 - PRO : Procibam[®]
 - PAIL : Paillage

- *au renouvellement ou non des traitements*
 - NT : Non traité en 1999
 - T : Traité en 1999

- *aux années*
 - 1998 : T0
 - 1999: T1
 - 2000 : T2

Dans une première phase, nous avons réalisé l'analyse en composantes principales (ACP) uniquement avec les variables relatives aux composantes du rendement et aux attaques des termites. Les résultats sont présentés sur les **figures 31 et 32**.

3.2.6.3.2. Parcelles de riz

L'analyse en composantes principales des variables relatives aux composantes du rendement de riz et aux attaques des termites (**Figure 31**) distingue :

- sur l'axe 1, première composante, permet d'expliquer 59% de variabilité. L'axe 2, seconde composante en explique 23,4%, soit 82,4% de la variance expliquée par ces deux axes principaux. Les variables qui contribuent le plus fortement à la formation de l'axe 1 sont respectivement, la biomasse des tiges, des racines et des grains à hauteur de + 93,7%, 93,0% et 87,3%. La biomasse des panicules sans grains intervient pour environ 66,6% et enfin, les attaques des termites ne contribuent qu'à un niveau de 0,93% (**annexe IV a**).

Les variables qui contribuent à définir l'axe 2 sont ; les attaques des termites à hauteur de 94,4%, suivie de la biomasse des panicules sans grains à hauteur de 46,2% et enfin de la biomasse de grains (23%).

L'étude de ces corrélations au niveau du riz permet de mettre en liaison la biomasse des tiges à celles des racines et des grains ($r = + 0,91$ et $r = + 0,73$), tout comme, la forte corrélation qui existe entre la biomasse des racines et celle de grains ($r = + 0,77$). Les tiges et les racines sont négativement corrélées aux attaques ($r = - 0,10$ et $r = - 0,12$) (**annexe IV b**). La projection des modalités des variables dans le plan factoriel (**Figure 31**) permet d'indiquer que l'axe 1 est corrélé positivement avec les biomasses des racines et des tiges. Cet axe, se trouve être corrélé négativement aux autres variables (biomasse des grains, des panicules sans grains et les attaques des termites). On remarque par ailleurs que l'axe 2 est corrélé positivement et négativement aux mêmes variables que l'axe 1.

L'analyse en composantes principales des différents traitements selon les années durant lesquelles se sont déroulées cette étude et du renouvellement ou non des traitements, montre que les attaques des termites se distinguent d'un traitement à un autre au cours de l'année 2000. Pour les deux premières années (1998 et 1999), les attaques des termites au niveau des différents traitements se répartissent sur l'ensemble du plan (**Figure 32**). Ces attaques sont uniformes sur les parcelles traitées et non traitées. Il n'y a donc pas « d'effet traitement » au niveau de la culture de riz (**Figure 32**).

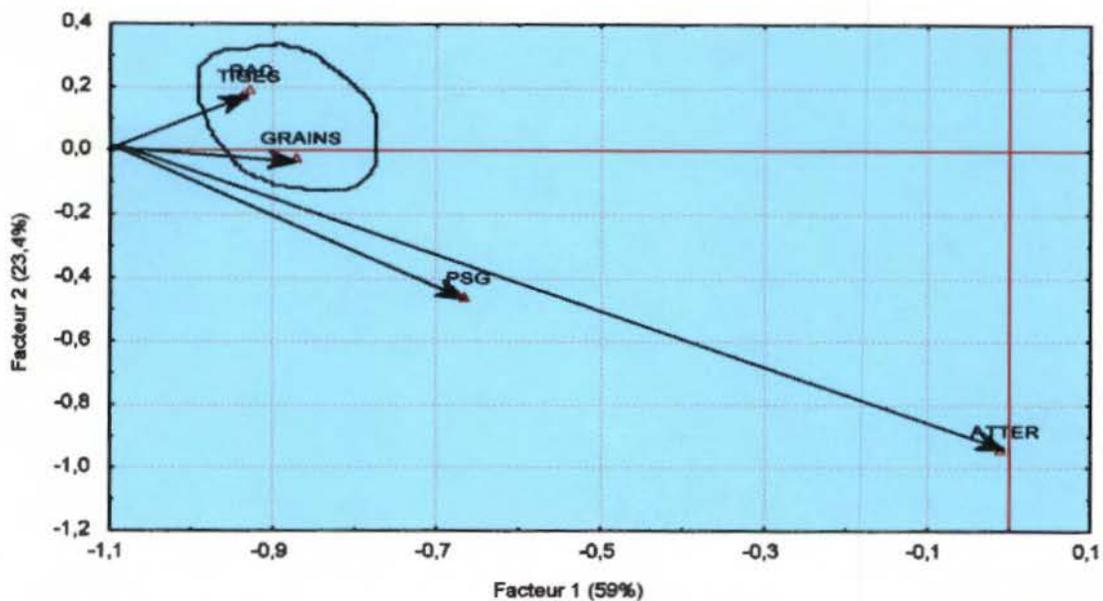


Figure 31 : Analyse en composantes principales des corrélations entre les attaques et les composantes du rendement selon les axes F1 et F2 sur les parcelles de riz

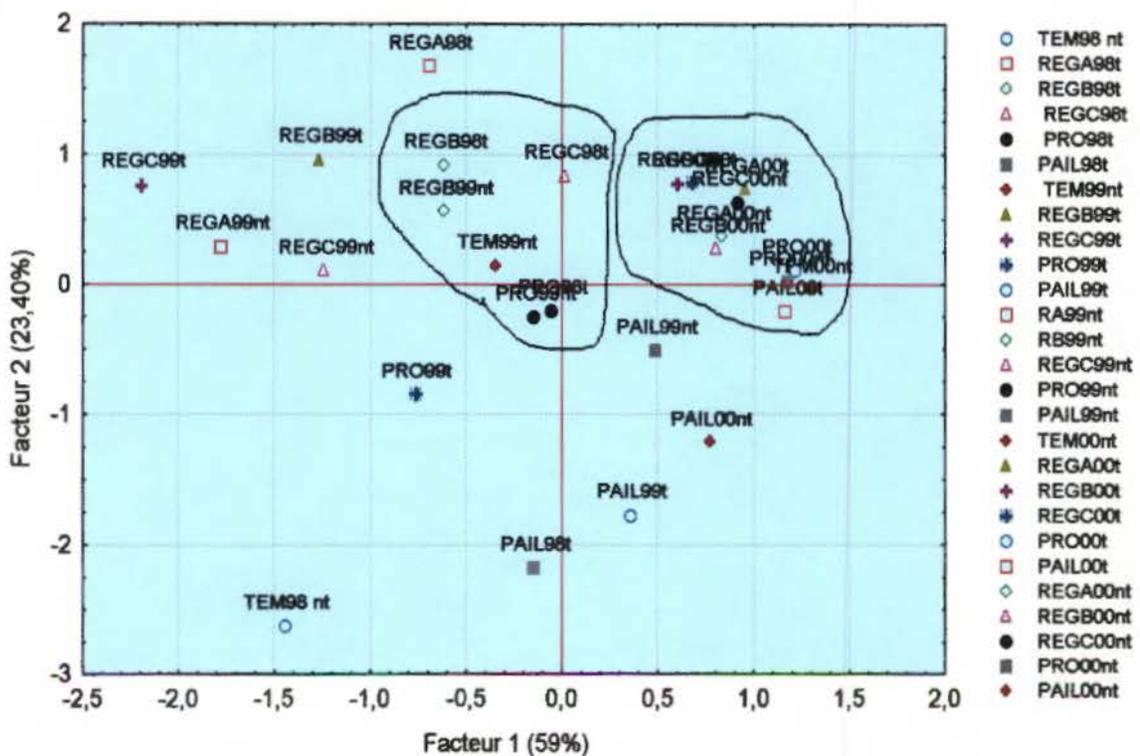


Figure 32 : Analyse en composantes principales des variables traitements, des variables état phytosanitaire et des variables années d'expérimentation par rapport aux axes F1 et F2 au niveau de la culture de riz

3.2.6.3.3. Parcelles de maïs

Au niveau de la culture de maïs, l'analyse de l'ACP (**Figure 33**), montre que l'axe 1 explique 58,72% de la variance et l'axe 2, seconde composante permet d'expliquer 21,83% de variabilité. Les deux axes expliquent à deux 80,55% de la variance.

En ce qui concerne la contribution des variables à la constitution de l'axe 1, les plus importantes sont enregistrées au niveau des tiges (86,1%), des feuilles (85,7%), des racines (81,4%), le couple glumes-rafles y contribuent à hauteur de 77,2% et enfin les grains à une hauteur de 67,5% (**annexe IV c**). L'axe 2 est fortement corrélé à la contribution des attaques des termites à hauteur de 66,3% suivi du cumul rafles et glumes (55,4%) et enfin des grains et des racines (48,2%). Le total de la contribution de la composante grain et de son enveloppe de protection avoisine les 90%.

L'analyse de la matrice de corrélation du maïs (**annexe IV d**) montre que les variables les plus corrélées sont les racines et les tiges d'une part ($r = 0,87$) et la variable feuille est liée à la variable glumes + rafles ($r = 0,82$) sur la culture de maïs.

L'analyse de la **figure 34**, présentant la projection des différentes modalités dans le plan factoriel des axes 1 et 2, permet de scinder les différentes variables analysées en 4 groupes et dans cette répartition, l'axe 1 oppose les traitements aux Régents en 1998 aux autres parcelles de la même campagne (témoin, Procibam[®] et paillage).

On constate que les attaques ont été très peu importantes sur les traitements au Régent[®] A, au Régent[®] B et au Régent[®] C tandis que le contraire est observé sur le témoin, le traitement au Procibam[®] et sur les parcelles paillées en 1998. Lors de la seconde année, le paillage et le témoin n'ayant pas subi de renouvellement, se distinguent des autres traitements en ce qui concerne les attaques des termites. Le Régent[®] A se corréle négativement aux attaques, quand le paillage se corréle positivement. Les attaques des termites sont homogènes sur l'ensemble des traitements, hormis le paillage au cours de la campagne 2000, aussi bien pour les parcelles ayant été traitées à nouveau en 1999 et que pour celles qui sont restées intactes depuis la première année (**Figure 34**).

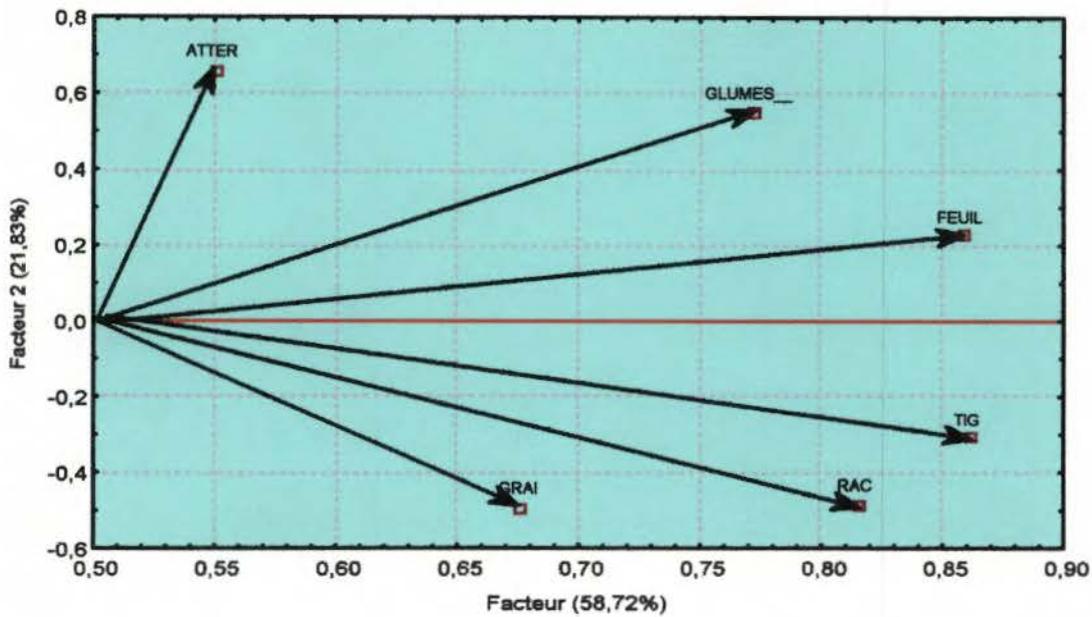


Figure 33 : Analyse en composantes principales des corrélations entre les attaques et les composantes du rendement selon les axes F1 et F2 sur les parcelles de maïs

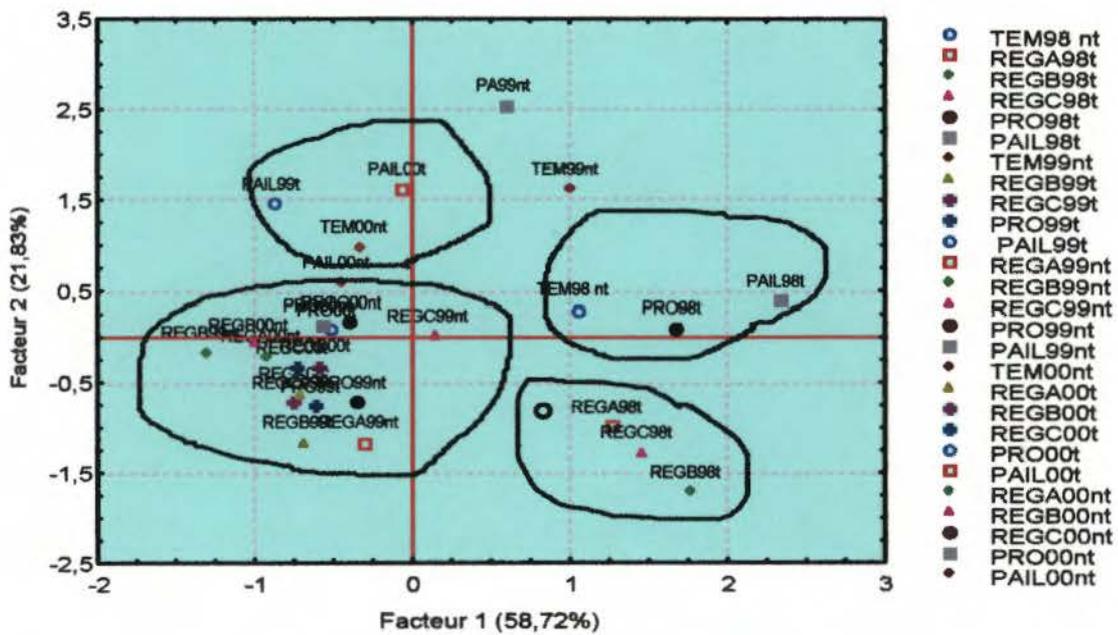


Figure 34 : Analyse en composantes principales des variables traitements, des variables état phytosanitaire et des variables années d'expérimentation par rapport aux axes F1 et F2 au niveau de la culture de maïs

3.2.7. Discussion

3.2.7.1. Action des traitements sur les parties non consommables des plants

En nous référant à l'action des divers traitements opérés sur les parcelles, nous avons constaté un lien entre l'efficacité des traitements sur les termites et la production de la biomasse des parties végétales non consommables de riz et de maïs. En effet, nous notons qu'au niveau du riz, tous les traitements à base du Fipronil enregistrent généralement les biomasses les plus importantes au niveau des tiges, des racines et de l'ensemble de la biomasse non consommable produite par la plante. Ces observations sont également enregistrées pour la culture de maïs.

Les observations de plein champ faites sur le riz ont montré des effets comme le développement du système racinaire, les talles plus nombreux et plus forts, la surface foliaire et la hauteur des plantes accrues, et une amélioration significative des biomasses.

Il semblerait que le Fipronil ait une action positive sur la croissance des végétaux. En effet, selon le livret technique sur le Fipronil (ANONYME, 1995), l'application de Fipronil sur les végétaux provoque fréquemment une stimulation de la croissance sur un certain nombre de cultures. Ce qui semble être le cas dans notre étude, si nous comparons les parcelles traitées avec cet insecticide aux parcelles paillées, au traitement avec le Procibam[®] et aux parcelles témoins. La production des cultures traitées au Fipronil est régulièrement plus élevée que celle résultant de l'utilisation d'autres insecticides (ANONYME, 1997 ; MAMPOUYA, 1997).

Selon les données de la littérature (CORTET *et al.*, 2002 ; YING et KOOKANA, 2002), le Fipronil permet une décomposition rapide de la matière organique du maïs, ce qui favoriserait le développement des cultures. L'efficacité du Fipronil résulterait du fait qu'il serait ainsi transporté via les sédiments organiques à la plante et qu'il agirait par la suite sur la mésofaune et la microfaune du sol quelques jours après son application (BIEVER *et al.*, 2003). La matière active de cette nouvelle molécule (Fipronil) diffuse dans l'eau et est soumise à un processus complexe de distribution entre le complexe argilo-humique, la biomasse microbienne et la plante de maïs (LIEGEOIS *et al.*, 1997). Toujours selon ces

mêmes auteurs, on assiste à un chargement rapide des parties en croissance, en contact avec l'eau du sol et à une surconcentration plus lente dans les téguments de réserves de la graine ; c'est cette concentration dans les parties néoformées qui semblerait jouer un rôle dans le déterminisme de l'action insecticide.

Au niveau de la culture de riz, le Fipronil agirait aussi sur la stimulation de la croissance du végétal. Son temps de demi-vie est de 44 à 533 heures dans l'eau (N'GIM, *et al.*, 2001) et de 188 jours dans le sol (YING et KOOKANA, 2002). Toutefois, d'autres travaux (STEVENS *et al.*, 1999), ont montré que le Fipronil ne stimulait pas la croissance des plantes.

Le Dursban a été, par le passé, efficace dans la lutte contre les termites ; mais avec l'avènement de nouveaux insecticides, cet insecticide semble montrer ses limites. En effet, au Tchad, le Dursban (chlorpyrifos-éthyl), qui possède la même molécule active que le Procibam[®], utilisé contre les termites ravageurs de cultures, a dû être abandonné du fait de la toxicité de ce produit et des résultats médiocres obtenus (RENOUX, 1995).

Le paillage a présenté des biomasses (racines, tiges et biomasse totale), qui variaient dans le temps et qui étaient quelquefois plus importantes que le témoin. Au niveau des productions de grains, c'est seulement au cours de la dernière année que le paillage a montré des productions supérieures aux parcelles témoins de riz et de maïs. Les termites étant d'abord confrontés à un choix de nourriture, il est vraisemblable qu'ils s'orientent en premier lieu vers la paille qu'ils consomment, les détournant de l'attaque sur les plants de cultures. Lorsque cette paille se décompose au cours du temps, les termites peuvent se tourner vers les plantes qu'ils attaquent, entraînant des pertes et des baisses de rendements. On ignore également si cet apport supplémentaire de nourriture peut accroître les populations de termites, qui trouveraient là des conditions plus favorables pour s'établir. Le problème de la destruction des cultures par les termites après épuisement du paillage a été posé dans la littérature (JOSENS, 1974 ; RAYMUNDO, 1986 ; WARDELL, 1987 ; MORA, 1992 ; CISSE, 1991).

3.2.7.2. Action des traitements sur les rendements en grains

Au niveau de la production des grains du riz et du maïs, les traitements au Fipronil ont généralement enregistré les meilleures productions sauf en première année pour le riz. Les

traitements insecticides (Régent[®] A, Régent[®] B et Régent[®] C), confirment encore une fois les données de la littérature sur l'efficacité du Fipronil en plein champ (ANONYME, 1995 ; MAMPOUYA, 1997 ; MARCOLIN, 1998 ; MOURA *et al.* ; 1998 ; DELGRADE et ROULAND-LEFERVE, 2001). Au niveau du Procibam[®], des résultats assez intéressants avaient été notés par TANO et LEPAGE (1996). Ces travaux (loc.cit) ont enregistré des rendements grains de 2,8 et 3,025 t/ha pour les sols traités respectivement avec 1l/ha et 2l/ha de Procibam[®] et un recul des attaques de 16 à 18% pour les parcelles traitées à l'insecticide alors que le nôtre a connu un rendement de 1,35 t/ha pour le traitement avec le même produit à la dose de 0,96 l/ha ; cette différence peut s'expliquer par les attaques enregistrées (11,01%) au cours de cette année. Des importants gains de production allant de 4% à 132% avaient été observés après traitements aux organochlorés (PESWANI, et KATIYAR, 1972 ; WARDELL, 1987 ; TIBEN *et al.*, 1990 ; LOGAN *et al.*, 1992). Le même auteur a noté une augmentation du rendement des cultures de canne à sucre au Brésil après l'utilisation de traitements insecticides. MILL (1992) a fait le même constat que SUDHAKAR et VEERESH (1985) en Inde. Le Procibam[®] s'est aussi montré efficace contre les termites sur la culture d'hévées (TAHIRI, *comm pers*) mais un second traitement s'impose au bout de 6 mois pour éviter une ré-infestation importante.

En ce qui concerne les pertes de rendement, elles sont assez importantes sur les parcelles non traitées et sur les parcelles paillées. Ces pertes varient entre 2 et 13,5 % au bout de 3 ans ; avec une chute, lors de la deuxième campagne (3,83% et 6,16%). Les pertes enregistrées dans cette présente étude sont souvent très proches, ou inférieures aux données de la littérature. Les travaux de WOOD *et al.*, (1980) au Nigeria donnent 3,9% à 9,5% de pertes dues essentiellement au seul termite *Microtermes* ; COWIE et WOOD (1989) en Ethiopie, signalent 8% de pertes dans la culture de maïs, dues aux termites *Ancistrotermes*, *Microtermes* et occasionnellement *Macrotermes*. NKUNIKA (1994), en Zambie, enregistre 19 % de pertes de la culture de maïs dues aux *Macrotermes falciger*, *Ancistrotermes latinotus* et *Pseudacanthotermes spiniger*. Des attaques par *Microtermes subhyalinus* sont signalées au niveau des racines de canne à sucre en Centrafrique, entraînant 5 à 10% de pertes annuelles (MORA *et al.*, 1996).

Des pertes plus importantes de rendements des cultures imputables aux termites sont connues. En effet, 65% de pertes dues aux termites ont été notés pour la culture de riz au Brésil (DARIO et VILLELA FILHO, 1998). Au Nigeria, de 40,9 à 87,9% de pertes

d'arachides causées par *Microtermes lepidus* ont été signalées (COWIE et WOOD, 1989). Au Soudan, les pertes de rendements au niveau du coton peuvent atteindre 25% (HARRIS, 1969). Sur la culture de canne à sucre, les pertes de rendement, essentiellement dues à *Heterotermes tenuis*, *Procornitermes sp*, *Syntermes molestus* et *Nasutitermes costalis*, peuvent atteindre 10 à 20 tonnes/ha/an au Brésil (NOVARETTI *et al.*, 1995).

Une augmentation au fil des années du rapport des biomasses épigées sur les biomasses hypogées est très prononcée au niveau de la culture de riz par rapport au maïs et sur les traitements au Fipronil comparativement au témoin et au paillage. Les traitements avec le Fipronil, et en particulier, avec les Régents[®] C et B montrent une petite hausse relative de la biomasse des parties aériennes (tiges) consacrées à la production des graines aux dépens des racines. Ces résultats peuvent s'expliquer par les attaques importantes des termites survenues au niveau des racines des parcelles non perturbées (témoin) et fortement perturbées (paillage) par les apports d'une autre source de nourriture. Ces données traduisent une mauvaise alimentation hydro-minérale du plant au niveau de sa partie racinaire qui conduit à un stress hydrique des plantes qui sont sujettes aux attaques des termites, du fait que leur résistance vis-à-vis des termites est amoindrie et n'est plus entretenue. Le rendement des parties hypogées est alors très affecté.

Nos résultats concordent avec ceux de nombreuses études antérieures qui ont prouvé que les plantes malades ou stressées étaient les plus vulnérables aux attaques répétées des termites (SANDS, 1973, 1977 ; COWIE *et al.*, 1989 ; RENOUX *et al.*, 1991). Les plus dangereux termites prédateurs construisent des nids hypogés et sont très mobiles, ce qui facilite les attaques des parties hypogées. La première année d'étude présente le rapport le plus bas alors que la pluviométrie de cette année-là est la plus importante. Cela résulterait de la bonne alimentation hydro-minérale des parties racinaires qui se répercute sur la production en grains qui est la meilleure constatée au cours des trois années, tant au niveau du riz que du maïs. Le traitement au Régent A présente le rapport le moins important de l'ensemble des traitements alors que cet insecticide est utilisé pour le traitement des semences, cela semble normal étant donné que ce produit paraît être un répulsif pour les ravageurs hypogés, ce qui va permettre aux racines de ce traitement de se développer normalement sans être perturbées par d'éventuels ravageurs de la faune du sol. Ces mêmes résultats ont été observés dans les travaux préliminaires de LEPAGE (1999).

Le riz semble toutefois réagir plus nettement que le maïs au traitement par le Fipronil ; cela peut s'expliquer par le fait que le riz, qui nécessite plus d'eau que le maïs pour son

développement réussit à supporter la sécheresse lorsqu'elle a lieu assez tôt ; les produits au Fipronil tout en limitant les attaques des termites arrivent à l'aider à combler ces déficits hydriques. Le rapport des biomasses épigées sur les biomasses hypogées dans les cultures de maïs peut être modifié par certains facteurs biotiques et abiotiques du milieu, parmi lesquels les éléments minéraux du sol tels que l'azote (N) le potassium (K), les ions phosphates (SADANA et CLAASSEN, 1999 ; GAUME *et al.*, 2001 ; MA *et al.*, 2003). Ces ions stimuleraient la croissance des racines, ce qui aurait pour conséquence l'accroissement de la densité et par conséquent du rendement des cultures de maïs et de blé. La température a aussi des effets importants sur ce rapport des biomasses (RICHNER *et al.*, 1996 ; ANONYME, 2002). Les travaux de PRICE *et al.* (2002) et de ROS *et al.* (2003), ont montré que lorsque les plantes sont stressées, par le manque d'eau, le poids des tiges diminue du fait de l'aspect chétif des tiges, ce qui a pour conséquence des chutes de rendement des cultures, allant de 10,1 à 24,2%. Selon ANONYME (2002), le succès de la mise en place de l'appareil végétatif conditionne largement le rendement final, c'est ce qui est observé dans notre étude. En effet, les données préliminaires (LEPAGE, 1999) montrent que les plants des parcelles traitées au Fipronil ont une levée plus rapide des plantules, ce qui a pour conséquence de bons rendements en fin de culture.

En ce qui concerne le rendement du maïs, la **figure 35** (ANONYME, 2002) détaille les composantes de ce rendement. Le rendement final résulte de la multiplication du nombre de grains par le poids moyen du grain. Le poids de grains par unité de surface est lui-même fonction de la densité, de la prolificité (nombre moyen d'épis /plante) et du nombre grains réels/épi.

La production par pied de maïs a chuté au cours des années. Ces résultats s'expliquent par le fait que la répartition des pluies a été perturbée au cours de la deuxième et de la troisième année. La seconde raison serait les attaques des termites. En effet, en analysant les pertes de pieds au cours du temps et en les superposant à la répartition des pluies durant les différentes phases phénologiques dans le temps, on se rend compte que la période de maturation est largement perturbée par le manque d'eau ; or l'eau est primordiale pour assurer un bon remplissage des grains, ce qui n'a pas été le cas en 1999 et 2000. Les productions de grains confirment nos résultats.

Les rapports de la production des grains sur la biomasse viennent, en effet, confirmer nos résultats car pour tous les traitements et durant les trois années d'expérimentation, la

première année qui a été la plus arrosée, a le rapport plus important. Ces résultats traduisent que le Régent® A, bien que n'étant pas efficace sur les populations de termites, permet d'obtenir de bonnes productions dans le temps au niveau des deux cultures. Ce traitement semble stimuler la production et la qualité des grains (ANONYME, 1995 ; 1997).

Les traitements insecticides, en général, et les traitements au Fipronil, en particulier, semblent être influencés par les conditions du milieu ; car en dernière année, la campagne la plus difficile, tous les rapports de production de grains sur la biomasse épiquée et la production de grains par pieds de maïs sont très bas.

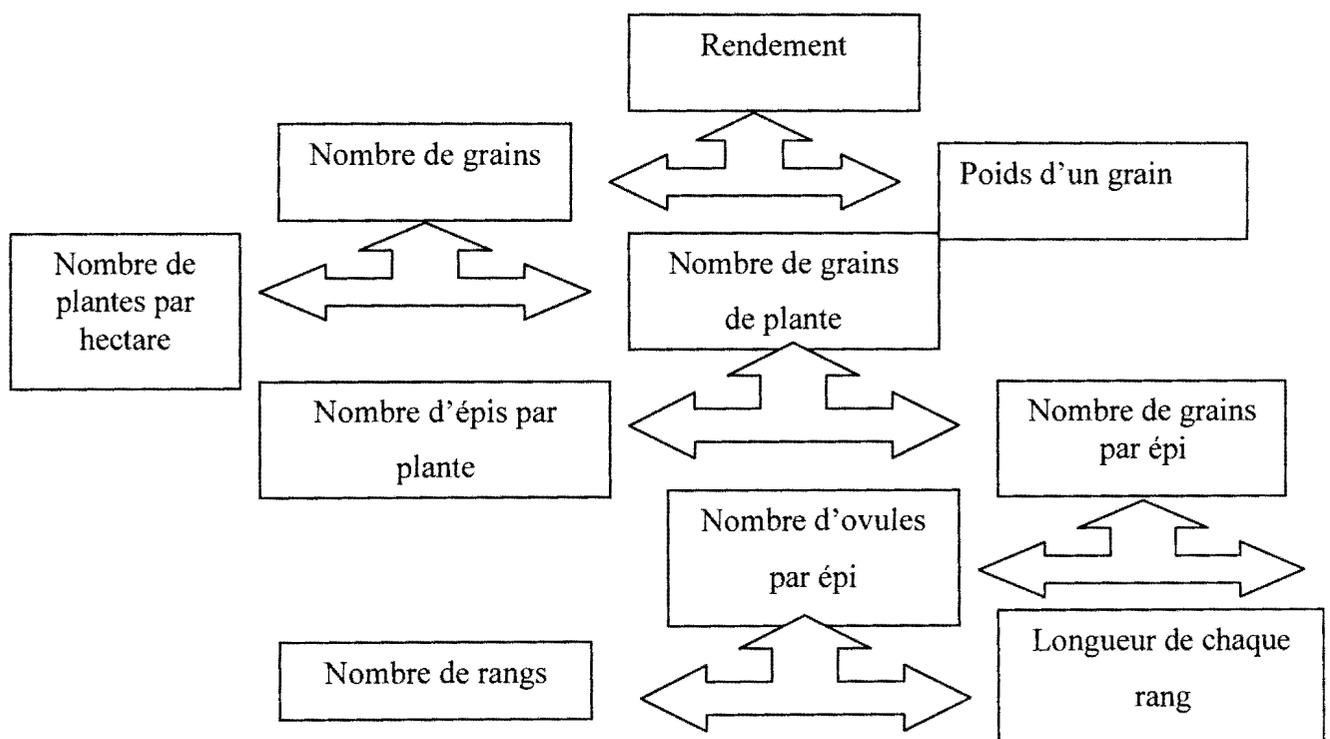
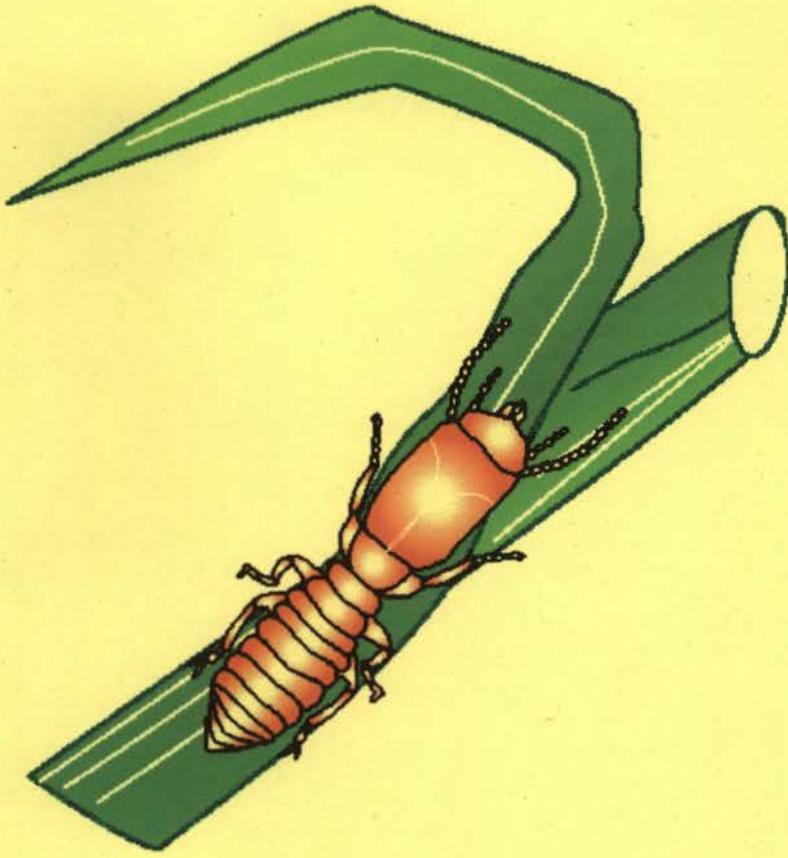


Figure 35 : Les mécanismes de régulation du rendement du maïs
(ANONYME, 2002)



Conclusion

Ce travail s'inscrit dans une problématique plus générale portant sur les voies et moyens de la mise au point d'une politique de lutte intégrée.

L'objectif principal était d'évaluer l'efficacité en plein champ et au laboratoire de substances insecticides à base de Fipronil, comparativement à un autre insecticide, le Procibam[®], dans le but de gérer la notion d'utilisation judicieuse des pesticides (seuil d'action nocive dans les décisions de traitements) et de suivre parallèlement les dommages (attaques) causés par les termites et leur impact sur la production. Les objectifs secondaires étaient la planification et la gestion des écosystèmes à travers l'utilisation de paillage afin d'éviter que les termites deviennent des déprédateurs très virulents.

Le suivi des populations de termites dans le temps et dans différents milieux permet de mettre en évidence les relations entre les attaques de termites et la productivité de ces différents milieux, selon le renouvellement ou non du traitement et les effets de rémanence qui pourraient être constatés. A partir des résultats obtenus au champ (parcelle expérimentale) et au laboratoire et des hypothèses de départ, nous pourrions tirer les conclusions partielles suivantes.

- 1/ Les termites champignonnistes dominent les peuplements de termites dans cette zone sud-soudanienne. Ils sont les principaux colonisateurs des sols tropicaux et les principaux termites présents, tant dans la savane naturelle qu'au niveau des cultures.

- 2/ Ces termites champignonnistes en général et les espèces du genre *Microtermes*, en particulier, sont les principaux ravageurs de cultures vivrières. Le système très profond et le caractère opportuniste de leur nid leur permettent, dans une certaine mesure, d'échapper aux traitements. Leurs réserves de nourriture, sous forme de meules à champignons, leur permettent de passer la mauvaise saison et de subsister dans les champs après la récolte.

- 3/ Les traitements insecticides à base de Fipronil, surtout les traitements au Régent[®] C et au Régent[®] B perturbent et diminuent significativement les populations de termites, en général, et celles des termites déprédateurs, en particulier, sur une longue période, à cause d'une rémanence élevée. Mais ces produits ont également une action

néfaste sur les termites humivores, qui sont très utiles pour le fonctionnement des sols et le recyclage de la matière organique. Les interactions biologiques dans le système sol (bactéries, champignons et les autres éléments de la faune du sol) se trouvent certainement profondément modifiées, ce qui pourrait avoir des conséquences importantes sur la productivité des cultures.

- 4/ La formulation à base de Chlorpyrifos-éthyl (Procibam[®]) malgré sa dose de matière active importante, s'est montrée très peu efficace dans le temps et nécessite des applications régulières au cours d'une même campagne, pour palier le risque de connaître une augmentation importante de l'envahissement des milieux par les termites déprédateurs.

- 5/ Le mode d'application du Fipronil semble influencer sur l'efficacité de ce produit. En effet, le Régent[®] C, qui se présente sous forme de granulés et qui est utilisé pour le traitement des plantes en croissance, donne le meilleur résultat. Le Régent[®] B, qui se présente sous forme liquide et qui est utilisé pour le traitement du sol est aussi performant que le Régent[®] C. Le Régent[®] A donne satisfaction à un degré moindre, comparativement aux deux premiers produits cités, alors qu'il est utilisé pour le traitement de semences ; ce qui signifie qu'il devait être le plus performant compte tenu du fait que son action est sélective et ne concerne que les ravageurs s'attaquant à la plante. La faune du sol, en général, et les termites humivores, en particulier, qui sont utiles pour la fertilisation des sols, ne devaient pas subir l'action de cet insecticide, mais tel n'est pas le cas dans notre étude.

- 6/ Le paillage, tout en procurant une nouvelle source de nourriture aux termites (effet bénéfique) peut avoir des conséquences néfastes par la suite, lorsque cette source de nourriture est épuisée. Les cultures sont alors soumises à des attaques des termites qui leur sont préjudiciables. Les pertes enregistrées peuvent atteindre le quart, voire la moitié de la récolte.

PERSPECTIVES

Ce travail a concerné uniquement le test de substances insecticides et d'une méthode d'aménagement, le paillage, sur les populations de termites et leurs attaques sur les cultures. Mais une lutte intégrée contre ces déprédateurs demanderait de mettre en place un programme coordonné de lutte faisant appel à une approche expérimentale tout en tenant compte de toutes les structures édifiées par les termites (les meules, les galeries, les nids). Il faudrait également tenir compte de la nature du sol en place.

L'approche expérimentale, effectuée en plein champ et au laboratoire, doit avoir pour but de déterminer comment se fait la transmission de la substance insecticide entre les termites, le mode d'action de ces substances (contact direct ou contamination par l'air), l'importance de la consommation d'insecticide dans la mortalité des colonies d'ouvriers et enfin les différentes réactions d'évitement que les termites peuvent mettre en place vis-à-vis des insecticides.

Bien que l'usage des pesticides ait, au cours de ces dernières années, facilité la production des aliments et la protection de la santé publique, ils ont aussi causé des tords considérables à la faune, à la santé des êtres humains et à l'environnement. Parmi les effets néfastes des pesticides toxiques, on peut citer : la contamination à long terme et souvent grave du sol et des nappes phréatiques ; la réduction ou la disparition des populations d'insectes, des espèces fauniques et de la microflore du sol, qui fournissent une protection naturelle contre les populations de parasites. L'accroissement de la résistance chez les parasites ciblés, se traduit par l'application croissante des doses de pesticides de moins en moins efficaces (cas du Procibam®).

Les recherches doivent être poursuivies afin de trouver d'autres méthodes de lutte, parallèlement ou en complément à la lutte chimique, qui pourront dans une certaine mesure être associées pour aboutir un système de lutte intégrée.

Ainsi, de nombreux axes de recherches sont encore à développer :

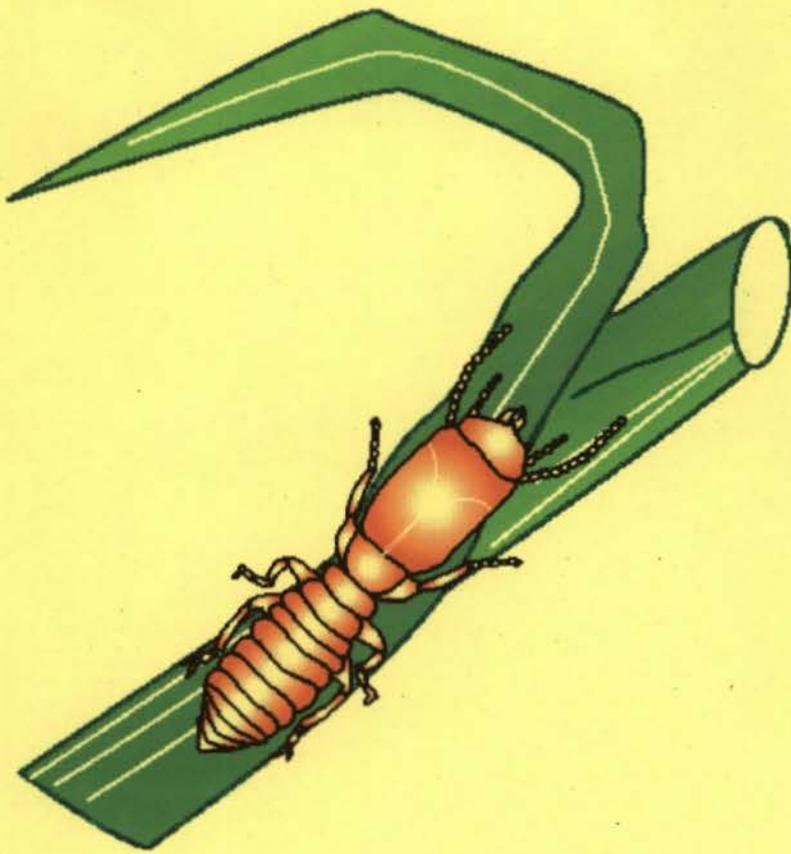
- une connaissance accrue de la biologie des termites ravageurs des cultures ;
- des essais de bio-pesticides dans la lutte contre les termites ;

- des expérimentations plus poussées pour connaître les mécanismes d'action des substances insecticides et des bio-pesticides sur les populations de termites ;
- la mise en place de techniques culturales (cultures à cycle court, rotation de cultures ; le recours à des variétés résistant aux parasites, à des calendriers permettant d'éviter l'infestation, la culture intercalaire et les pratiques de gestion de l'eau) associées aux substances insecticides à très faibles doses ;
- l'effet des insecticides utilisés sur les populations de termites utiles.

RECOMMANDATIONS

- Les états africains devraient prendre toutes les mesures possibles pour assurer le retrait graduel des pesticides organiques polluants et la transition vers la lutte intégrée ainsi que vers d'autres méthodes écologiques plus sûres et moins polluantes ;
- les ressources nécessaires devraient être allouées afin de mettre en œuvre et faire respecter les interdictions concernant les insecticides toxiques ;
- les gouvernements, les organismes subventionneurs, et autres institutions devraient continuer à réviser leurs orientations et leurs programmes actuels en matière d'agriculture, dans le but d'encourager l'adoption rapide des méthodes de lutte intégrée qui reposeraient sur le savoir-faire des agriculteurs ;
- les gouvernements et les institutions concernées devraient soutenir la recherche appliquée et les démonstrations sur le terrain, et fournir de l'aide aux agriculteurs, pour que soient mis au point des modèles pratiques, efficaces et économiques de production agricole biologique et que ceux-ci soient diffusés ;
- la lutte contre les termites nuisibles devrait être associée à une recherche identifiant les termites utiles et les possibilités de gestion durable de ces derniers.

C'est en devenant des gestionnaires bien informés en matière d'écologie des parasites et des déprédateurs, que les agriculteurs seront en mesure de passer d'une pratique dépendant des produits chimiques, coûteux et souvent nocifs pour l'homme, à un savoir-faire fondé sur la lutte intégrée, le respect de l'environnement et une gestion durable des ressources naturelles.



Références bibliographiques

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABE T. ET WATANABE H. 1983.** Soil macrofauna in subtropical rainforest and its adjacent cassava in Okinawa with special reference to the activity of termites. *Physiology. Ecology, Japan*, 20 : 101-114.
- AKPESSE A.A. 1999.** Etude et quantification du rôle des termites nuisibles aux cultures vivrières en zone de savane Lamto et Booro-Borotou (Côte d'Ivoire). DEA Entomologie, Université de Cocody, 78 p.
- AKPESSE A.A., KOUASSI P., YAPI A., LEPAGE M., TANO Y. ET TAHIRI A. 2001.** Influence des traitements insecticides sur les populations de termites nuisibles aux cultures de riz et de maïs en milieu de savane (Lamto et Booro-Borotou, Côte-d'Ivoire). *Agronomie Africaine*, 13 (2): 45-94.
- ANDERSON J.M. AND INGRAM J. 1993.** *Tropical soil biology and fertility programme : methods handbook*. C.A.B.,Oxford, 171p.
- ANGLADETTE A. 1966.** *Le riz. Techniques agricoles et productions tropicales*. Edition Maisonneuve et Larose, Paris, 220-266.
- ANONYME 1992.** *Projet de relance de la production rizicole. Constitution d'une S.E.M. Dossier de factibilité*. DCGTX Abidjan, 350 p.
- ANONYME 1993.** *Le riz et le maïs. In: Mémento de l'agronome*. Collection techniques rurales en Afrique. 4^{ème} édition, pp 957-975.
- ANONYME 1995.** *Fipronil*. RHONE-POULENC. 20 p.
- ANONYME 1996.** *New pesticide fact sheet*. US EPA, Office of prevention, pesticides and toxic substances, Washington DC, 8 p.
- ANONYME 1997.** *Livret technique du Fipronil*. RHONE-POULENC, 22 p.
- ANONYME 2002.** *Le riz et le maïs. In: Mémento de l'agronome*. Collection techniques rurales en Afrique. 6^{ème} édition, pp 765-785.

- APPERT J. ET DEUSE J. 1982.** *Insectes nuisibles des cultures vivrières et maraîchères.*
Le technicien d'agriculture tropicale. Edition Maisonneuve et Larose, Paris, 267 p.
- ATHIAS F., JOSENS G. et LAVELLE P. 1974.** Le peuplement animal des sols de la savane de Lamto (Côte-d'Ivoire). Organismes endogés. *N° spécial, Bulletin de liaison des chercheurs de Lamto*, 5: 45-54.
- BADAWI A., FARAGALLA A.A. AND DABOUR A. 1984.** The distribution of foraging territories and densities of two species of subterranean termites in al Kharj Oasis, Central Region of Saudi Arabia. *Zeitschrift für angewandte Entomologie*, 97: 387-393.
- BARBAULT R. 1995.** Ecologie des peuplements, structure et dynamique de la biodiversité. Masson, Paris, 273 p.
- BAYLISS J. AND FIELDING A. 2002.** Termitophagous foraging by *Pachycondyla analis* (Formicidae, Ponerinae) in tanzanian coastal dry forest. *Sociobiology*, 39 (1): 103-122.
- BETBEDER M. 1989.** Insectes nuisibles aux cultures vivrières d'Afrique, de Madagascar et de Mascareignes. CIRAT, Paris, 119 p.
- BIEVER R.C., HOBERG-JAMES R., JACOBSON B., DIONNE E., SULAIMAN M. AND MCCAHERN P. 2003.** Rice seed treatment toxicity to crayfish (*Procambarus clarkii*) in experimental rice paddies. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 22 (1): 167-174.
- BIGGER M. 1966.** The biology and control of termites damaging field crops in Tanganyika. *Bulletin of Entomology Research*, 56: 417-444.
- BIGNELL D.E. AND EGGLETON P. 2000.** Termites in ecosystems. In : *Termites: Evolution, Sociality, Symbioses, Ecology*. (Abe T, Bignell D.E. et Higashi M. (eds). Kluwert Academic Publishers, Amsterdam. pp 363-387.
- BLACK H.I.J. AND OKWAKOL M.N.J. 1997.** Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function in the tropics: the role of termites. *Applied Soil Ecology*, 6

(1): 37-53.

- BLASKE V.U. AND HERTEL H. 2001.** Repellent and toxic effects of plants extracts on subterranean termites (Isoptera: Rhinotermitidae. *Journal of Economic Entomology*, 94 (5): 1200-1208.
- BOBE A. 1998.** Devenir et comportement de l'insecticide fipronil dans le sol. Etude en milieu tropical (Niger) dans les conditions de lutte anti-acridienne. Thèse d'Université, Université Montpellier I, 146 p.
- BOGA J.P. 1999.** Impact des termites sur l'amélioration de la fertilité des sols de savane Lamto et Booro-Borotou en Côte d'Ivoire. DEA d'entomologie, Université de Cocody 75 p.
- BOUILLON A. ET MATHOT G. 1965.** Quel est ce termite Africain ? *Zoology n°1 suppl.* pp 1-23.
- BRAUMAN A. 2000.** Effect of gut transit and mound deposit on soil organic matter transformations in the soil feeding termite: a review. *European Journal of Soil Biology*, 36: 117-125.
- BREZNAK J.A. 2000.** Ecology of prokaryotic Microbes in the guts of wood-and litter feeding Termites. *In: Termites: Evolution, Sociality, Symbioses, Ecology.* (Abe T, Bignell D.E. et Higashi M. (eds). Kluwert Academic Publishers, Amsterdam, pp 235-242.
- BREZNAK J.A. AND BRUNE A. 1994.** Role of microorganisms in the digestion of lignocellulose by termites *Annual Review of Entomology*, 39 : 453-487.
- BRENIERE J. 1983.** *Les ravageurs du riz en Afrique de l'Ouest.* CIRAD-IRAT. 87 p.
- CAMARA M., DIOMANDE M., AFFOU Y. ET GOUE B. 1990.** *Stabilisation du système de culture à base de riz pluvial sur les jachères du centre-ouest Ivoirien: parcelle expérimentale de Tchédjélet. Résultats de la première année d'expérimentation (1989).* Projet OFRIC, 14 p.
- CERIGHELLI R. 1955.** *Cultures tropicales: Plantes vivrières.* Tome I. Nouvelles

encyclopédie agricole, Ed. J-B. BAILLIÈRE ET FILS, Paris, pp. 1-64.

- CHEVALLIER P. 1990.** Introduction au programme HYPERBAV. In: *Structure et fonctionnement hydro-pédologique d'un petit bassin versant de savane humide*. Etudes et thèses, Editions de l'ORSTOM, pp. 11-14.
- CHILIMA C.Z. 1989.** Termite control in young *Eucalyptus* plantations in Malawi using controlled release insecticides. Forestry Research Institute of Malawi. *Termite control*, (2): 237-247.
- CISSE M. 1991.** Contribution à l'étude de l'entomofaune du maïs (*Zea mays*) et lutte contre les termites. DEA, Univ. Abidjan, 67 p.
- COLLINS N.M. 1984.** Termites damage and crop loss studies in Nigeria. Assessment of damage to upland sugarcane. *Tropical Pest Management*, 30 (1): 26-28.
- CORTET J., GILLON D., JOFFRE R., OURCIVAL J.M. AND POINSOT-BALAGUER N. 2002.** Effects of pesticides on organic matter recycling and microarthropods in maize field : use an discussion of litterbag methodology. *European Journal Soil Biology*, 38 (3-4): 261-265.
- COWIE R.H. AND WOOD T.G. 1989.** Damage to crops, forestry and rangeland by fungus-growing termites (Termitidae: Macrotermitinae) in Ethiopia. *Sociobiology*, 15 (2): 139-153.
- COWIE R.H., LOGAN J.W.M AND WOOD T.G. 1989.** Termite (Isoptera) damage and control in tropical forestry with special reference to Africa and Indo-Malaysia : a review. *Bulletin of Entomology Research*, 79: 173-184.
- CZEPAK C., FERREIRA E. Y NOGUEIRA S.B. 1993.** Identificação e quantificação de cupins rizofagos na cultura do arroz de sequeiro. *Pesquisas Agropecuarias Brasileiras*, 28 (8): 871-875.
- DARIO G.J.A. Y VILLELA FILHO R. da S. 1998.** Imidacloprid- Novo insecticida para o controle do cupium (*Syntermes molestus*) na cultura do arroz (*Oryza sativa* L.). In: *XVII Congresso Brasileiro de Entomologia Resumos*. 308 p.

- DELGRADE S. 1998.** Les populations de termites présentes à la ferme expérimentale de Mani (Tchad). Mise au point d'une lutte spécifique. DEA d'écologie, Université Paris XII Val-de-Marne, 86 p.
- DELGRADE S. 2002.** Utilisations de nouvelles molécules dans la lutte contre plusieurs espèces de termites d'importance économique. Thèse d'Université, Paris XII Val-de-Marne, 185 p.
- DELGRADE S. AND ROULAND-LEFEVRE C. 2001.** Effects of fipronil on *Odontotermes nilensis* Emerson (Termitidae-Macrotermitinae), pests of sugarcane in Chad. *Sociobiology*, 37 (3B): 539-550.
- DELGRADE S. AND ROULAND-LEFEVRE, C. 2002.** Evaluation of the effects of thiamethoxam on three species of African Termitinae (Isoptera : Termitidae) crop pests. *Journal of Economic Entomology*, 95 (3): 531-536.
- De SOUZA O., MIRAMONTES O., SANTOS C.A. AND BERNARDO D.L. 2001.** Social facilitation affecting tolerance to poisoning in termites (Insecta, Isoptera). *Insectes Sociaux*, 48 (1): 21-24.
- EL BAKRI A., ELDEIN N., KAMBAL M.A., THOMAS R.J. AND WOOD T.G. 1989.** Effect of fungicide impregnated food on the variability of fungus combs and colonies of *Microtermes sp. albopartitus* (Isoptera : Macrotermitinae). *Sociobiology*, 15 (2): 175-180.
- ESCOUBAS P., LABUNMI L. AND MIZUTANI J. 1995.** Termite antifeedant activity in *Aframomum melegueta*. *Phytochemistry*, 40 (4): 1097-1099.
- EGGLETON P. 2001.** Termites and trees: a review of recent advances in termites phylogenetics. *Insectes Sociaux*, 48 (2): 187-193.
- EGGLETON P., BIGNELL D.E., SANDS W.A., WAITE B., WOOD T.G. AND LAWTON J.H. 1995.** The species richness of termites (Isoptera) under differing levels of forest disturbance in the Mbalmayo Forest Reserve, Southern Cameroon. *Journal of tropical Ecology*, 11: 85-98.

FERNANDES P. M., SOARES R.A.B., PIMENTEL A.L. Y CZEPAK C. 1997.

Mecanismo de ação de fipronil em colônias do cupium de monticulo, *Cornitermes synderi* em pastagens. In: *Anais do XVIº congresso Brasileiro de Entomologia Resumos*. 174 p.

FOUA-BI K. 1989. L'entomofaune des rizières de la région de Taï (sud-ouest forestier de la Côte-d'Ivoire). In: *Le rôle de la biologie dans la solution de la crise alimentaire en Afrique*. II. Actes. Symp. intern. Yamoussoukro, Côte-d'Ivoire. ABN-UNESCO-BREDA, Dakar, pp 257-267.

FOUA-BI K., TANO Y. ET LEPAGE M. 1999. *Rôle des termites sur les productions vivrières de savane : intervention sur la fertilité des sols et impact sur les cultures*. Rapport Scientifique, (Projet Campus n° 94 342 124- Côte d'Ivoire), 35 p.

FORSCHLER B.T. AND TOWNSEND M.L. 1996. Mortality of eastern termites (Isoptera: Rhinotermitidae) exposed to four soils treated with termiticides. *Journal of Economic Entomology*, 89: 678-681.

FRITSCH E. ET PLANCHON O. 1987. *Bassin versant de Booro-Borotou. Carte des sols à 1/2500*. ORSTOM, Adiopodoumé.

GAHLHOFF Jr J.E. AND KOEHLER P.G. 2001. Penetration of the eastern subterranean termite into soil treated at various thickness and concentrations of Dursban TC and premise 75. *Journal of Economic Entomology*, 94 (2): 486-491.

GAUME A., MACHLER F., DE LEON C., NARRO L. AND FROSSARD E. 2001. Low-P tolerance by maize (*Zea mays L.*) genotypes: significance of root growth, and organic acid and acid phosphatase root exudation. *Plant and Soil*, 228 (2): 253-264.

GRACE J.K. 1997. Biological control strategies for suppression of termites. *Journal of Agriculture and Entomology*, 14 (3): 281-289.

GRACE J.K. 2003. Approach to biological control of termites. *Sociobiology*, 41 (1 A): 115-121.

- GRACE J. K., YATES J.R., TOME C.H.M. AND OSHIRO R. J. 1996.** Termites - resistant construction : use of stainless steel mesh to exclude *Coptotermes formosanus* (Isoptera : Rhinotermitidae). *Sociobiology*, 28: 365-372.
- GRASSE P. P. 1982.** *Termitologia. Tome II : Anatomie-Physiologie-Reproduction des Termites*, Masson, Paris, 676 pp.
- GRASSE P. P. 1986.** *Termitologia. Tome III: Comportement, socialité, écologie, évolution, systématique*. Masson, Paris, 715 pp.
- GUILLAUMET J.L. ET ADJANOHOUN E. 1971.** *La végétation de la Côte-d'Ivoire*. In : *Le milieu naturel de la Côte-d'Ivoire*. Mémoire ORSTOM, 50: 157-263.
- HAN S.H. ET NDIAYE A.B. 1998.** l'attaque des cultures maraîchères par les termites (Isoptera) dans la région de Dakar (Sénégal). *Insectes Sociaux*, 11 (3): 37-43.
- HAN S.H., TOKRO G.P., TANO Y. ET LEPAGE M. 1998.** Dégâts des termites dans les jeunes plantations de palmiers à huile en Côte-d'Ivoire : évaluations et méthodes de lutte. *Plantations, Recherches, Développement*, 5 (2): 119-123.
- HARRIS W.V. 1969.** *Termites as pests of crops and trees*. Commonwealth Institute of Entomology, London, 41 p.
- HIGASHI M., ABE T. AND BURNS T.P. 1992.** Carbon-nitrogen balance and termite ecology. *Proceedings of the Royal Society of London, Biological Sciences*, 249: 303-308.
- HILLOCKS R.J., LOGAN J.W.M., RICHES C.R., RUSSELL-SMITH A. AND L.J. SHAXSON 1996 a.** Soils pests in traditional farming systems in Sub-Saharan Africa- a review . Part 1. Problems. *Journal of Pest Managment*, 42 (4): 241-251.
- HILLOCKS R.J., LOGAN J.W.M., RICHES C.R., RUSSELL-SMITH A. AND L.J. SHAXSON 1996 b.** Soils pests in traditional farming systems in Sub-Saharan Africa- a review . Part 2. Management strategies. *Journal of Pest Managment*, 42 (4): 253-265.

- IBRAHIM S.A., HENDERSON G. AND FEI H.X. 2003.** Toxicity, repellency, and horizontal transmission on fipronil in the formosan subterranean termite (Isoptera : Rhinotermitidae). *Journal of Economic Entomology*, 96 (2): 461-467.
- IROKO F.A. 1996.** Les dégâts des termites. In : *L'homme et les termitières en Afrique*. édition Karthala. pp 157-169.
- JACQUOT M. ET COURTOIS B. 1983.** *Le riz pluvial. Le technicien d'agriculture tropicale*. Editions Maisonneuve et Larose et A.C.C.T. Paris, 134 p.
- JOHNSON R.A., LAMB R.W. AND WOOD T. G. 1981.** Termite damage and crops loss studies in Nigeria. A survey of damage to groundnuts. *Tropical Pest Management*, 27 (3): 325-342.
- JONES S.C., GRACE K. AND TAMASHIRO M. 1996.** Virulence of seven isolates of *Beauveria bassina* and *Metarhizium anisopliae* to *Coptotermes formosanus* (Isoptera: Rhinotermitidae). *Environmental Entomology*, 25 (2): 906- 914.
- JOSENS G. 1972.** *Etudes biologiques et écologiques des termites (Isoptera) de la savane de Lamto-Pakobo (Côte-d'Ivoire)*. Thèse d'Etat, Bruxelles, 262p + illustrations.
- JOSENS G. 1974.** Les termites de la savane de Lamto . In : *Les organismes endogés. Bulletin de liaison des chercheurs de Lamto*, N° spécial, 5: 45-54.
- JOSENS G. 1983.** The soil fauna in tropical savanna . III. The termites. In : *Tropical savannas*, Bourlière, F.(Ed.) Amsterdam, Elsevier, pp 505-524.
- KARD B.M. 1996.** Gulfport update termiticide fields tests. *Pest Control*, 64 : 45-92.
- KOOYMAN C. AND ONCK R.F.M. 1987.-** Distribution of termite (Isoptera) species in Southwestern Kenya in relation to land use and morphology of their galleries. *Biology and Fertility of Soil*, 3: 69-73.
- KOUASSI K. P. 1987.** Etude comparative de la macrofaune endogée d'écosystèmes naturels et transformés de Côte-d'Ivoire. Thèse 3^{ème} cycle, Univ. Abidjan, 129 p.

- KOUASSI K. P. 1989-1990.** Abondance et répartition des termites (Isoptera) dans les savanes de la région de Lamto (Côte-d'Ivoire). Ann.Univ. Abidjan, série E (Ecologie), 21: 109-120.
- KOUASSI K. P. 1991.** Etude de la macrofaune endogée des savanes de Côte-d'Ivoire : Lamto, Booro-Borotou, Ferkéssédougou. Projet PNUD/UNESCO N° IVC/87/007. Productivité des savanes de Côte-d'Ivoire. Fast. 10p.
- KOUASSI K. P. 1999.** Structure et dynamique des groupes trophiques de la macrofaune du sol d'écosystèmes naturels et transformés de Côte d'Ivoire. Thèse d'Etat ès Sciences, Université de Cocody, Abidjan, 201 p.
- KOUASSI K.P. ET YAPI A. 2001.** Structure et abondance des groupes trophiques de Macroinvertébrés du sol dans quelques écosystèmes de savane de Côte d'Ivoire. *Bioterre*, 1: 84-93.
- KOUDOU G.B. 2000.** Les termites des plantations d'hévéas (*Hevea brasiliensis*) en basse Côte-d'Ivoire : évaluation des dégâts en fonction des antécédents cultureux. DEA d'Entomologie, Université de Cocody, 79 p.
- KUMAR C.T.A. AND G.K. VEERESH. 1990.** Assessment of losses to wheat by *Microtermes obesi* Holmgren and its management. In : *Social Insects* : an Indian perspective: 203-207.
- KUNYANJUI T., GITU P.M. AND KAMAU G.N. 2000.** Potential antitermite compounds from *Juniperus procera* extracts. *Chemosphere*, 41: 1071-1074.
- LAJIDE L., ESCOUBAS P. AND MIZUTANI J. 1995 a.** Termite antifeedant activity in *Deutarium microcarpum*. *Phytochemistry*, 40 (4): 1101-1104.
- LAJIDE L., ESCOUBAS P. AND MIZUTANI J. 1995 b.** Termite antifeedant activity in *Xylopia aethiopica*. *Phytochemistry*, 40 (4): 1105-1112.
- LAVELLE P. 1978.** Les vers de terre de la savane de Lamto (Côte-d'Ivoire) : peuplement, populations et fonctions dans l'écosystème. Publ. labo. zool.,E.N.S.Paris, 301 p.

- LAVELLE P. 1997.** Faunal activities and soil process : adaptative strategies that determine ecosystem function. *Advances in Ecological Research*, 27: 94-132.
- LEPAGE M. 1981.** L'impact des populations récoltantes de *Macrotermes michaelseni* (Sjöstedt) (Isoptera, Macrotermitinae) dans un écosystème semi-aride (Kajiado-Kenya) II. nourriture récoltée, comparaison avec les grands herbivores. *Insectes Sociaux* 28 (4): 309-319.
- LEPAGE M. 1999.** Essais comparatifs de traitements insecticides sur les parcelles de maïs et de riz : Résultats de traitements au Fipronil. (Convention entre l'Ecole Normale Supérieure et Rhône-Poulenc secteur Agro). Rapport Scientifique, 31 p.
- LEVIEUX J. 1971.** *Données écologiques et biologiques sur le peuplement en fourmis terrioles d'une savane préforestière de Côte-d'Ivoire.* Thèse de doctorat d'Etat ès sciences, Université Paris, 283 p.
- LIEGEOIS M., RAVETON M., TISSUT M. ET BARCIET F. 1997.** Biodisponibilité du fipronil au sein de la plantule de maïs. *XXVI^{ème} congrès du groupe Français des pesticides hydrosystèmes: processus de transfert des produits phytosanitaires et modélisation dans les bassins versants*, 5 p.
- LOEK A.E. Y NAKANO O. 1988.** Persistência de dois insecticidas piretroides num solo barro -areno-argiloso em condições de campo. *Pesquisas Agropecuarias Brasileiras*, 23 (7): 709-715.
- LOGAN J.W.M., COWIE R.H. AND WOOD, T.J. 1990.** Termite (Isoptera) control in agriculture band forestry non-chemical methods: a review. *Bulletin of Entomology Research*, 80: 309-330.
- LOGAN J.W.M., RAJAGOPAL D., WIGHTMAN J.A. AND PEARCE M.J. 1992.** Control of termite and other soils pests of groundnuts with special reference to controlled release formulations of non- persistent insecticides in India and Sudan. *Bulletin of Entomology Research*, 82: 57-66.
- MA B.L., DWYER L.M. AND COSTA C. 2003.** Row spacing and fertilizer nitrogen effects on plant growth and grain yield of maize. *Journal of Plant Science*, 83 (2): 241-247.

- MAIENFISCH P., HUERLIMANN H., RINDLISBACHER A., GSELL L.,
DETTWILLER H., HAETTENSCHWILLER J., SIEGER J. AND WALTI M.
2001.** The discovery of thiamethoxam : a second-generation neonicotinoid. *Pest Management Science*, 57: 165-176.
- MALAKA S.L.O. 1972.** Some measures applied in the control of termites in parts of Nigeria. *Nigerian Entomologists Magazine*, 2: 137-141.
- MAMPE C.D. 1989.** Making the right choice. *Pest control*, 56 (3): 34-36.
- MAMPOUYA D. 1997.** Les populations de termites d'une culture de canne à sucre irrigué dans un écosystème sahélien. Le Fipronil dans une lutte ciblée contre les termites. Thèse d'Université Paris XII Val-de-Marne, 186 p.
- MARICONI F.A.M., GERALDI F.I., BIONDO C.J., DONATONI J.L., CLARI A.I.,
ARASHIRO F.Y. AND RAIZER A.J. 1989.** Fentiom e clopirifos no combate ao cupium de monte *Cornitermes cumulans* (Kollar, 1932) (Isoptera, Termitidae). *An. ESALQ, Piracicaba*, 46: 295-302.
- MARCOLIN N. 2000.** *Lutte contre les termites champignonnistes ravageurs des cultures tropicales en Afrique et en Asie.* Thèse d'Université Paris XII Val-de-Marne, 132 p.
- MARIAU D., RENOUX J. ET DESMIER DE CHENON R. 1992.** *Coptotermes curvignathus*. Rhinotermitidae, principal ravageur du cocotier planté sur tourbe à Sumatra. *Oléagineux*, 47 (10): 561-568.
- MAULDIN J.K. AND BEAL R.H. 1989.** Entomogenous nematodes for control of subterranean termites, *Reticulitermes spp.* (Isoptera- Rhinotermitidae). *Journal of Economic Entomology*, 82 (6): 1638-1642.
- MAULDIN J.K., JONES S.C. AND BEAL R.H. 1987.** Viewing termiticides. *Pest Control*, 55 (10): 46-59.
- MATTHEWS G.A. 1989.** Cotton insects pests and their management. Longman, Harlow, UK. 199 pp.

- MELO FILHO R. de M. Y VEIGA A.F. de S.L. 1997.** Efeito de fipronil no controle do cupium monticulo, *Nasutitermes sp.* (Isoptera, Termitidae) em cana -de-açucar. In *do 16° congresso Brasileiro de Entomologia Resumos*. 155 p.
- MILL A.E. 1992.** Termites as agricultural pests in Amazonia, Brasil. *Outlook on Agriculture*, 21: 41-46.
- MILNER R.J. 2003.** Application of biological control agents in mounds building termites (Isoptera : Termitidae). Experiences with *Metharizium* in Australia. *Sociobiology*, 41 (2): 419-428.
- MILNER R.J. AND STAPLES J. 1996.** Biological control of Termites : Results and experiences within a CSIRO Project in Australia. *Biocontrol Science and Technology*, 6: 3-9.
- MITCHELL M.R. 1989.** Comparison of non-persistent insecticides in controlled release granules with a persistent organochlorine insecticide for the control of termites in young *Eucalyptus* plantations in Zimbabwé. *Commonwealth For Review*: 68 (4): 281-296.
- MITCHELL J.D. 2002.** Termites as pests of crops, forestry, rangeland and structures in southern Africa and their control. *Sociobiology*, 40 (1): 47-69.
- MITJA D. 1990.** *Influence de la culture itinérante sur la végétation d'une savane humide de Côte d'Ivoire*. Thèse de doctorat en biologie végétale tropicale, Université de Paris, 270 p.
- MORA P. 1992.** *Etude des dommages causés par un termite champignoniste dans les champs de canne à sucre de la SOGESCA (République Centrafricaine): Essais de lutte fongicide*. Rapport de mission 11/IV-14/VI, 33 p.
- MORA P., ROULAND C. AND RENOUX J. 1996.** Foraging, nesting and damage caused by *Microtermes subhyalinus* (Isoptera: Termitidae) in a sugarcane plantation in the Central African Republic. *Bulletin of Entomology Research*, 86: 387-395.

- MOURA E., FERNANDES P.M., CZEPAK C., DA COSTA L.S. Y PINTO R.A. 1998.**
 Eficiência do inseticida Regent 20 G (fipronil) em diferentes doses e formas de aplicação, no controle de colônias de *Syntermes wheeleri*. (Isoptera, Termitidae) em pastagens. In : *XVII congresso Brasileiro de Entomologia*, 46 p.
- MOYAL P. 1988.** *Les foreurs du maïs en zone de savanes en Côte-d'Ivoire. Données morphologiques, biologiques et écologiques. Essai de lutte et relation plantes-insectes.* Ed. ORSTOM, collection Etudes et Thèses, Paris, 317 p.
- MYLES T.G. 2002 a.** Isolation of *Metarhizium anisopliae* (Deuteromycotina : hyphomycetes) from *Reticulitermes flavipes* (Isoptera : Rhinotermitidae) with convenient methods for its culture and collection of conidia. *Sociobiology*, 40 (2): 257-264.
- MYLES T.G. 2002 b.** Laboratory studies on the transmission of *Metarhizium anisopliae* in the eastern subterranean termite, *Reticulitermes flavipes* (Isoptera : Rhinotermitidae) with a method for applying appropriate doses of conidia to trapped termites for release. *Sociobiology*, 40 (2): 265-276.
- N'DABALISHYE I. 1995.** *Agriculture vivrière ouest-Africaine à travers le cas de la Côte-d'Ivoire.* Monographie, IDESSA. pp 291-292.
- N'GIM-KENLEY K. AND CROSBY-DONALD G. 2001.** Abiotic processes influencing fipronil and desethiofipronil dissipation in California, USA, rice fields. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 20 (5): 972-977.
- N'KUNIKA P.O.Y. 1994.** Control of termites in Zambia : Practical realities. *Insects Sciences and its Application*, 15 (2): 241-245.
- NOVARETTI W.R.T., CARDERAN J.O., TOTINO L.C., NELLI E. J., STRABELLI J. Y BORTOLIN J.R. 1995.** Experimentos de controle do cupins em cana-de-açúcar. *Boletim técnico Copersucar*, 42: 12-24.
- ORTEGA A. 1988.** Insectes ravageurs du maïs : guide d'identification au champ. Mexico, D.F. CIMMYT, 106 p.

- OSBRINK W.L. A. AND LAX A.R. 2002.** Effect of tolerance to insecticides on substrate penetration by Formosan subterranean termites (Isoptera : Rhinotermitidae). *Journal of Economic Entomology*, 95 (5): 989-1000.
- OSBRINK W.L. A., LAX A.R. AND BRENNER R.J. 2001.** Insecticide susceptibility in *Coptotermes formosanus* and *Reticulitermes virginicus* (Isoptera : Rhinotermitidae). *Journal of Economic Entomology*, 94 (5): 1217-1228.
- PEPPUY A., ROBERT A., DELBECQUE J.P., LECA J.L., ROULAND C. AND BORDEREAU C. 1998.** Efficacy of hexaflumuron against the fungus-growing termite *Pseudacanthotermes spiniger* (Sjöstedt) (Isoptera, Macrotermitinae). *Pesticides Sciences*, 54: 22-26.
- PESWANI K.N. AND KATIYAR R.N. 1972.** *Termite problems in India*, Roonwal M.L. (Ed.) India CSIR, New Delhi, 81 pp.
- PHAM DINH TIEU. L. 1990.** Etude de la variation pluviométrique des stations de Bouna, Ferkessedougou, Touba, Lamto. In: *Productivité des savanes de côte d'Ivoire, bases scientifiques pour une meilleure gestion de leurs ressources*. Projet PNUD/UNESCO, N° IVC/87/007, Note technique, 24 p.
- POLLET A. 1975.** *Les ravageurs du riz en Côte-d'Ivoire. Faune rencontrée sur un riz irrigué en Côte-d'Ivoire centrale (Kotiessou) ; Critères pratiques de reconnaissance des insectes les plus dangereux*. ORSTOM, Adiopodoumé, 39 p.
- POLLET A. 1981.** *Maliarpha separatella* Ragenot (Pyralidae, Phycitinae) sur un riz irrigué en Côte-d'Ivoire centrale (Kotiessou). Travaux et documents de l'ORSTOM, 230 p.
- POTTER M.F. AND HILLERY A.E. 2002.** Exterior-targeted liquid termiticides : An alternative approach to managing subterranean termites (Isoptera : Rhinotermitidae) in buildings. *Sociobiology*, 39 (3): 373-405.
- PRESTWICH J.D. AND BENTLEY B.L. 1981.** Nitrogen fixation by intact colonies of the termite *Nasutitermes corniger*. *Oecologia*, 49: 249-251.
- PRESTWICH J.D., BENTLEY B.L. AND CARPENTER E.J. 1980.** Nitrogen source for neotropical nasute termites: fixation and selective foraging. *Oecologia*, 46: 397-401.

- PRICE A.H., STEELE K.A., GORHAM J., BRIDGES J.M., MOORE B.J., EVANS J. L., RICHARDSON P., JONES R.G.W. 2002.** Upland rice grown in soil-chambers and exposed to contrasting water –deficit regimes I. Root distribution, water use and plant water status. *Fields Crops Research*, 76 (1): 11-24.
- RAJAGOPAL D. 2002.** Economically important termite species in India. *Sociobiology*, 40 (1): 33-46.
- RAMAKRISHNAN R., SUITER D.R., NAKATSU C. H. AND BENNET G.W. 2000.** Feeding inhibition and mortality *Reticulitermes flavipes* (Isoptera : Rhinotermitidae) after exposure to imidacloprid-treated soils. *Journal of Economic Entomology*, 93 (2): 422-428.
- RAYMUNDO S.A. 1986.** Traditional pest control practices in West Africa. *IRRI Newsletter*, 11 (1): 24-27.
- RICHNER W., SOLDATI A. AND STAMP P. 1996.** Shoot to root relations in field-grown maize seedlings. *Agronomy Journal Print*, 88 (1): 55-61.
- RIOU G. 1988.** Proposition pour une géographie des climats en Côte-d'Ivoire et au Burkina Faso. In : *le climat de la savane de Lamto (Côte-d'Ivoire) et sa place dans les climats de l'Ouest Africain*. Lamotte et J.L. Tireford, eds., *Travaux des chercheurs de Lamto* , 8 : 81-115.
- RENOUX J. 1989.** Rapport d'expertise de la SOGESCA, Université Paris XII , 23 p.
- RENOUX J. 1995.** Rapport Rhône-Poulenc, Abidjan, Côte-d'Ivoire, 15p.
- RENOUX J., ROULAND C. ET MORA P. 1990.** *Une modification du peuplement en termites par la transformation d'un écosystème naturel en agrosystème*. Rapport de mission, Université Paris XII, 26 p.
- RENOUX J., ROULAND C., MORA P. ET HANSEN N. 1990.** Dégâts causés par les termites champignonnistes dans les cultures de canne à sucre en Afrique Intertropicale. *Réunion International de Canne à sucre*. 1: 124-130.

- RENOUX J., ROULAND C., MORA P. ET DIBANGOU V. 1991.** Les constructions du termites *Pseudacanthotermes spiniger* dans les champs de canne à sucre. Essai de lutte spécifique. *AFCAS : 1^{ère} Rencontre internationale en langue française sur la canne à sucre, Montpellier*, 1: 131-134.
- ROS C., BELL R. W., WHITE P.F. 2003.** Seedling vigour and the early growth of transplanted rice (*Oryza sativa*). *Plant and Soil*, 252 (2): 325-337.
- ROUANET G. 1984.** *Le maïs. Le technicien d'agriculture tropicale* : Edition Maisonneuve et Larose, Paris, 142 p.
- ROULAND-LEFEVRE C. 2000.** Symbiosis with fungi. In: *Termites: Evolution, Sociality, Symbioses Ecology*. (T. Abe., D.E. Bignell et M. Higashi (eds) . Kluwert Academic Publishers, Amsterdam, pp 289-306.
- ROULAND-LEFEVRE C. AND MORA P. 2002.** Control of *Ancistrotermes guineensis* Silvestri (Termitidae : Macrotermitinae), pest of sugarcane in Chad. *Journal of Pest Management*, 48 (1): 81-86.
- SADANA U.S. AND CLAASSEN N. 1999.** Potassium efficiency and dynamics in the rhizosphere of wheat, maize, and sugar beet evaluated by a mechanistic model. *Journal of Plant Nutrition*, 22 (6): 939-950.
- SANDS W.A. 1973.** Termites as tree and crop pests. *Pans (Pest artic.news summ.)*, 19: 167-177.
- SANDS W.A. 1977.** The role of termites in tropical agriculture. *Outlook on agriculture*, 9: 136-143.
- SBEGHEN A.C., DALFOVO V., SERAFINI L.A. AND DE BARROS N.M. 2002.** Repellence and toxicity of basil, citronella, ho-sho and rosemary oils for the control of the termite *Cryptotermes brevis* (Isoptera : Kalotermitidae). *Sociobiology*, 40 (3): 585-593.
- SERE Y. 1990.** La striure et les autres maladies du maïs, au Burkina Faso. In : *Lutte intégrée contre les ennemis des cultures vivrières dans le sahel*. Bamako, Mali, Institut du Sahel, pp. 276-284.

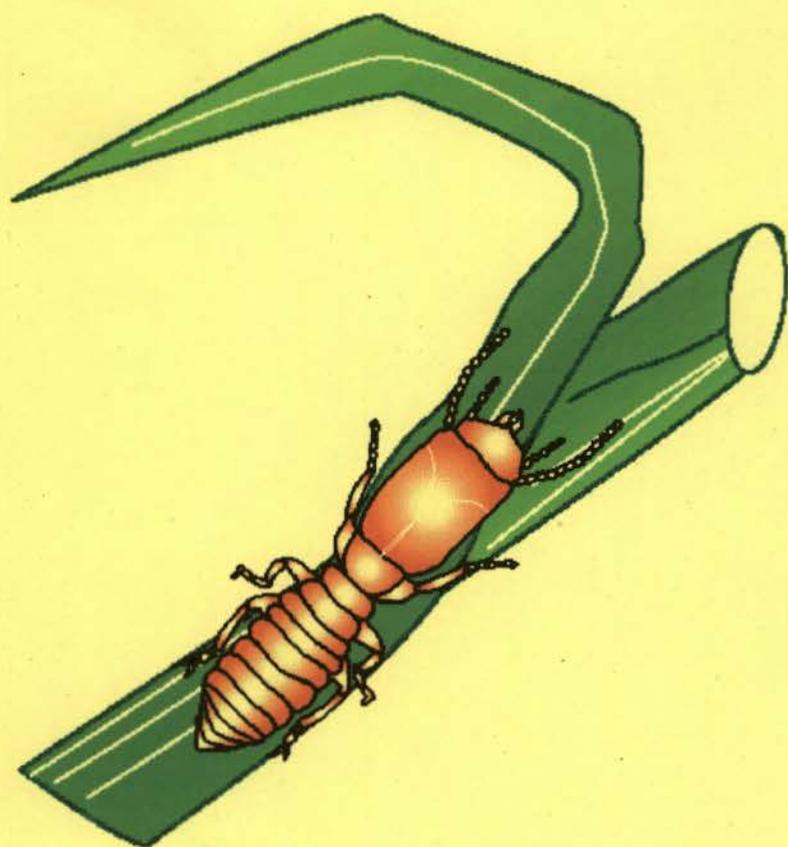
- SHANNON C.E. AND WEAVER W. 1949.** *The mathematical theory of communication.* University of Illinois Press, Urbana. 58 p.
- SHELTON T.G. AND GRACE J.K. 2003.** Effects of exposure duration on transfer of nonrepellent termiticides among workers of *Coptotermes formosanus* Shiraki (Isoptera : Rhinotermitidae). *Journal of Economic Entomology*, 96 (2): 456-460.
- SHIMIZU S. AND YAMAJI M. 2003.** Effects of density of the termite *Reticulitermes speratus* Kolbe (Isoptera : Rhinotermitidae), on the susceptibilities to *Metarhizium anisopliae*. *Applied Entomology and Zoology*, 38 (1): 125-130.
- SINGER A.C., CROWLEY D.E. AND THOMPSON I.P. 2003.** Secondary plant metabolites in phytoremediation and biotransformation. *Biotechnology*, 21 (3): 123-130.
- SINGH S.R. 1989.** Insects pests of tropical food legumes. *Pans (Pest artic.news summ.)*, 19: 257-258.
- SOLTNER D. 1978.** Les grandes productions végétales. Collection Sciences et Techniques agricoles. Paris, 9^{ème} édition, 237 p.
- STATISTICA. 2001.** VERSION 6.0 A. StatSoft Inc., TULSA, OK, USA.
- STEVENS M.V. AND WOODSON W.D. 2002.** Insecticides susceptibility and detoxication enzyme activities among *Coptotermes formosanus* Shiraki workers sampled from different locations in New-Orleans. *Biochemistry and Physiology*, 131: 469-476.
- STEVENS M.M., FOX K.M., COMBES N.E. AND LEWIN L.A. 1999.** Effect of fipronil seed treatments on the germination and early growth of rice. *Pesticide Science*, 55 (5): 517-523.
- SU N.Y. 2002.** Novel technologies for subterranean termite control. *Sociobiology*, 40 (1): 95-101.

- SU N.Y., BAN P.M. AND SCHEFFRAHN R.H. 1997.** Remedial baiting with hexaflumuron in above-ground stations to control structure-infesting populations of Formosan subterranean termite (Isoptera- Rhinotermitidae) *Journal of Economic Entomology*, 90 (3): 809-817.
- SUDHAKAR K. AND VEERESH G.K. 1985.** Crops loss estimation due to termites *Odontotermes obesus* and *Microtermes obesi* on dry crops. *Journal of Soil Biology and Ecology*, 5: 58-64.
- TAHIRI A.Y. ET MANGUE J.J. 2002.** Termites ravageurs de l'hévéa (*Hevea brasiliensis*) en Côte d'Ivoire. (sous presse dans *Sciences et Techniques*).
- TANO Y. 1993.** Les termitières épigées d'un bassin versant en savane soudanienne: répartition et dynamique des nids, rôle sur les sols et sur la végétation. Thèse d'Etat ès Sciences, Université Nationale de Côte-d'Ivoire, Abidjan, 250 p.
- TANO Y. ET LEPAGE M. 1996.** Termites as crop pests of maize in humid savanna of Côte-d'Ivoire. Soil biota. *TSBF Report* 1996 : 29-30.
- TIBEN A., PEARCE M.J., WOOD T.G., KAMBAL M.A. AND COWIE R.H. 1990.** Damage to crops by *Microtermes najdensis* (Isoptera -Macrotermitinae) in irrigated semi-desert areas of the Red Sea Coast. 2. Cotton in the Tokar region of Sudan. *Tropical Pest Management*, 36: 296-304.
- TONDOH E.J. 1992.** Influence de la mise en culture sur le peuplement de la macrofaune du sol en moyenne Côte-d'Ivoire. DEA, Univ. Abidjan. 66 p.
- TRAN VAN.CAHN. 1993.** *Control of termites and blacks ants damaging in the rubber plantation in Africa.* Rapport de mission, Abidjan, Côte-d'Ivoire. Idefor/DPL, 11 p.
- UMEH V.C. AND IVBIJARO M.F. 1999.** Effect of termite damage to maize of seeds extracts of *Azadirachta indica* and *Piper guineense* in farmers' fields. *Journal of Agricultural Science*, 133 (4): 403-407.
- VENNETIER P. ET LACLAVERE C. 1978.** Atlas de la Côte-d'Ivoire. Ed. Jeune Afrique, 72 p.

- WAGNER T.L. 2003.** US Forest Service termiticide tests. *Sociobiology*, 41 (1 A): 131-141.
- WANG C.L. AND POWELL J.E. 2003.** Isolation and evaluation of *Beauveria bassina* for control of *Coptotermes formosanus* and *Reticulitermes flavipes* (Isoptera: Rhinotermitidae). *Sociobiology*, 41 (2): 369-381.
- WANG C.L., POWELL J.E. AND NGUYEN K. 2002.** Laboratory evaluations of four entomopathogenic nematodes for control of subterranean termites (Isoptera: Rhinotermitidae). *Environmental Entomology*, 31 (2): 381-387.
- WARDELL D.A. 1987.** Control of termites in nurseries and young plantations in Africa : established practices and alternative courses of action. *Commonwealth For. Revue*, 66 (1): 77-89.
- WARDELL D.A. 1990.** Les termites africains. Alliés ou ennemis ? *L'agroforesterie aujourd'hui*, 3: 4-6.
- WOOD T. G. 1976.** The role of termites (Isoptera) in decomposition processes. In: *the role of terrestrial and aquatic organisms in decomposition processes*. Edited by J.M. Anderson and Macfadyen. Blackwell, Oxford. pp. 145-168.
- WOOD T.G. AND PEARCE M.J. 1991.** Termites in Africa : the environmental impact of control measures and damage to crops, trees, rangeland and rural buildings. *Sociobiology*, 19 (1): 221-234.
- WOOD T.G., BEDNARZIK M. AND ADEN H. 1987.** Damage to crop by *Microtermes najdensis* (Isoptera-termitinae) in irrigated semi-desert areas of the red sea coast. 1- The Tihama region of the Yemen arab republic. *Tropical Soil Management*, 33 (2): 142-150.
- WOOD T.G. AND JOHNSON R.A. 1978.** Abundance and vertical distribution in soil of *Microtermes* (Isoptera, Termitidae) in savanna woodland and agricultural ecosystems at Mokwa, Nigeria. *Memorabilia Zoologica*, 29: 203-213.
- WOOD T.G. AND SANDS W.A. 1978.** The role of termites in ecosystems. In: *Production Ecology of Ants and Termites* (M.V. Brian, Ed), London. pp 245-292.

- WOOD T.G., JOHNSON R.A., BACCHUS S., SHITTU M.O. AND ANDERSON J.M. 1982.** Abundance and distribution of termites (Isoptera) in a riparian forest in the Southern Guinean savanna vegetation zone of Nigeria. *Biotropica*, 14 (1): 25-39.
- WOOD T.G., JOHNSON R.A. AND OHIAGU C.E. 1977 a.** Populations of termites (Isoptera) in natural and agricultural ecosystems in Southern Guinean savanna near Mokwa, Nigeria. *Geotropica Economic Tropical*, 1 (2): 139-148.
- WOOD T.G., JOHNSON R.A., OHIAGU C.E., COLLINS N.M. AND LONGHURST C. 1977 b.** *Ecology and importance of termites in crops and pastures in Northern Nigeria. Project Report 1973-1976.* London: Center of Overseas Pest Research, 76 p.
- WOOD T. G., JOHNSON R.A.. AND OHIAGU C. E. 1980.** Termite damage and estimation of damage, loss in yield and termite (*Microtermes*) abundance at Mokwa. *Tropical Pest Management*, 26: 241-253.
- WOOD T.G., SMITH R.W., JOHNSON R.A. AND KOMOLAFE P.O. 1980.** Termite damage and crop loss studies in Nigeria. Pre-harvest losses to yam due to termites and other soil pests. *Tropical Soil Management*, 26 (4): 355-370.
- WRIGHT M.S., OSBRINK W.L. A. AND LAX A.R. 2002.** Transfer of entomopathogenic fungi among Formosan subterranean termites and subsequent mortality. *Journal of Applied Entomology*, 126 (1): 20-23.
- YAPI A. 1989.** Etude préliminaire de l'action des termites humivores dans les sols d'une savane préforestière (Lamto, Côte d'Ivoire). DEA, Univ. Abidjan, 39 p.
- YAPI A. 1991.** Biologie, Ecologie et métabolisme digestif de quelques espèces de termites humivores de savane. Thèse 3^{ème} cycle, Univ. Abidjan, 102 p.
- YAPI A., KOUASSI K.P. ET LEPAGE M. 2001.** Répartition des termites humivores et leur influence sur le métabolisme des sols en savane guinéenne (Lamto et Toumodi, Côte d'Ivoire). *Bioterre*, 1: 101-110.

- YORO G. 1990.** Résultats obtenus sur le site Booro-Borotou, Dépt Touba, nord -ouest de Côte d'Ivoire. Projet PNUD/UNESCO, N° IVC/87/007 *Productivité des savanes de Côte d'Ivoire*, 35 p.
- YING G.G. ET KOOKANA R.S. 2001.** Sorption of Fipronil and its metabolites on soils from south Australia. *Journal of Environmental Science and Health part B Pesticides Food Contaminants and Agricultural Wastes*, 36 (5): 545-558.
- YING G.G. ET KOOKANA R.S. 2002.** Laboratory and field studies on the degradation of Fipronil. *Australian Journal of Soil Research*, 40 (7): 1095-1102.



Annexes

ANNEXE I

Tableau I: Distribution pluviométrique décadaire et mensuelle de la zone de Touba (1997-1998)

mm Pluie en	Périodes	nov	déc	jan	fév	mar	avr	mai	jui	juil	août	sep	oct
	1 ^{ère} décade	0	0	0	0	0	42,5	24,1	35,6	0	128,7	55,8	35,7
	2 ^e décade	10,6	0	0	0	0	89,5	25	83	16	213,6	75	87
	3 ^e décade	0	0	0	0,6	0	9,4	152,6	31,3	9,7	126	149	11,1
	Total	10,6	0	0	0,6	0	141,4	201,7	149,9	25,7	468,3	279,8	133,8
Cumul	10,6	10,6	10,6	11,2	11,2	152,6	354,3	504,2	529,9	998,2	1278	1411,8	
Jours de pluie	1	0	0	1	0	10	9	4	2	16	14	8	
Cumul jrs pluie	1	1	1	2	2	12	21	25	27	43	57	65	
T° moy (°C)	25,6	25,1	25,7	29,1	31,4	30	28,3	27	25,7	25,3	25,8	25,9	
Total de pluie tombée	1338 mm												

Tableau II: Distribution pluviométrique décadaire et mensuelle de la zone de Touba (1998-1999)

mm Pluie en	Périodes	nov	déc	jan	fév	mar	avr	mai	jui	juil	août	sep	oct
	1 ^{ère} décade	0	0	0	7	0	73	36	40	74	31	198	0
	2 ^e décade	0	0	0	0	0	66	22	36	167	35	123	0
	3 ^e décade	0	0	0	0	0	97,5	29	42,5	64	143	78	0
	Total pluie	0	0	0	7	0	236,5	87	118,5	305	209	339	0
Cumul pluie	0	0	0	7	7	243,5	330,5	449	754	963	1302	1302	
Jours de pluie	0	0	0	1	0	8	5	9	10	5	10	0	
T° moy (°C)	26	25,5	25,4	28,3	31,2	31	28,3	27	25,7	25,3	25,8	27,9	
Cumul jrs pluie	0	0	0	1	1	9	14	23	33	38	48	48	
Total de pluie tombée	1302 mm												

Tableau III : Distribution pluviométrique décadaire et mensuelle de la zone de Touba (1999-2000)

mm Pluie en	Périodes	nov	déc	jan	fév	mar	avr	mai	jui	juil	août	sep	oct
	1 ^{ère} décade	0	0	0	0	18,5	21	29	0	96	6,5	48	109
	2 ^e décade	0	0	0	0	62	0	33	62	53	68	123	44
	3 ^e décade	0	0	0	0	29	71	81,5	58	35	58	79	16
	Total	0	0	0	0	109,5	92	143,5	120	184	132,5	250	169
Cumul	0	0	0	0	109,5	201,5	345	465	649	781,5	1031,5	1200,5	
Jours de pluie	0	0	0	0	4	3	6	5	7	7	11	9	
T° moy (°C)	25	26	25,7	27,5	30,8	31,2	28	27	25,5	25,4	25,6	27	
Cumul jrs pluie	0	0	0	0	4	7	13	18	25	32	43	52	
Total de pluie tombée	1200,5 mm												

ANNEXE II a

Densité (individus/m²) des groupes trophiques de termites sur les parcelles plantées en maïs durant les campagnes 1998 (N = 9), 1999 (N = 3) et 2000 (N = 3), à Booro-Borotou

Traitement	Groupe trophique	Densité T0 (1998)	Densité T1 (1999)	Densité T2 (1999)	Densité T1 (2000)	Densité T2 (2000)
Témoin	CHAMPIGNONNISTES	209,8		176	224,0	
	HUMIVORES	3,6		0	197,4	
	XYLOPHAGES	0		0	0	
Régent A	CHAMPIGNONNISTES	24,3		160,0	202,7	117,3
	HUMIVORES	0		10,7	0	21,3
	XYLOPHAGES	0		5,3	0	0
Régent B	CHAMPIGNONNISTES	59,9	53,3	32	37,4	10,7
	HUMIVORES	152,9	5,3	0	0	0
	XYLOPHAGES	0	0	0	0	0
Régent C	CHAMPIGNONNISTES	49,8	90,7	48	112,0	69,3
	HUMIVORES	0	32,0	5,3	10,6	10,6
	XYLOPHAGES	0	21,3	5,3	0	0
Procibam	CHAMPIGNONNISTES	87,1	115,3	69,3	704,0	128
	HUMIVORES	0	21,3	53,3	21,3	800
	XYLOPHAGES	0	0	0	0	0
Paillage	CHAMPIGNONNISTES	170,7	549,9	289,1	578,1	714,7
	HUMIVORES	16,0	72,2	90,1	199,6	87,5
	XYLOPHAGES	0	28,3	21,9	75,7	96,0

ANNEXE II b

Biomasses (g/m²) des groupes trophiques de termites sur les parcelles plantées en maïs durant les campagnes (N = 9), 1999 (N = 3) et 2000 (N = 3) à Booro-Borotou

Traitement	Groupe trophique	Biomasse T0 (1998)	Biomasse T1 (1999)	Biomasse T2 (1999)	Biomasse T1 (2000)	Biomasse T2 (2000)
Témoïn	CHAMPIGNONNISTES	0,288		0,166		0,277
	HUMIVORES	0,005		0		0,315
	XYLOPHAGES	0		0		0
Régent A	CHAMPIGNONNISTES	0,013		0,155		0,268
	HUMIVORES	0		0,016		0,011
	XYLOPHAGES	0		0,011		0
Régent B	CHAMPIGNONNISTES	0,076	0,043	0,027	0,037	0,011
	HUMIVORES	0,35	0,011	0	0	0
	XYLOPHAGES	0	0	0	0	0
Régent C	CHAMPIGNONNISTES	0,039	0,09	0,053	0,117	0,064
	HUMIVORES	0	0,043	0,011	0,058	0,106
	XYLOPHAGES	0	0,048	0,021	0	0
Procibam	CHAMPIGNONNISTES	0,097	0,112	0,043	1,082	0,08
	HUMIVORES	0	0,043	0,048	0,043	0,336
	XYLOPHAGES	0	0	0	0	0
Paillage	CHAMPIGNONNISTES	0,08	0,397	0,220	0,413	1,007
	HUMIVORES	0,018	0,165	0,068	0,164	0,281
	XYLOPHAGES	0	0,029	0,034	0,072	0,159

ANNEXE II c

Densité (individus/m²) des groupes trophiques de termites sur les parcelles plantées en riz durant les campagnes 1998 (N = 9), 1999 (N = 3) et 2000 (N = 3) à Booro-Borotou

Traitement	Groupe trophique	Densité T0 (1998)	Densité T1 (1999)	Densité T2 (1999)	Densité T1 (2000)	Densité T2 (2000)
	CHAMPIGNONNISTES	320	330,6		314,6	
Témoin	HUMIVORES	5,3	74,7		202,7	
	XYLOPHAGES	0	128,0		0	
Régent A	CHAMPIGNONNISTES	728	304		309,3	48,0
	HUMIVORES	0	0		48,0	21,3
	XYLOPHAGES	0	0		0	0
Régent B	CHAMPIGNONNISTES	101,3	80	85,3	174	30
	HUMIVORES	1,8	0	0	0	21,3
	XYLOPHAGES	0	0	0	0	0
Régent C	CHAMPIGNONNISTES	273,8	208	250,6	378,7	154,7
	HUMIVORES	8,9	272	74,7	0	576
	XYLOPHAGES	0	0	0	0	0
Procibam	CHAMPIGNONNISTES	385,7	250,6	277,4	795,3	325,3
	HUMIVORES	3,5	394,7	240,0	0	0
	XYLOPHAGES	0	0	0	0	0
Paillage	CHAMPIGNONNISTES	641,8	542,4	619,2	663,5	640,0
	HUMIVORES	10,7	208,0	132,3	199,6	109,9
	XYLOPHAGES	0	120,5	43,2	75,7	92,3

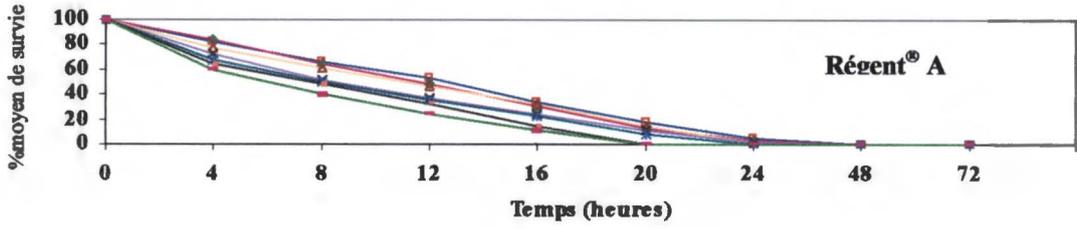
ANNEXE II d

Biomasses (g/m²) des termites sur les parcelles plantées en riz durant les campagnes 1998 (N = 9), 1999 (N =3) et 2000 (N =3) à Booro-Borotou

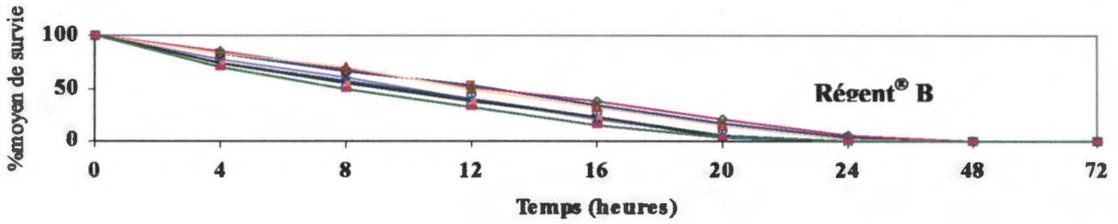
Traitement	Groupe trophique	Biomasse T0 (1998)	Biomasse T1 (1999)	Biomasse T2 (1999)	Biomasse T1 (2000)	Biomasse T2 (2000)
Témoïn	CHAMPIGNONNISTES	0,679		0,454		0,571
	HUMIVORES	0,014		0,123		0,4
	XYLOPHAGES	0		0,4		0
Régent A	CHAMPIGNONNISTES	1,565		0,507	0,304	0,059
	HUMIVORES	0		0	0,101	0,027
	XYLOPHAGES	0		0	0	0
Régent B	CHAMPIGNONNISTES	0,055	0,101	0,128	0,88	0,054
	HUMIVORES	0,005	0	0	0	0,027
	XYLOPHAGES	0	0	0	0	0
Régent C	CHAMPIGNONNISTES	0,193	0,309	0,373	0,187	0,32
	HUMIVORES	0,021	0,373	0,091	0	4,475
	XYLOPHAGES	0	0	0	0	0
Procibam	CHAMPIGNONNISTES	0,437	0,277	0,363	1,44	1,361
	HUMIVORES	0,014	0,603	0,373	0	0
	XYLOPHAGES	0	0	0	0	0
Paillage	CHAMPIGNONNISTES	1,1	0,540	0,660	0,471	0,640
	HUMIVORES	0,016	0,149	0,150	0,164	0,178
	XYLOPHAGES	0	0,097	0,052	0,072	0,085

ANNEXE III

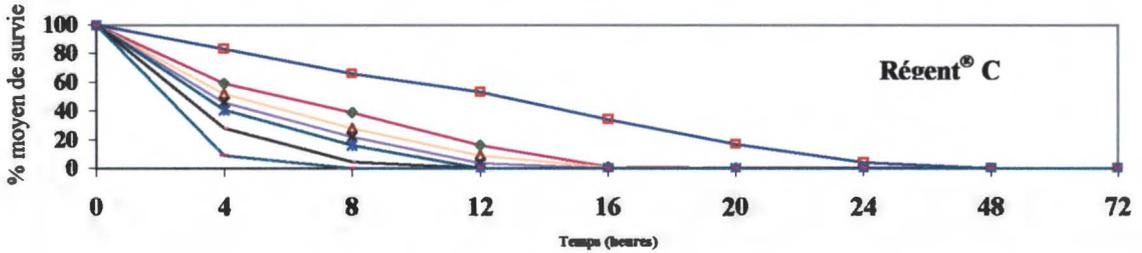
a)



b)



c)



d)

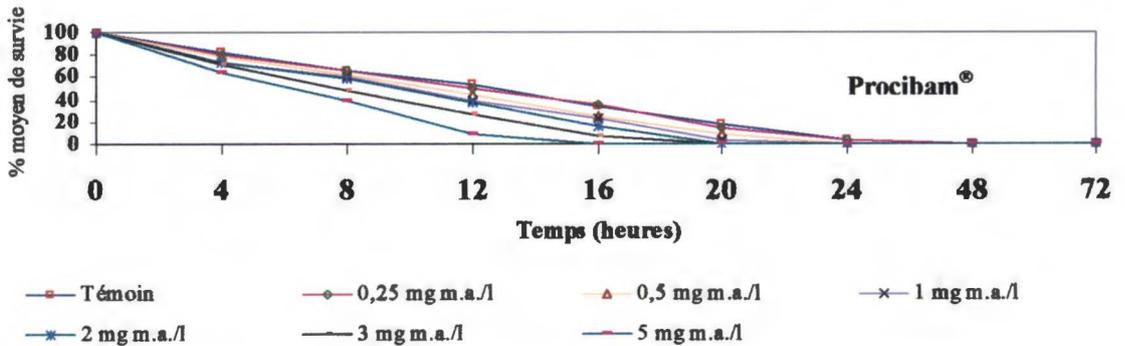


Figure : Survie des ouvriers de *Ancistrotermes cavithorax* après une exposition à un sol traité aux 4 insecticides à différentes concentrations (n = 48)

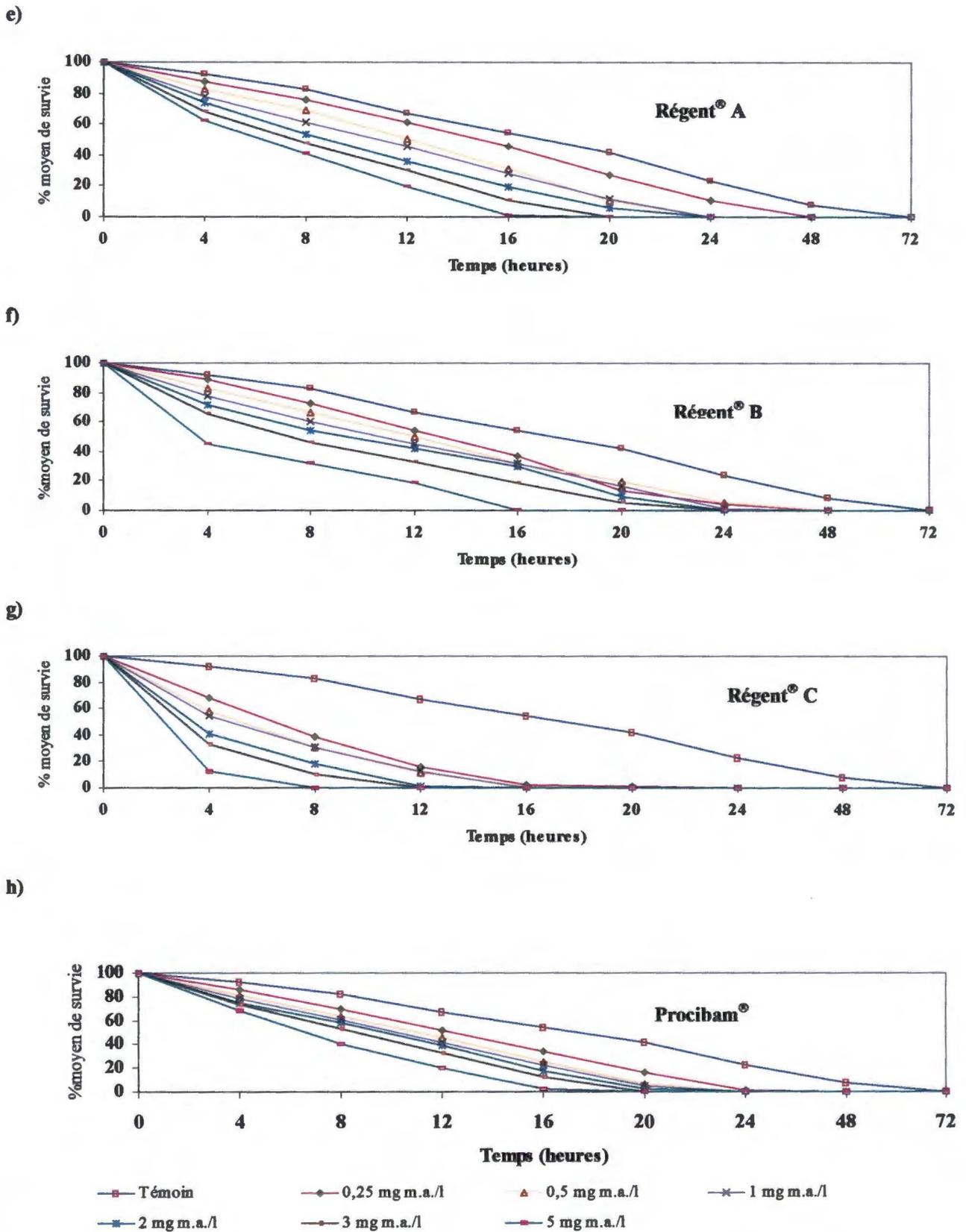


Figure : Survie des ouvriers de *Macrotermes subhyalinusx* après une exposition à un sol traité aux 4 insecticides à différentes concentrations (n = 48)

ANNEXE IV

a) : Contribution des variables utilisées par rapport aux différents axes du plan au niveau de la culture de riz (N = 48)

	F1	F2	F3	F4
Racines	93,02	18,94	13,74	19,39
Tiges	93,69	17,19	2,29	22,73
Panicules sans grains	66,65	46,19	57,89	80,43
Grains	87,33	22,98	28,95	39,05
Attaques termites	0,93	94,37	30,43	12,92

b) : Coefficients de corrélation entre les variables utilisées au niveau de la culture de riz (N = 48)

	racines	tiges	Panicules sans grains	grains	Attaques termites
Racines	1,00	0,91	0,44	0,77	-0,10
Tiges	0,91	1,00	0,52	0,73	-0,12
Panicules sans grains	0,44	0,52	1,00	0,46	0,26
Grains	0,77	0,73	0,46	1,00	0,07
Attaques termites	-0,10	-0,12	0,26	0,07	1,00

En gras, valeurs significatives (hors diagonale) au seuil alpha=0.050 (Test bilatéral)

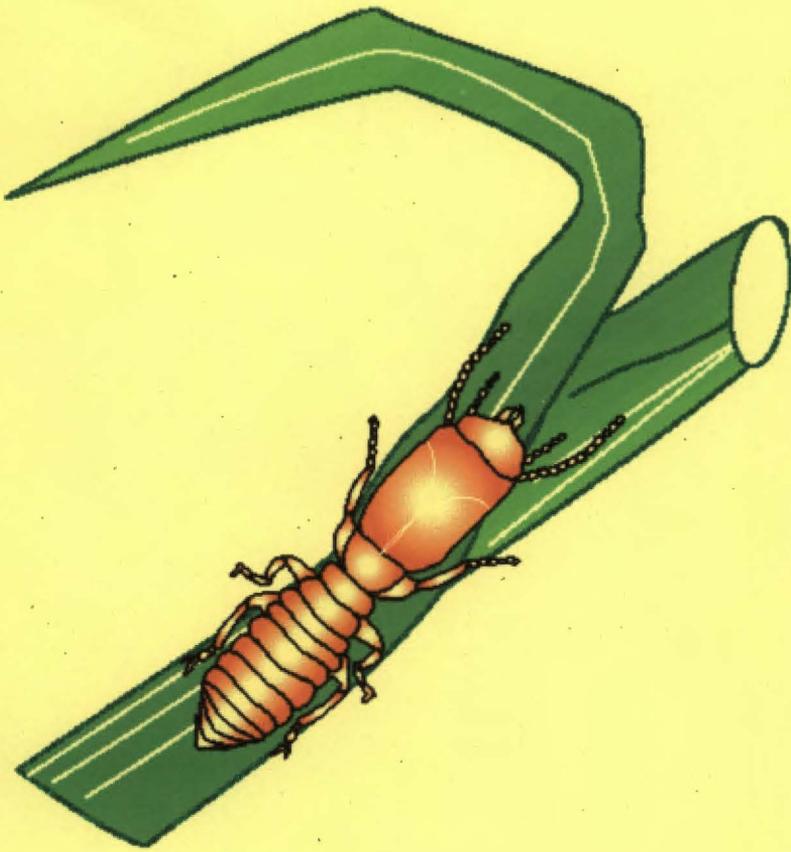
c) : Contribution des variables utilisées par rapport aux différents axes du plan au niveau de la culture de riz (N = 48)

	F1	F2	F3	F4
Racines	81,40	48,20	30,20	20,20
Tiges	86,10	30,70	63,40	33,40
Feuilles	85,70	22,80	35,90	19,70
Glumes + rafles	77,20	55,40	14,70	13,80
Grains	67,50	48,90	36,40	41,10
Attaques termites	59,90	66,30	46,40	18,30

d) : Coefficients de corrélation entre les variables utilisées au niveau de la culture de maïs (N = 48)

	racines	tiges	feuilles	glumes + rafles	grains	Attaques termites
Racines	1,00	0,87	0,55	0,35	0,68	0,15
Tiges	0,87	1,00	0,62	0,45	0,58	0,29
Feuilles	0,55	0,62	1,00	0,82	0,42	0,44
Glumes + rafles	0,35	0,45	0,82	1,00	0,25	0,68
Grains	0,68	0,58	0,42	0,25	1,00	0,14
Attaques termites	0,15	0,29	0,44	0,68	0,14	1,00

En gras, valeurs significatives (hors diagonale) au seuil alpha=0.050 (Test bilatéral)



Publications

AGRONOMIE AFRICAINNE



Tiré à part

AOUT 2001

REVUE SCIENTIFIQUE EDITEE PAR L'ASSOCIATION
IVOIRIENNE DES SCIENCES AGRONOMIQUES (AISA)

SCIENTIFIC EDITED BY THE IVORIAN ASSOCIATION
FOR AGRICULTURAL SCIENCES (AISA)

INFLUENCE DES TRAITEMENTS INSECTICIDES SUR LES POPULATIONS DE TERMITES NUISIBLES AUX CULTURES DE RIZ ET DE MAÏS EN MILIEU DE SAVANE (LAMTO ET BOORO-BOROTOU, CÔTE D'IVOIRE)

A. A. AKPESS¹, PH. KOUASSI¹, A. YAPI¹, M. LEPAGE², Y. TANO¹ et A. TAHIRI¹

¹Laboratoire de Zoologie-Biologie Animale, UFR Biosciences, Université de Cocody, 22 BP 582
Abidjan, Côte d'Ivoire.

²Ecole Normale Supérieure, Laboratoire d'Ecologie, 46, rue d'Ulm, 75230 Paris Cedex 05 France.

RESUME

Les cultures vivrières comme le riz et le maïs sont fréquemment attaquées par des termites déprédateurs. Dans le but de quantifier ces attaques et de comparer les effets de divers traitements insecticides, des parcelles ont été établies en zone de savane préforestière (Lamto et Booro-Borotou). L'abondance des termites en milieu cultivé a été estimée par échantillonnage selon des prélèvements de carrés de fouille et de tarière. Les populations de termites (en majorité des termites champignonnistes) représentent de 62,15 à 89,67 % de l'effectif de la macrofaune du sol. Les plants de riz et de maïs ont été attaqués à n'importe quel stade phénologique et tous les organes (feuilles, tiges, fruits, racines) peuvent être affectés. Au niveau des racines, l'évaluation du taux de présence des termites indique que le maïs est plus attaqué que le riz. Ce sont les termites du genre *Microtermes* qui paraissent les plus nuisibles à ces cultures. Les traitements chimiques au Régent (Fipronil) par pulvérisation du sol et par traitement des semences se révèlent les plus efficaces, avec des taux de présence de termites plus faibles.

Mots clés : Termites, insecticides, cultures vivrières, Côte d'Ivoire.

ABSTRACT

INFLUENCE OF INSECTICIDE TREATMENTS ON DAMAGING TERMITE POPULATIONS OF RICE AND MAIZE CROPS IN SAVANNA (LAMTO AND BOORO-BOROTOU, CÔTE D'IVOIRE)

Food crops such as rice and maize are frequently attacked by damaging termites. This study was carried out in the preforest savanna zone (Lamto and Booro-Borotou) in the aim to assess termite damages and evaluate the efficiency of insecticide treatments on termite populations. The abundance of termites in cultivated lands has been estimated with square and core samplings. The termite populations, mainly fungus-growing termites species within the soil macrofauna, represented from 62.15 to 89.67 % of the total soil macrofauna density. The rice and maize plants were attacked in any phenological stage and major plant parts (leaves, stems, fruits and roots) could be affected. The termite presence rate at the root level indicates that maize plants were more attacked than rice plants. The rate of termites of the genus *Microtermes* appeared to be the most injurious to the two plants. The chemical treatment with Régent (Fipronil) through soil spray and seed treatment, were the most efficient, as revealed by a lower termite density.

Keywords : Termites, insecticides, food crops, Côte d'Ivoire

INTRODUCTION

Les produits céréaliers comme le riz et le maïs constituent des aliments de base des populations des pays en voie de développement (Pollet, 1975). En Côte d'Ivoire, la production de ces denrées alimentaires ne couvre que la moitié des besoins (Anonyme, 1992). L'une des principales causes de cette faible production est imputable aux maladies et aux ennemis des cultures (Pollet, 1975 ; Breniere, 1983 ; Moyal, 1988 ; Foua-Bi, 1989 ; Cissé, 1991). Parmi les ravageurs, se trouvent les termites, qui s'attaquent aux plantes cultivées, causant d'importants dégâts et d'énormes pertes de récolte. Le riz et le maïs sont les cibles privilégiées des termites déprédateurs en Afrique de l'Ouest et en Afrique Centrale (Sands, 1973 ; Collins, 1984 ; Wood *et al.*, 1987, Mora, 1990), d'où la nécessité d'expérimenter l'influence de traitements chimiques sur les populations de termites. L'objectif est de mettre au point une technique de lutte efficace contre ces ravageurs de cultures.

MATERIELS ET METHODES

SITES D'ETUDE

Le site de Lamto (6°13 latitude Nord, 5°12 longitude Ouest) se situe dans une zone de transition de savane préforestière guinéenne humide. Le climat est de type intertropical à quatre saisons. La pluviométrie totale de l'année 1998 est de 1095 mm ce qui est inférieur à la moyenne calculée sur 10 années. Les températures moyennes mensuelles varient entre 22 °C et 32 °C. On distingue deux types de sols (Delmas, 1967 ; Riou, 1974) : les terres noires et les sols ferrugineux tropicaux.

Le site de Booro-Borotou (8°28 latitude Nord, 7°35 longitude Ouest) se localise en zone de savane préforestière

humide du secteur sub-soudanais. Le climat est de type subtropical à deux saisons. La pluviométrie totale (de janvier à novembre 1998) atteint 1672,1 mm. Les températures moyennes mensuelles varient entre 25,3 °C et 31,3 °C. Les sols se distinguent suivant deux grands domaines : le domaine ferrallitique et le domaine ferrugineux et hydromorphe (Fritsch et Planchon, 1987).

MATERIEL VEGETAL

Deux types de cultures a été mises en essai sur les sites : le riz [*Oryza sativa* L. (Poaceae)] et le maïs [*Zea mays* L. (Poaceae)]. A Lamto, le matériel végétal est constitué d'une variété locale de riz et d'une variété hybride de maïs. Ce sont des variétés précoces dont le cycle dure de 90 à 120 j. A Booro-Borotou, les variétés de riz (var. IAC 170) et de maïs (var. Ferké II) ont également un cycle court (100 à 120 j) et sont fréquemment cultivées par les populations locales.

METHODES

Echantillonnage des termites et de la faune du sol

Pour évaluer les populations de la macrofaune du sol, des carrés de fouille et des prélèvements à la tarière ont été utilisés. Les animaux récoltés (macro-invertébrés) dans les strates de sol (0-5 cm, 5-10 cm, 10 - 20 cm et 20-30 cm) sont conservés dans de l'alcool à 70 %, triés, comptés et pesés au laboratoire selon les groupes taxonomiques ou les groupes trophiques.

Dispositif expérimental des cultures

Sur chaque site, on dispose d'une parcelle de 9800 m² (140 m x 70 m) subdivisée en deux essais respectifs de riz et de maïs. Chaque essais comprend

3 rangées de 8 parcelles élémentaires de 50 m² (10 m x 5 m) distantes entre elles de 2 m. Pour chaque traitement, trois répétitions ont été appliquées par essais de riz ou de maïs. Les semis de riz ont été réalisés dans les parcelles élémentaires sur 12 lignes distantes de 40 cm à raison de 42 g par ligne. Les grains de maïs sont semés sur les parcelles élémentaires par poquets (de 3 ou 4 grains) espacés de 40 cm sur 6 lignes distantes de 80 cm. Sur chaque rangée, les traitements ont été répartis de la façon suivante :

- 1 parcelle sans traitement (témoin)
- 4 parcelles pour les traitements chimiques
- 2 parcelles pour les traitements avec épandage de matériau termitique
- 1 parcelle pour le traitement avec paillage

Dans ce travail, ne seront pris en compte que les données issues des parcelles soumises à des traitements chimiques, par rapport aux parcelles témoins.

Traitement chimique

Les effets de deux insecticides ont été comparés :

- Procibam 480 (chlorpyriphos éthyl) de la famille des organophosphorés a été utilisé sous forme liquide à la dose de 960 g de matière active/ha, soit 4,8 g par parcelle élémentaire de 50 m². 10 ml du produit, mélangée à 2 l H₂O d'eau a été pulvérisée directement sur le sol au niveau des sillons.

- Régent (fipronil) de la famille des Phenylpyrazoles se présente sous trois formes :

- Régent A (nom commercial LE SAK) pour le traitement des semences. Sa dose est de 125 g de matière active pour 100 kg de semences, soit 0,625 g par parcelle élémentaire de 50 m². L'insecticide a été mélangé aux semences

jusqu'à l'obtention d'une couleur homogène et les semis ont ensuite été effectués.

- Régent B (nom commercial Régent 50 SC) pour le traitement du sol, avec une dose de 100 g de matière active/ha, soit 0,50 g par parcelle élémentaire de 50 m². Un mélange comprenant 10 ml d'insecticide pour 2 l H₂O a été appliqué sur le sol par pulvérisation.

- Régent C (nom commercial Régent 5 GR) pour le traitement des plantes en croissance. Sous forme de granulés, il a été appliqué autour des pieds de riz ou de maïs, 2 mois après les semis, à la dose de 124,5 g de matière active / ha, soit 0,625 g par parcelle élémentaire de 50 m².

Evaluation des dégâts des termites

Dès le démariage, les pieds laissés sur place ont été comptés et un suivi régulier pendant 30 j a eu lieu et les plants morts ont été recensés. Ils sont déterrés afin de déterminer les causes probables de leur mort. En effet, à ce stade, le plant peut mourir par suite d'attaques par des termites ou à cause des mauvaises conditions climatiques du milieu. Les dégâts ont été décrits après l'observation des différentes parties du végétal (racines, tiges et feuilles). Par la suite, à la récolte, tous les pieds de maïs ou de riz sont déracinés et le sol enrobant les racines soigneusement fouillées pour rechercher la présence d'invertébrés ou de termites en particulier. La fréquence d'apparition des déprédateurs a été notée dans chaque cas. Les dégâts ont été évalués, dans les parcelles de riz, sur trois rangées, alors que dans les parcelles de maïs, tous les pieds de la parcelle ont été examinés.

Le taux de présence des termites se définit comme étant la fréquence d'apparition d'une espèce (a) pendant un échantillonnage (P) dans un milieu bien défini. Il est noté $T P = P_a / P$; (P_a étant le nombre de fois que l'espèce a été rencontrée au

niveau du végétal et P, le nombre total de pieds échantillonnés). Les espèces de termites ont ensuite été déterminées au laboratoire à l'aide d'une clé de détermination (Bouillon et Mathot, 1965).

Traitements statistiques

Les différentes analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel STATVIEW (Anova). Pour les comparaisons des moyennes, le test de Fisher a été utilisé. Le seuil de probabilité choisi a été de 5 %.

RESULTATS

IMPORTANCE DU PEUPEMENT EN TERMITES DANS LA MACROFAUNE DU SOL

Milieu cultivé en riz

La macrofaune du sol présente un peuplement relativement abondant dans ce milieu de culture. Les densités obtenus ont été de 1128,4 individus/m² à Lamto et de 912 individus/m² à Booro-Borotou pour des biomasses fraîches pratiquement équivalentes de 7,7 g/m² et de 8 g/m² respectivement (tableau 1). Les termites ont été totalement dominants à Lamto (89,09 % des effectifs et 60,48 % des biomasses). Les termites champignonnistes, dont *Pseudacanthotermes* constituent 98,5 % en densité et 99,7 % en biomasse. A Booro-Borotou, les termites dominant également en densité (67,8 %), mais ce sont les vers de terre (*Megascolecidae*) qui constituent la biomasse la plus élevée (79 %). Les termites champignonnistes ont également été bien représentés : 77 % en densité et 88 % des biomasses par rapport aux termites humivores (23 % en densité et 12,38 % des biomasses).

En milieu cultivé de maïs

Dans ce milieu, l'abondance totale

de la macrofaune du sol a été de 419,4 individus/m² pour 3,3 g/m² à Lamto et de 838,5 individus/m² pour 31,8 g/m² à Booro-Borotou. Les populations de termites ont constitué l'essentiel du peuplement, surtout en densité (81,1% à Lamto et 78,4 % à Booro-Borotou). La répartition des biomasses traduit plus l'importance des autres groupes. C'est le cas des larves de coléoptères et des vers de terre (50 % et 40 % des biomasses respectivement) à Lamto, et des vers de terre (94,1 % des biomasses) à Booro-Borotou. Les termites se répartissent en termites champignonnistes, dominants en densité et en termites humivores légèrement plus importants en biomasse à Lamto (57,4 %).

LES DEGATS CAUSES AUX CULTURES PAR LES TERMITES

Les termites attaquent les plants à n'importe quel stade de leur développement, du semis à la maturité.

Dégâts sur le riz

Au stade plantule, les termites champignonnistes (*Microtermes*, *Ancistrotermes*, *Pseudacanthotermes*, *Odontotermes*, *Macrotermes*) et fourrageurs (*Trinervitermes*) attaquent la plante dès son jeune âge, à la levée. Les dégâts sont généralement minimes. Ils attaquent le système racinaire qu'ils détruisent. La plante flétrit et sèche quelque temps plus tard. Les jeunes plants sont coupés au ras du sol par les termites et tombent sur le sol où ils sont recouverts de placages de terre pour être consommés. En effet, 70 j après les semis, on a noté sur les parcelles non traitées 1,6 % de pieds morts à Booro-Borotou et 2,16 % à Lamto. Sur les parcelles traitées au Régent A et au Régent B, les taux de mortalité se sont élevés à 1,91 % et 0,14 % à Booro-Borotou, pour 0,79 % et 0,03 % à Lamto.

Tableau 1 : Densité et biomasse de la macrofaune du sol en milieu cultivé de riz et de maïs à Lamto et Booro-Borotou. (parcelles non traitées)

Density and biomass of soil macrofauna under rice and maize cultivation at Lamto and Booro-Borotou.

Groupes macrofaunes	Densité (nb indiv/m ²) et biomasse (g/m ²) selon les cultures et les sites							
	Riz				Maïs			
	Lamto		Booro-Borotou		Lamto		Booro-Borotou	
	Densité	Biomasse	Densité	Biomasse	Densité	Biomasse	Densité	Biomasse
Termites	1005,3 (995,1)	4,687 (4,136)	618,6 (207,0)	1,058 (0,359)	340,3 (422,6)	0,216 (1,049)	657,3 (299,7)	0,681 (0,359)
Formicinae	15,5 (8,9)	0,101 (0,089)	100,5 (50,4)	0,108 (0,029)	15,5 (15,5)	0,023 (0,020)	54,1 (32,9)	0,039 (0,005)
Myrmicinae	7,7 (5,9)	0,124 (0,119)	30,9 (30,9)	0,054 (0,029)	-	-	7,7 (5,9)	0,008 (0,005)
Coléoptères	77,3 (38,9)	2,521 (2,487)	-	-	7,7 (7,7)	0,070 (0,059)	-	-
Larv. Coléop	7,7 (5,9)	0,054 (0,029)	-	-	23,2 (10,5)	1,670 (2,098)	15,5 (8,9)	0,363 (0,359)
Arachnides	-	-	-	-	7,7 (7,7)	0,008 (0,007)	-	-
Larv. Dipt.	-	-	7,7	0,031	-	-	-	-
Megascolecidae	-	-	85,1 (39,9)	6,310 (4,436)	1,778 (0,551)	1,353 (1,987)	23,2 (20,9)	29,967 (15,616)
Eudrilidae	7,1 (5,3)	0,208 ((1,206)	69,6 (24,8)	0,441 (0,299)	-	-	65,2 (17,9)	0,640 (0,719)
Chilopodes	-	-	-	-	23,2 (7,7)	0,309 (0,005)	7,7 (5,9)	0,015 (0,029)
Symphiles	7,7 (5,9)	0,054 (0,029)	-	-	-	-	7,7 (5,9)	0,131 (0,119)
Total	1128,4 (992,3)	7,749 (4,819)	912,5 (212,1)	8,003 (4,616)	419,4 (438,1)	3,340 (2,608)	838,5 (305,7)	31,845 (15,436)

(Erreur standard entre parenthèses)

Au stade adulte, les termites attaquent les organes souterrains (racines) et le collet. Ils creusent des galeries le long des tiges, provoquant son affaiblissement et la mort du végétal. Ils pénètrent à l'intérieur de la plante au niveau du sol et évident l'intérieur du collet et de la racine principale. Les feuilles de riz sont aussi consommées par les termites. Les plantes attaquées sont rabougries et ne portent généralement pas de panicule. A 120 j après semis, les parcelles non traitées ont présenté 0,56 % de pieds morts à Booro-Borotou et 3,8 % à Lamto. Les mortalités dans les parcelles traitées aux Régent A, B, et C sont sensiblement égales à Booro-Borotou (0,28 %, 0,23 % et 0,20 %) tandis qu'elles varient à Lamto (0,8 %, 0,03 % et 0,28 % respectivement). Concernant le Procibam, le taux de pieds morts est plus élevé à Lamto qu'à Booro-Borotou (0,45 % contre 0,15 %).

Dégâts sur le maïs

Les plantules, en phase de croissance, ont été très peu attaquées par les termites. En cas d'attaque, c'est le système racinaire qui est affecté. Avant attaques, les termites recouvrent, au préalable de terre la tige du végétal. Les genres *Ancistrotermes* et *Microtermes* sont responsables de ces attaques. Les jeunes racines sont alors coupées et la nutrition hydrique et minérale de la plante s'en trouve perturbée : la plante flétrit, et meurt ou reste rabougrie. Les termites provoquent également la défoliation totale ou partielle des plantules, en recouvrant les feuilles de terre avant de les consommer. En effet, 70 j après les semis, on a noté 5,05 % de pieds morts sur les parcelles non traitées. Le Procibam a donné un taux de mortalité de 7,28 % à Booro-Borotou et de 4,94 % à Lamto. Pour le traitement au Régent A et au Régent B, les taux de mortalité est de 1,69 % et 2,95 % à Booro-Borotou et de 2,66 % et 1,90 % à Lamto. Le taux de mortalité le

plus élevé a été observé sur les parcelles traitées au Régent C (11,87 %) à Booro-Borotou.

Les attaques sur les plantes adultes ou proches de la maturité sont les plus fréquentes et se localisent au niveau des racines, du collet, des tiges et des feuilles. Les termites *Microtermes*, *Ancistrotermes* et *Amitermes* rongent les racines et peuvent éventuellement creuser les tiges jusqu'à plus d'un mètre. Cette attaque entraîne l'affaiblissement du système racinaire, des tiges et dans certains cas, la mort du végétal. Les plants tombés au sol sont consommés par plusieurs catégories de termites. En particulier, les épis sont attaqués par *Ancistrotermes*. En effet 100 j après les semis, les parcelles non traitées et les parcelles traitées au Procibam présentent les plus forts taux de mortalité, respectivement de 8,47 % et 7,6 % à Booro-Borotou. A Lamto, la même tendance a été observée (11,64 % et 7,45 %). Les taux de mortalité les plus bas ont été observés au niveau des parcelles traitées au Régent A, Régent B et Régent C sur les deux sites avec des valeurs respectives de 1,96 %, 2,39 % et 3,78 % à Booro-Borotou pour 4,45 %, 2,75 % et 6,16 % à Lamto.

EVALUATION QUANTITATIVE DE LA PRESENCE DES TERMITES AU NIVEAU DES RACINES DES PLANTES

Le riz

Le genre *Microtermes*, avec un taux de présence de 63,88 % à Lamto et de 30,15 % à Booro-Borotou sur les parcelles non traitées, a été responsable de la plus forte attaque des plants de riz (tableau 2). Les attaques de racines par les autres termites champignonnistes se sont révélés de moindre importance. Le taux de présence d'*Ancistrotermes* et de *Pseudacanthotermes* a été pratiquement nul à Lamto (7,93 %) et faible à Booro-Borotou (11,11 %). Pour les autres termites, le taux de présence des Apico-

termitinae (19,44 % à 34,92 %) et des termites fourrageurs (13,88 %) est aussi important que celui des Macrotermitinae champignonnistes.

plus élevés à Booro-Borotou, où ils correspondent à 60,28 % pour *Microtermes* ; 18,43 % pour *Ancistrotermes* et 8,51 % pour *Pseudacanthotermes*. Les Apicotermiteinae connaissent un taux de pré-

Tableau 2 : Taux de présence des termites au niveau des racines de riz en fonction des traitements insecticides à Lamto (a) et à Booro-Borotou (b).

Présence rate of termites at rice roots level as a function of insecticides treatments at Lamto (a) and Booro-Borotou (b).

a) Lamto

Groupes de termites	Taux de présence des termites en fonction des traitements insecticides				
	TEM	PRO	REG A	REG B	REG C
<i>Microtermes spp.</i>	68,33	37,83	0,00	0,00	28,57
<i>Ancistrotermes spp.</i>	0,00	16,20	0,00	0,00	0,00
<i>Pseudacanthotermes spp.</i>	0,00	35,13	0,00	100	14,28
<i>Microcerotermes spp.</i>	2,77	0,00	0,00	0,00	0,00
Apicotermiteinae	19,44	0,10	0,00	0,00	28,57
<i>Promirotermes</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	14,28
<i>Trinervitermes spp.</i>	13,88	64,70	100	0,00	14,28

b) Booro-Borotou

Groupes de termites	Taux de présence des termites en fonction des traitements insecticides				
	TEM	PRO	REG A	REG B	REG C
<i>Microtermes spp.</i>	30,15	60,6	60,00	0,00	66,66
<i>Ancistrotermes spp.</i>	7,93	13,4	20,00	100	33,34
<i>Pseudacanthotermes spp.</i>	11,12	26,2	20,00	100	0,00
Apicotermiteinae	34,92	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Promirotermes</i>	17,66	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Pericapritermes spp.</i>	6,33	0,00	0,00	0,00	0,00

TEM = tension ;
REG B = Régent A ;

PRO = prosibam 480 ;
REG C = Régent C.

REGA = Régent A ;

Le maïs

La présence des termites a été plus marquée sur les racines de pieds de maïs. Le taux de présence des termites champignonnistes dans les parcelles non traitées de Lamto a été estimé à 70,96 % pour *Microtermes* ; 4,80 % pour *Ancistrotermes* et 6,45 % pour *Pseudacanthotermes* (tableau 3). Ces taux ont encore

seance plus faible dans ce milieu cultivé (6,45 % à Lamto et 7,09 % à Booro-Borotou). Les termites xylophages ont été également rencontrés sur les racines de maïs à Lamto (1,61 % pour *Amiatermes* et 6,45 % pour *Microcerotermes*). De même, *Cubitermes* (humivore) et *Trinervitermes* (fourrageur) ont été récoltés à Booro-Borotou (à des taux respectifs de 2,12 %).

Tableau 3 : Taux de présence des termites au niveau des racines de maïs en fonction des traitements insecticides à Lamto (a) et à Booro-Borotou (b).

Présence rate of termites at maize roots level as a function of insecticides treatments at Lamto (a) and Booro-Borotou (b).

a) Lamto

Groupes de termites	Taux de présence des termites en fonction des traitements insecticides				
	TEM	PRO	REG A	REG B	REG C
<i>Microtermes spp.</i>	70,96	74,24	50,00	0,00	54,54
<i>Ancistrotermes spp.</i>	4,80	3,03	10,00	0,00	4,54
<i>Pseudacanthotermes spp.</i>	6,45	0,00	20,00	0,00	0,00
<i>Microcerotermes spp.</i>	6,45	10,61	0,00	0,00	18,18
<i>Amitermes spp.</i>	1,61	6,06	0,00	0,00	4,54
Apicotermittinae	6,45	6,06	20,00	0,00	18,18

b) Booro-Borotou

Groupes de termites	Taux de présence des termites en fonction des traitements insecticides				
	TEM	PRO	REG A	REG B	REG C
<i>Microtermes spp.</i>	60,28	68,29	36,50	35,71	34,37
<i>Ancistrotermes spp.</i>	18,43	15,60	31,74	28,57	15,62
<i>Pseudacanthotermes spp.</i>	8,51	5,85	9,52	21,42	18,75
Apicotermittinae	7,09	10,24	7,93	14,28	31,25
<i>Procubitermes spp.</i>	1,41	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Cubitermes spp.</i>	2,12	0,00	7,93	0,00	0,00
<i>Trinervitermes spp.</i>	2,12	0,00	6,34	0,00	0,00

TEM = tension ;
REG B = Régent A ;

PRO = prosibam 480 ;
REG C = Régent C.

REGA = Régent A ;

EFFICACITE DES TRAITEMENTS INSECTICIDES SUR LES POPULATIONS DE TERMITES

L'efficacité comparée des traitements insecticides a été appréciée par les taux de présence des termites au niveau des racines et du collet des plants examinés en distinguant les genres de termites déprédateurs (*Microtermes* ; *Ancistrotermes*, *Pseudacanthotermes*, *Microcerotermes*, *Amitermes*, *Trinervitermes*), des termites non nuisibles (Apicotermiteae, *Promirotermes*, *Pericapritermes*, *Cubitermes*). Dans les parcelles de riz à Lamto le taux de présence montre des différences non significatives ($P > 0,05$) aussi bien pour les termites en général que pour les termites déprédateurs en particulier selon les traitements (figure 1). Toutefois, dans les parcelles traitées aux insecticides, le taux de présence des termites reste inférieur à celui des parcelles non traitées. Les valeurs pour l'ensemble des termites sont comprises entre 0,33 % (Procibam et Régent A) et 2,33 % (Régent B et Régent C). Par contre, à Booro-Borotou, les parcelles traitées ont donné un taux de présence plus faible. Le Procibam a alors montré une plus grande inefficacité vis-à-vis des termites du milieu. Le traitement au Régent B a été plus efficace sur les termites déprédateurs (0,33 % de présence) que les autres formes de traitements.

Sous culture de maïs (figure 2), les taux de présence de termites dans les parcelles ont donné des différences hautement significatives ($P < 0,01$) selon les traitements. Le traitement au Procibam a été complètement inefficace car les taux de présence des termites n'ont pas été différents par rapport aux parcelles non traitées (respectivement 10,5 % et 10,3 % à Lamto et 33,1 % et 32,6 % à Booro-Borotou). En revanche, les traitements au Régent limitent fortement la

présence des termites au niveau des racines de maïs. Le plus faible taux de présence a été obtenu avec le Régent B (0 % à Lamto et 2,3 % à Booro-Borotou).

DISCUSSION

Les termites constituent l'essentiel du peuplement de la macrofaune du sol sous culture de riz et de maïs. Les travaux de Abé et Watanabe (1983), Kouassi (1991) et Tondoh (1992) ont montré la place importante qu'ils occupent dans ces milieux, mais le peuplement y est inférieur à celui de la savane environnante où ils sont attirés par les débris végétaux issus de la végétation graminéenne. La réserve de Lamto, située en savane guinéenne, présente un peuplement de faune du sol caractéristique d'une savane sèche avec beaucoup de termites champignonnistes et très peu de vers de terre. Le bassin versant de Booro-Borotou situé en savane soudanienne a un peuplement inverse de celui de Lamto, du fait des différences dans la pluviométrie au niveau de ces deux sites. La culture de maïs stimule la recolonisation des sols par les termites (Wood *et al.*, 1980, Tondoh, 1992). Il en est de même pour d'autres plantes cultivées telles que la canne à sucre (Mora, 1990). La biomasse des vers de terre s'est avérée plus importante dans les parcelles de Booro-Borotou. Ceci rejoint les observations de Josens (1983) et de Watanabe *et al.*, (1984).

Les attaques de termites dans les rizières ont été superficielles. Elles sont observées au niveau des racines et des tiges. Elles sont similaires à celles notées par Lee et Wood (1971), Wood *et al.*, (1980). Les dégâts sont généralement d'autant plus importants que la plante souffre de la sécheresse et du défaut de fertilité (Betbeder, 1989). Le mode d'attaque par les termites sur les plants de maïs est similaire aux observations de Wood *et al.*, (1980), Cowie et Wood (1989) et

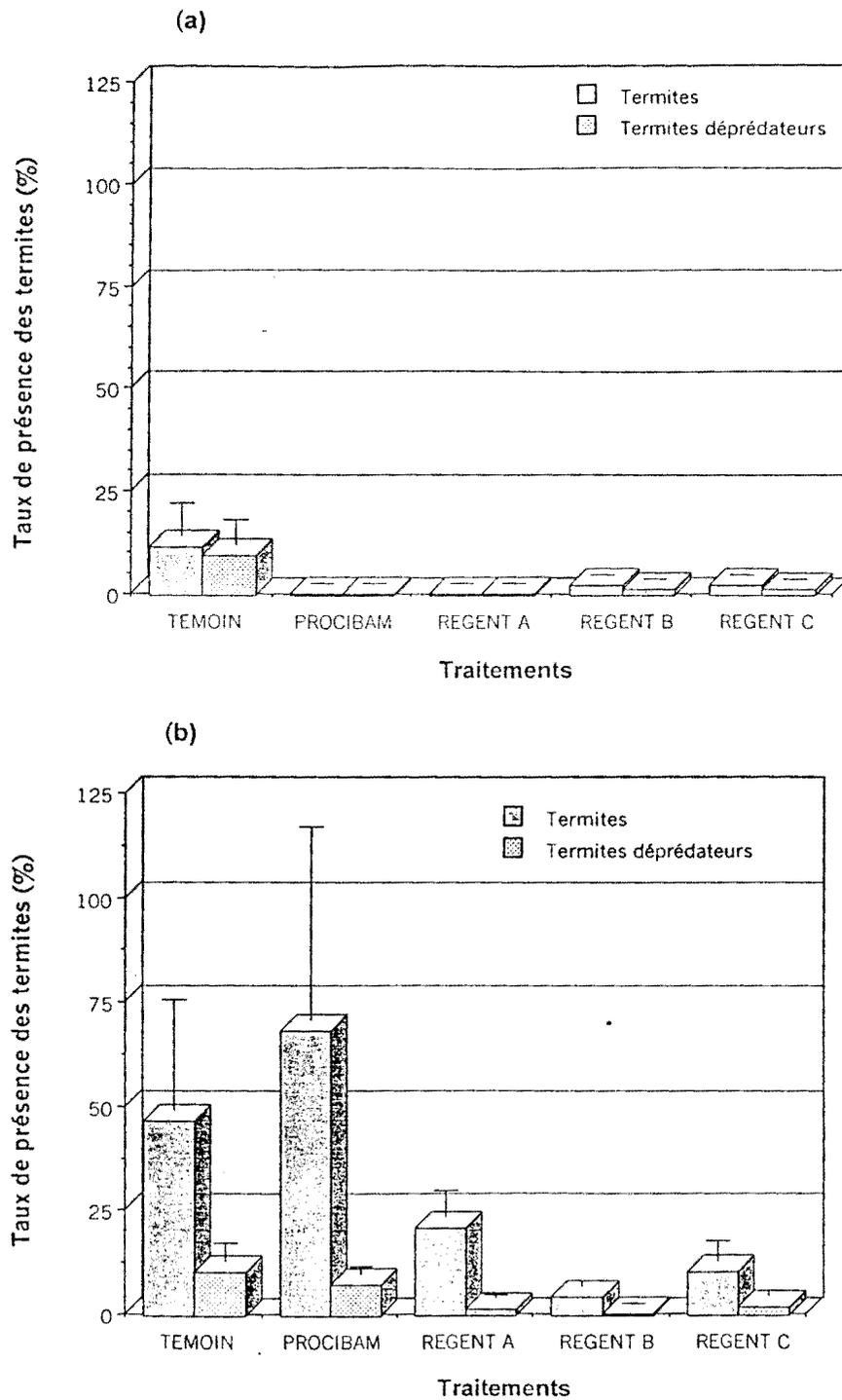


Figure 1 : Efficacité des traitements chimiques insecticides sur les populations de termites dans les parcelles de riz à Lamto (a) et Booro-Borotou (b).

Insecticide treatments efficiency on termite populations in rice plots at Lamto (a) and Booro-Borotou (b).

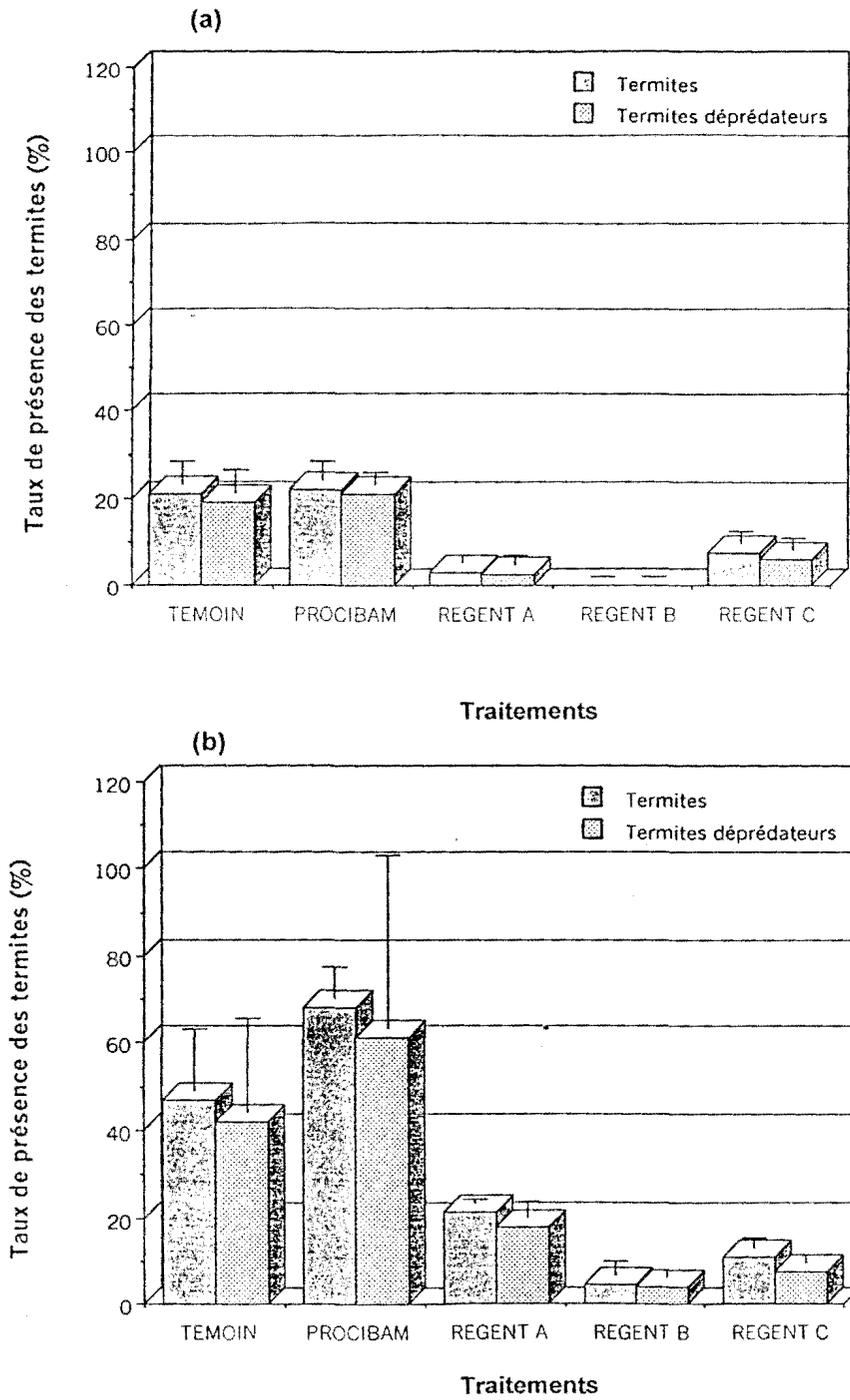


Figure 2 : Efficacité des traitements chimiques insecticides sur les populations de termites dans les parcelles de maïs à Lamto (a) et Booro-Borotou (b).
 Insecticide treatments efficiency on termite populations in maize plots at Lamto (a) and Booro-Borotou (b).

Cissé (1991). Cette attaque peut se réaliser à l'extérieur, sur les tiges, par la formation de galeries tunnels.

Les dégâts, évalués par la présence des termites déprédateurs au niveau des racines des plantes, semblent avoir été importants. Cependant, il a été possible de noter une importante population de termites champignonnistes comme l'ont constaté Wood *et al.*, (1980), Cowie et Wood (1989), Malaret et Ngoru (1989), Tondoh (1992). Le genre *Microtermes* a été considéré comme le plus grand ravageurs de culture de maïs (Wood *et al.*, 1977, 1980) et de canne à sucre (Mora, 1990). Ce termite se manifeste rarement au-dessus du sol et consomme les organes souterrains de la plante. Par contre, les autres termites champignonnistes peuvent avoir un régime alimentaire variable (feuilles, bois, litière).

Les traitements chimiques ont réduit les taux de présence des termites au niveau des racines des plantes. Le Régent, sous toutes ses formes, a été efficace à la fois pour la protection du riz et du maïs. Mais le traitement qui a donné les effets les plus importants est celui réalisé par pulvérisation au sol (Régent B). L'efficacité des insecticides dépend des espèces cibles, du type de culture, de la période d'application et de la formulation du produit (Appert et Deuse, 1982 ; Mora, 1990). L'efficacité des produits chimiques dans la lutte contre les termites a été révélée par Sands (1973), Wood *et al.*, (1987), Mora (1990) et Cissé (1991). Des insecticides chimiques de nature diverse ont déjà été utilisés (organochlorés, organophosphorés, et autres molécules) avec des traitements par épandage sur le sol ou sur des termitières vivantes. Le Régent B s'est avéré plus efficace que le Procibam 480, avec le même mode d'application. La plus grande efficacité de Régent B résiderait dans son pouvoir d'attaque ou de répulsion des termites. L'efficacité du traitement des semences par le Régent A

dépend de la rémanence du produit dans le milieu pour empêcher les attaques de cultures par les termites. Pour le traitement des plantes en croissance, il dépend de la possibilité d'infiltration du produit dans le sol à partir de la surface.

CONCLUSION

Le peuplement de la faune du sol a montré une nette abondance des termites dans les milieux de cultures de riz et de maïs en zone de savane. Cette étude a aussi permis d'inventorier les termites déprédateurs de ces cultures vivrières. Ces populations de termites déprédateurs sont composées en majorité d'espèces champignonnistes où le genre *Microtermes* apparaît comme le plus nuisible. Son taux de présence au niveau des racines des plantes est plus important que celui des autres genres.

Concernant les dégâts sur les cultures, ceux-ci se sont révélés plus importants sur le maïs que sur le riz. Cela pourrait être dû au système racinaire plus important des plants de maïs, les rendant plus attractifs aux attaques de termites.

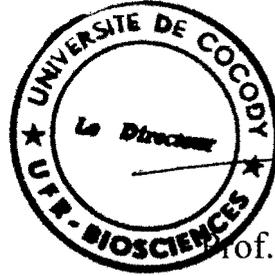
Des méthodes de lutte chimique ont été testées en vue de combattre les termites déprédateurs. Les traitements au Régent se sont avérés particulièrement plus efficaces ; notamment lorsque le Régent est utilisé en pulvérisation sur le sol et en traitement de semences. Cela peut être dû aux doses employées de ces insecticides. Pour les traitements peu ou non efficaces, il serait possible de revoir leur emploi notamment le mode, la période et la dose d'application du produit en vue d'une utilisation rationnelle permettant d'éviter des pertes économiques plus importantes liées aux denrées alimentaires et aux récoltes.

REFERENCES

- ABE (T.) & (H.) WATANABE. 1983. Soil macrofauna in subtropical rainforest and its adjacent cassava in Okinawa with special reference to the activity of termites. *Physiol. Ecol Japan*, 20: 101-114.
- ANONYME, 1992. Projet de relance de la production rizicole. Constitution d'une S.E.M. Dossier de factibilité. DCGTX. 350 p.
- APPERT (J.) & (J.) DEUSE. 1982. Insectes nuisibles des cultures vivrières et maraîchères. Le technicien d'agriculture tropicale. Edition Maisonneuve et Larose. Paris. 267 p.
- BETBEDER (M.). 1989. Insectes nuisibles aux cultures vivrières d'Afrique, de Madagascar et de Mascareignes. CIRAT, Paris, 119 p.
- BOUILLON (A.) & (G.) MATHOT. 1965. Quel est ce termite Africain ? *Zool n° 1 suppl.* 1-23.
- BRENIÈRE (J.) 1983. Les ravageurs du riz en Afrique de l'Ouest. CIRAD-IRAT. 87 p.
- CISSÉ (M.). 1991. Contribution à l'étude de l'entomofaune du maïs (*Zea mays*) et lutte contre les termites. DEA, Univ. Abidjan, 67 p.
- COLLINS (N.M.). 1984. Termites damage and crop loss studies in Nigeria. Assessment of damage to upland sugarcane. *Tropical pest management*, 30 (1): 26-28.
- COWIE (R.H.) & (T. G.) WOOD. 1989. Damage to crops, forestry and rangeland by fungus-growing termites (Termitidae: Macrotermitinae) in Ethiopia. *Sociobiology*, 15 (2) : 139-153.
- DELMAS (J.). 1967. Recherches écologiques de la savane de Lamto (Côte d'Ivoire) : Premier aperçu sur les sols et leur valeur agronomique. *La Terre et la Vie*, 21 (3) : 216-227.
- FOUA-BI (K.). 1989. L'entomofaune des rizières de la région de Taï (sud-ouest forestier de la Côte-d'Ivoire). In: Le rôle de la biologie dans la solution de la crise alimentaire en Afrique. II. Actes. Symp. intern. Yamoussoukro, Côte-d'Ivoire. ABN-UNESCO-BREDA, Dakar, 257-267.
- FRITSH (E.) & (O.) PLANCHON. 1987. Bassin versant de Booro-Borotou. Carte des sols à 1/2500. ORSTOM, Adiopodoumé.
- JOSENS (G.). 1983. The soil in tropical savanna. III. The termites. In: Tropical savannas. Bourlière, F.(Ed.) Amsterdam, Elsevier, 505-524.
- KOUASSI (P.). 1991. Etude de la macrofaune endogée des savanes de Côte-d'Ivoire : Lamto, Booro-Borotou, Ferkessedougou. Projet PNUD/UNESCO N° IVC/87/007. Productivité des savanes de Côte-d'Ivoire. Fast. 10p.
- LEE (K.E.) & (T. G.) WOOD. 1971. Termites and soils. Academic press, London. 251 p.
- MALARET (L.) & (N.) NGORU. 1989. Ethnology: A tool for community based pest mangement. Farmer knowledge of termites in Machakos district, Kenya. *Sociobiology*, 15 (2) : 197-211.
- MORA (P.). 1990. Etude des dommages causés par un termite champignoniste dans les champs de canne à sucre de la SOGESCA (République Centrafricaine) : Essais de lutte fongicide. Rapport de mission 11/IV-14/VI. 33 p.
- MOYAL (P.). 1988. Les foreurs du maïs en zone de savanes en Côte d'Ivoire. Données morphologiques, biologiques et écologiques. Essai de lutte et relation plantes-insectes. Ed. ORSTOM, Etudes et Thèses, Paris. 317 p.
- POLLET (A.). 1975. Les ravageurs du riz en Côte d'Ivoire. Faune rencontrée sur un riz irrigué en Côte-d'Ivoire centrale (Kotiessou) ; Critères pratiques de reconnaissance des insectes les plus dangereux. ORSTOM, Adiopodoumé. 39 p.
- RIOU (G.). 1974. Les sols de Lamto (Côte d'Ivoire). In: Analyse d'un écosystème tropical humide : La savane de Lamto (Côte d'Ivoire). I. Les facteurs physiques du milieu. Bulletin de liaison des chercheurs de Lamto : 3-45.
- SANDS (W.A.). 1973. Termites as tree and crop pests. *Pans (Pest artic.news summ.)*, 19 : 167-177.
- TONDOH (E.J.). 1992. Influence de la mise en culture sur le peuplement de la macrofaune du sol en moyenne Côte-d'Ivoire. DEA, Univ. Abidjan. 66 p.

- WATANABE (H.), (H.) TAKEDA & (S.) RUAYSOGNERN 1984. Termites of northern Thailand with special composition due to shifting cultivation. *Mem. Coll. Agr., Kyoto University*, 125 : 45-57.
- WOOD (T.G.), (M.), (M.) BEDNARZIK & (H.) ADEN 1987. Damage to crop by *Microtermes najdensis* (Isopteratermitinae) in irrigated semi-desert areas of the red sea coast. 1- The Tihama region of the Yemen arab republic. *Trop. Soil Manag.*, 33 (2) : 142-150.
- WOOD (T. G.), (R.A) JOHNSON.& (C. E.) OHIAGU 1980. Termite damage and estimation of damage, loss in yield and termite (*Microtermes*) abundance at Mokwa. *Tropical pest management*, 26 : 241-253.

Vu et approuvé
Abidjan, le 27 Octobre 2004
Le Directeur de l'UFR Biosciences



Prof. N'DOUBA Valentin

Vu et permis d'imprimer
Abidjan, le 27 Octobre 2004
Le Président de l'Université de Cocody



Prof. TEA Gokou