

UNIVERSITE D'ANTANANARIVO
ECOLE SUPERIEURE DES SCIENCES AGRONOMIQUES
Département AGRICULTURE



EVOLUTION DE LA FAUNE ET DES
DEGÂTS AUX CULTURES
EN FONCTION
DU MODE DE GESTION DES SOLS

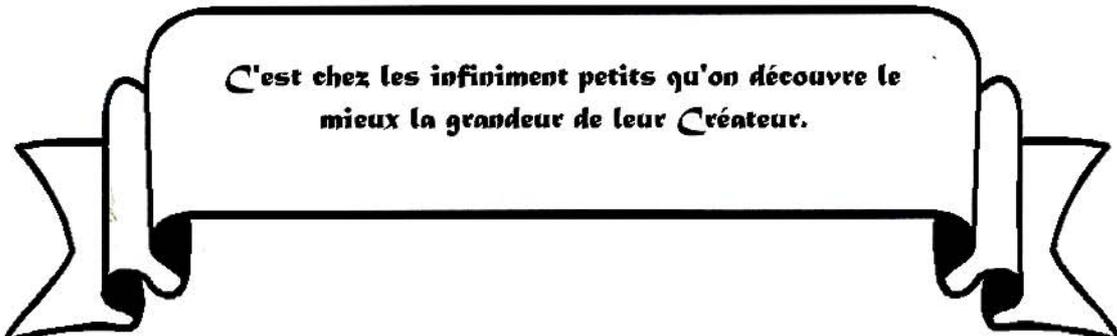
Mémoire d'ingénieur en agronomie
Spécialisation AGRICULTURE



Présenté par:

RAMANANTSIALONINA Haja Mamitiana

PROMOTION ANDRY
1994-1998



**C'est chez les infiniment petits qu'on découvre le
mieux la grandeur de leur Créateur.**

*A ma regrettée Mère,
A mon Père,
A mes Frères et Soeurs,
A ma compagne Landy,
A tous mes amis et amies de l'ESSA.*



REMERCIEMENTS

Si nous avons pu réaliser ce travail c'est grâce à Dieu qui nous a entouré de gens aimables et généreux à qui nous adressons ici nos vifs et sincères remerciements pour leur collaboration.

Nous exprimons particulièrement notre reconnaissance à:

- Monsieur René RABEZANDRMA, Docteur-ingénieur, Chef de Département Agriculture à l'ESSA pour ses directives et son dévouement tout au long de notre formation et qui nous a fait l'honneur de présider le jury de ce mémoire.*
- Monsieur Roger MICHELLON, Ingénieur de Recherche du CIRAD-CA de Madagascar, notre encadreur, qui a dirigé ce travail avec rigueur et sans qui la partie terrain n'aurait pu être effectuée.*
- Madame Lilia RABEHARISOA, Maître de Conférence, Enseignante à l'ESSA pour avoir accepté de corriger ce travail et d'être notre co-tuteur.*

Nous remercions également M. Richard RANDRIAMANANTSOA, Entomologiste du FOFOFA-Antsirabe pour ses conseils afin de mener à bien la partie terrain.

Nos remerciements s'adressent aussi à:

~ tous les Professeurs et Enseignants à l'ESSA pour les conseils et les enseignements qu'ils nous ont dispensés pendant notre formation.

~ tous les Responsables et personnels de l'ONG TATA, du CIRAD et du FOFOFA qui de près ou de loin nous ont aidé à l'élaboration de ce mémoire.

Haja M. R.

SOMMAIRE

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

LISTE DES SCHEMAS

LISTE DES CARTES

LISTE DES ANNEXES

RESUME

INTRODUCTION	1
PARTIE I: LES MODES DE GESTION DES SOLS	3
A- CULTURES AVEC LABOUR	4
1. <u>LES PRINCIPAUX ROLES DU LABOUR</u>	4
2. <u>LES INCONVENIENTS</u>	4
3. <u>TENDANCE ACTUELLE</u>	4
B- LE SEMIS DIRECT	5
1. <u>HISTORIQUE</u>	5
2. <u>LE PRINCIPE DE BASE DU SEMIS DIRECT</u>	6
21. <i>Semis direct sur résidus</i>	6
211. Des plantes productrices de biomasse	8
212. Des plantes aux multiples fonctions	8
213. L'installation des différentes cultures	10
22. <i>Semis direct sur couverture vive</i>	10
3. <u>LES AVANTAGES DU SEMIS DIRECT</u>	10
31. <i>Préservation du principal facteur de production: le sol</i>	10
32. <i>Optimisation du temps, de l'usage des intrants, de l'énergie</i>	11
33. <i>Restauration et maintien de la fertilité des sols</i>	11
34. <i>Maîtrise des adventices et des insectes nuisibles</i>	11
35. <i>Productions moyennes élevées et plus stables</i>	12
4. <u>LIMITES ET CONTRAINTES DU SEMIS DIRECT</u>	12
C- LES EFFETS DU MODE DE GESTION DU SOL SUR LES PROPRIETES BIOLOGIQUES, PHYSICO-CHIMIQUES ET HYDRODYNAMIQUES DU MILIEU	13
1. <u>Influences du labour</u>	13
11. <i>Dégradation des propriétés biologiques</i>	13
12. <i>Effets sur les caractéristiques chimiques</i>	13
13. <u>IMPACTS SUR LES PROPRIETES PHYSIQUES</u>	13

2. INFLUENCES DU SEMIS DIRECT	13
21. <i>Evolution des propriétés physiques</i>	13
22. <i>Restauration de la fertilité chimique du sol</i>	14
23. <i>Amélioration des propriétés biologiques</i>	14
231. Profils structuraux et racinaires	14
232. Evolution de la faune	14
CONCLUSIONS PARTIELLES	15
PARTIE II: LA MACROFAUNE DU SOL	16
A- CLASSIFICATION	17
B- ETUDES QUALITATIVES ET QUANTITATIVES	17
1. <u>COMPOSITION ET DISTRIBUTION DE LA MACROFAUNE</u>	17
2. <u>LA BIOMASSE</u>	18
C- DESCRIPTION ET ACTIVITES DE LA MACROFAUNE DES SOLS	18
1. <u>LES VERS DE TERRE</u>	18
2. <u>LES COLEOPTERES</u>	19
3. <u>LES MYRIAPODES</u>	21
4. <u>LES FOURMIS</u>	21
5. <u>LES LARVES DE DIPTERES</u>	21
6. <u>LES LARVES DE LEPIDOPTERES</u>	21
7. <u>LES ISOPODES</u>	21
8. <u>LES DERMAPTERES</u>	21
D- EFFETS DES PRATIQUES AGRICOLES SUR LA FAUNE DU SOL	22
1. <u>LE FEU</u>	22
2. <u>L'INSTALLATION DE COUVERTURE</u>	22
3. <u>LA MISE EN CULTURE DU SOL</u>	22
4. <u>LES ENGRAIS ET FERTILISANTS</u>	23
5. <u>LES PESTICIDES</u>	23
CONCLUSIONS PARTIELLES	24
PARTIE III: EXPERIMENTATION	25
A- OBJECTIFS	26
B- LA PLANTE OBJET DE L'EXPERIMENTATION: LE SOJA	26
1. <u>IMPORTANCE MONDIALE</u>	26

2. <u>ECOLOGIE</u> -----	27
C- PRESENTATION DES SITES D'EXPERIMENTATION -----	27
1. <u>LOCALISATION GEOGRAPHIQUE</u> -----	27
2. <u>CLIMAT</u> -----	27
3. <u>LES SOLS</u> -----	28
31. <i>Types</i> -----	28
32. <i>Caractéristiques analytiques</i> -----	28
321. Sols ferrallitiques-----	28
322. Sols volcaniques-----	30
33. <i>Cultures et productions agricoles</i> -----	30
331. Sols ferrallitiques-----	30
332. Zone volcanique-----	31
D- METHODOLOGIE -----	31
1. <u>PARCELLES EXPERIMENTALES</u> -----	31
2. <u>CONDITIONS DE REALISATION DES ESSAIS</u> -----	31
21. <i>Le semis</i> -----	31
211. la dose-----	31
212. le traitement des semences-----	31
22. <i>L'inoculation</i> -----	35
23. <i>La fumure</i> -----	35
24. <i>Les entretiens</i> -----	36
241. la réinoculation-----	36
242. le désherbage-----	36
3. <u>ECHANTILLONNAGE DE LA MACROFAUNE DU SOL</u> -----	36
31. <i>Les groupes étudiés</i> -----	36
32. <i>Matériels et méthodes</i> -----	37
321. Matériels-----	37
322. Méthodologie-----	37
4. <u>PROFILS PEDOLOGIQUES ET RACINAIRES</u> -----	37
5. <u>LES DEGATS AUX CULTURES</u> -----	39
6. <u>ANALYSES CHIMIQUES DU SOL</u> -----	39
PARTIE IV: RESULTATS ET INTERPRETATIONS -----	40
A- LA MACROFAUNE DES SOLS -----	41
1. <u>EVOLUTION DE LA MACROFAUNE</u> -----	41
1.1 <i>Principaux groupes représentés</i> -----	41
1.11 En labour-----	41

1.12 En semis direct-----	41
<i>1.2 Evolution de la densité-----</i>	<i>41</i>
1.21 Les larves de coléoptères-----	41
1.22 Les vers de terre-----	45
1.23 Les myriapodes-----	47
1.24 Les dermaptères-----	47
1.25 Les coléoptères adultes-----	47
1.26 Les isopodes-----	50
1.27 Les groupes restants-----	50
1.28 Densité moyenne totale-----	50
<i>1.3 Répartition verticale de la macrofaune-----</i>	<i>50</i>
1.31 Les larves de coléoptères-----	50
1.32 Les vers de terre-----	50
1.33 Les myriapodes-----	52
1.34 Les dermaptères-----	52
1.35 Les isopodes-----	52
1.36 Les fourmis-----	52
1.37 Les coléoptères adultes-----	52
1.38 Le groupe "autre"-----	52
<i>1.4 Evolution de la biomasse-----</i>	<i>52</i>
1.41 Les larves de coléoptères-----	52
1.42 Les vers de terre-----	52
1.43 Les groupes restants-----	55
1.44 Biomasse moyenne totale de la macrofaune du sol-----	55
<i>1.5 Conclusions-----</i>	<i>55</i>
<u>2. EFFETS DES TRAITEMENTS INSECTICIDES SUR LA MACROFAUNE DU SOL-----</u>	<u>57</u>
2.1 Efficacité dans la lutte contre les vers blancs-----	57
2.2 Influences sur les vers de terre-----	60
2.3 Influences sur les myriapodes-----	62
2.4 Influences sur les coléoptères adultes-----	63
2.5 Conclusions-----	65
B- LES PROFILS CULTURAUX-----	66
<u>1. INFLUENCES DU MODE DE GESTION DES SOLS-----</u>	<u>66</u>
1.1 Sols ferrallitiques-----	66
1.11 En labour-----	66
1.12 En semis direct-----	66
1.2 Sols volcaniques-----	68
1.21 En labour-----	68
1.22 En semis direct-----	68

<u>2. EFFETS DES TRAITEMENTS SUR LA NODULATION</u> -----	70
<u>3. RESULTATS DES ANALYSES CHIMIQUES DE SOLS (TABLEAU 23)</u> -----	72
3.1. <i>Matière organique et azote</i> -----	72
3.11 <i>Ibity</i> -----	72
3.12 <i>Betafo</i> -----	72
3.2. <i>pH</i> -----	74
3.3. <i>Bases échangeables</i> -----	74
3.4. <i>Phosphore</i> -----	74
C- LES DEGÂTS AUX CULTURES -----	74
1. <u>EFFETS DU TRAITEMENT</u> -----	74
2. <u>INFLUENCES DU MODE DE GESTION DES SOLS</u> -----	74
3. <u>LES MALADIES ET AUTRES DEGATS OBSERVES</u> -----	76
D- LES RENDEMENTS -----	76
1. <u>INFLUENCES DU TRAITEMENT</u> -----	76
1.1 <i>Site Ibity</i> -----	76
1.2 <i>Site Betafo</i> -----	79
2. <u>INFLUENCES DU MODE DE GESTION DES SOLS</u> -----	81
2.1 <i>Site Ibity</i> -----	81
2.2 <i>Site Betafo</i> -----	81
3. <u>CONCLUSIONS</u> -----	82
PARTIE V: ETUDE DE RENTABILITE ECONOMIQUE -----	83
A- LES PARAMETRES AGRO-ECONOMIQUES -----	84
B- INFLUENCES DU SEMIS DIRECT SUR LES PARAMETRES AGRO-ECONOMIQUES 87	
1. <u>TEMPS DE TRAVAUX</u> -----	87
2. <u>VALORISATION DE LA JOURNEE DE TRAVAIL</u> -----	87
2.1. <i>Site IBITY</i> -----	87
2.2. SITE BETAFO -----	87
C- EFFETS DES INSECTICIDES SUR LES PARAMETRES AGRO-ECONOMIQUES -----	87
CONCLUSION GENERALE -----	89

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXES

LISTE DES TABLEAUX

	Page	
Tableau 1	Les superficies cultivées en semis direct dans le monde (1998)	5
Tableau 2	Composition minérale de la paille de diverses grandes cultures	7
Tableau 3	Comparaison des temps de travaux en labour et en semis direct	11
Tableau 4	La productivité des différentes cultures en labour et en semis direct	12
Tableau 5	La faune du sol classée selon la taille des organismes	17
Tableau 6	Modification de la composition minérale du sol par les vers de terre	19
Tableau 7	Les données climatiques par zones	27
Tableau 8	Les conditions de réalisation des essais	33
Tableau 9	Analyse de la variance des densités des vers blancs dans les 4 grandes parcelles	41
Tableau 10	Les densités des principaux groupes de macrofaunes	42
Tableau 11	Les biomasses des principaux groupes de macrofaunes	42
Tableau 12	Analyse de la variance des densités des vers de terre dans les 4 grandes parcelles	45
Tableau 13	Test de Newman-Keuls et les groupes homogènes	45
Tableau 14	Effets des traitements sur la densité des vers blancs	59
Tableau 15	Analyse multilocale de la variance des densités des vers blancs	59
Tableau 16	Test de Newman-Keuls et les groupes homogènes	60
Tableau 17	Effets des traitements sur la densité des vers de terre	60
Tableau 18	Analyse multilocale de la variance des densités des vers de terre	62
Tableau 19	Test de Newman-Keuls et les groupes homogènes	62
Tableau 20	Effets des traitements sur la densité des myriapodes	63
Tableau 21	Analyse de la variance des biomasses nodulaires	70
Tableau 22	Les groupes homogènes des biomasses nodulaires	71
Tableau 23	Résultats des analyses chimiques des sols	73
Tableau 24	Analyse de la variance des densités des plantes à Ibity	79
Tableau 25	Analyse de la variance des rendements en graines à Betafo	81
Tableau 26	Paramètres d'évaluation agro-économiques	84
Tableau 27	Evaluation des paramètres agro-économiques à Ibity	85
Tableau 28	Evaluation des paramètres agro-économiques à Betafo	86
Tableau 29	Comparaison des temps de travaux pour la culture de soja en labour et en semis direct	87

LISTE DES FIGURES

	Page	
Figure 1	Composition en densité de la macrofaune	43
Figure 2	Evolution de la densité des vers blancs en labour et en semis direct	44
Figure 3	Evolution de la densité des vers de terre en labour et en semis direct	46
Figure 4	Evolution de la densité des myriapodes en labour et en semis direct	48
Figure 5	Evolution de la densité des dermaptères en labour et en semis direct	48
Figure 6	Evolution de la densité des coléoptères adultes en labour et en semis d.	48a
Figure 7	Densité moyenne totale de la macrofaune	49
Figure 8	Repartition verticale de la macrofaune	51
Figure 9	Composition en biomasse de la macrofaune	53
Figure 10	Biomasse moyenne totale de la macrofaune	54
Figure 11	Evolution de la biomasse des vers de terre	54a
Figure 11a	Evolution de la biomasse des vers blancs	54b
Figure 12	Effets des traitements insecticides sur la densité des vers blancs	58
Figure 13	Effets des traitements insecticides sur la densité des vers de terre	61
Figure 14	Effets des traitements insecticides sur la densité des myriapodes	64
Figure 15	Nombre de pieds manquants au 30ème jour après semis à Ibity	75
Figure 16	Nombre de pieds manquants au 30ème jour après semis à Betafo	75
Figure 17	Densité des plantes à Ibity	77
Figure 18	Nombre de gousses par plante à Ibity	77
Figure 19	Densité des plantes à Betafo	77
Figure 20	Nombre de gousses par plante à Betafo	77
Figure 21	Rendement en graines à Ibity	78
Figure 22	Rendement en graines à Betafo	78
Figure 23	Densité des plantes en fonction du mode de gestion des sols	80
Figure 24	Nombre de gousses par plantes en fonction du mode de gestion des sols	80
Figure 25	Rendement en graines en fonction du mode de gestion des sols	80

LISTE DES SCHEMAS

	Page
Schéma 1 Le système mainteneur de fertilité	9
Schéma 2 Les principaux représentants de la macrofaune des sols	20
Schéma 3 Les dispositifs expérimentaux	34
Schéma 4 La méthode d'échantillonnage T.S.B.F.	38
Schéma 5 Les profils culturaux en sols ferrallitiques	67
Schéma 6 Les profils culturaux en sols volcaniques	69

LISTE DES CARTES

	Page
Carte 1 Localisation géographique des sites d'essais	29

LISTE DES ANNEXES

Annexe I Les espèces utilisées comme couverture vivante	
Annexe II Les caractéristiques des matières actives	
Annexe III Résultats sur les essais d'écobuage	
Annexe IV Fiche de comptage	
Annexe V Tableaux des analyses factorielles de la variance des densités des vers blancs	
Annexe VI Tableaux des analyses factorielles de la variance des densités des vers de terre	
Annexe VII Tableaux des analyses factorielles de la variance des densités des myriapodes	
Annexe VIII Tableaux des analyses factorielles de la variance des densités des coléoptères	
Annexe IX Tableaux des analyses de la variance des pourcentages des nodules actives	
Annexe X Effets des fongicides seuls sur les rendements	

RESUME

Dans la région du Vakinankaratra, les larves (vers blancs) et les adultes des coléoptères de la sous-famille des *Dynastinae* et des *Melolonthinae* causent des dégâts importants sur les cultures pluviales. L'enrobage des semences par des insecticides constitue le moyen de lutte le plus efficace.

Parallèlement à l'étude de l'efficacité de 3 insecticides de traitement de semences (imidaclopride, carbosulfan et fipronil) sur soja dans la lutte contre ces ravageurs terricoles, leur impact sur la faune secondaire est également considéré.

Les essais ont été menés à la fois en labour et en semis direct sur couverture morte afin d'évaluer les effets du mode de gestion des sols sur l'évolution de la macrofaune et sur la culture de soja.

Les sols en semis direct sur résidus sont nettement plus riches en macrofaunes, en particulier en vers de terre que ce soit en densité ou en biomasse. Par contre, la densité des vers blancs reste la même avec les deux modes de gestion des sols.

Parmi les insecticides testés, l'imidaclopride et le fipronil offrent la meilleure efficacité dans la protection des plantes contre les vers blancs: les dégâts sont faibles sur les parcelles traitées avec ces insecticides. Toutefois, le fipronil a le désavantage de diminuer la densité des vers de terre et la biomasse nodulaire du soja ce qui affecte le rendement.

Du point de vue rentabilité économique, la culture de soja est plus performante en semis direct sur résidus comparé à celle en labour. Le traitement des semences par l'imidaclopride ou le carbosulfan valorise encore mieux cette culture.

Mots-clés: macrofaune, vers blancs, vers de terre, semis direct, soja, traitement de semences, insecticides, environnement, sols ferrallitiques, sols volcaniques, Vakinankaratra.

INTRODUCTION

Actuellement et surtout dans les prochaines années à venir, la croissance démographique et la saturation des bas-fonds obligent les agriculteurs à se tourner de plus en plus vers la mise en valeur des "tanety" (collines) à sols fragiles et peu fertiles.

Pour augmenter la productivité et améliorer la fertilité de ces terres, l'ONG TAFE (Terre et Développement) avec l'appui technique du CIRAD (Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement) met au point des systèmes de culture basés sur le semis direct avec couverture permanente des sols. Les activités biologiques substituent le travail du sol par l'action de paillage ou de certaines plantes de couvertures annuelles ou pérennes et de successions culturales bien définies.

Dans la région du VAKINANKARATRA, en dehors de la fragilité et de la faible fertilité de ces "tanety", les dégâts des insectes terricoles phytophages constituent aussi un problème majeur en agriculture. En effet, les larves de coléoptères de la sous-famille des *Dynastinae* et des *Melolonthinae*, dénommées "vers blancs", provoquent des dégâts particulièrement importants sur les cultures pluviales.

L'enrobage des semences par des insecticides constitue le moyen de lutte le plus efficace et moins coûteux. Mais compte tenu de l'effet toxique des produits chimiques tant sur l'environnement que sur la santé humaine, une vérification au préalable de la bonne adéquation des nouvelles molécules à la faune locale apparaît nécessaire.

A cet effet, des essais de traitement de semences sont réalisés sur soja, dans des sites d'expérimentation de TAFE, avec la collaboration du CIRAD et du FOFIFA (Centre National de la Recherche appliquée au Développement Rural), dans l'objectif de tester l'efficacité de 3 insecticides (imidaclopride, carbosulfan et fipronil) pour lutter contre les vers blancs et d'étudier leurs impacts éventuels sur la faune secondaire. Les essais sont conduits à la fois en labour et en semis direct afin d'évaluer les effets du mode de gestion des sols sur l'évolution de la macrofaune et sur la culture de soja.

L'installation et le suivi des essais à IBITY et à BETAFO constituent l'objet du stage que nous avons effectué du décembre 1998 au juin 1999 afin de préparer notre mémoire de fin d'études ainsi intitulé:

"Evolution de la faune et des dégâts aux cultures en fonction du mode de gestion des sols"

Ce rapport se divise en 5 parties:

La première et la deuxième, consacrées aux études bibliographiques, traitent respectivement les différents modes de gestion des sols et la macrofaune.

Avant d'entamer la partie IV qui parlera des résultats obtenus et des interprétations, la troisième partie expliquera les méthodologies et les conditions de réalisation de l'expérimentation.

Enfin dans la dernière partie, la performance de la culture de soja en semis direct et les effets des insecticides de traitement de semences sur les paramètres agro-économiques seront étudiés successivement.

PARTIE I: LES MODES DE GESTION
DES SOLS

Les différents modes de gestion des sols se distinguent en particulier par la pratique ou non du labour. Parmi les préparations du sol sans labour, on peut citer la culture sur brûlis (tavy), le travail superficiel et le semis direct sur couverture qui constitue l'objet de notre étude.

A- CULTURES AVEC LABOUR

Ce mode de préparation de sol est encore le plus pratiqué en ce moment dans le milieu paysannat (sauf dans les systèmes traditionnels après défriche de la forêt) ou dans les grandes exploitations. Divers moyens sont mis en oeuvre pour retourner le sol: préparation à l'angady, à la traction animale ou par travaux motorisés.

1. Les principaux rôles du labour

Les principaux avantages attribués au labour sont:

- l'amélioration de l'infiltration de l'eau;
- l'augmentation de l'aération du sol qui améliore le taux de minéralisation de l'azote grâce à l'incorporation de la matière organique.
- la préparation d'un lit de semences propre et bien affiné.

En sol nu, le labour constitue un moyen de limiter la dégradation des propriétés physiques du sol cultivé et de lutter contre les mauvaises herbes.

2. Les inconvénients

Cette préparation du sol aux avantages fugaces a plusieurs inconvénients:

- sa pénibilité, car la majorité se fait à la main;
- des risques d'érosion et de dégradation du sol à cause de:
 - 1) l'absence d'une couverture protectrice de résidus végétaux en surface et
 - 2) de l'affinement excessif du sol;
- l'augmentation consécutive des pertes en eau par évaporation, plus les actions de retournement et d'ameublissement du sol par les outils conventionnels.

3. Tendance actuelle

Face aux inconvénients du labour, principalement à la dégradation des propriétés physiques et chimiques du sol, des agronomes ont expérimenté des systèmes de cultures qui, adaptés au contexte technique, économique et social local, permettront de gérer rationnellement le capital sol, en améliorant les systèmes de production et, de ce fait, la productivité agricole en particulier dans les pays en voie de développement.

B- LE SEMIS DIRECT

Depuis une trentaine d'années la gestion agrobiologique des sols et des systèmes de culture est une révolution qui gagne en importance.

Une des causes majeures de ce changement est la perte en matière organique du sol (VAN DER MERNE et al., 1998), consécutive à une mauvaise gestion de la fertilité, à une culture continue qui conduit à la dégradation du sol et à la perte de biodiversité.

1. Historique

L'idée de cultiver le sol sans labour est née de l'observation des systèmes forestiers ou arbustifs à couvert dense, dans l'optique de reproduire les phénomènes naturels (SEGUY et BOUZINAC, 1996). Elle n'a cependant commencé à être mise en pratique en agriculture mécanisée (où le coût de la main d'oeuvre est élevé) qu'avec l'apparition en 1956 de l'herbicide total "paraquat" et la fabrication des premiers semoirs de semis direct utilisables sans travail préalable du sol (SANTOS et al., 1998).

Les agriculteurs ont une grande responsabilité dans la diffusion des techniques car l'adoption du semis direct n'a commencé qu'en 1970 au niveau de la recherche officielle des Etats de Parana et du Rio Grande do Sul au Brésil (PEREIRA, 1998).

De 35.000 ha en 1988-1989, la surface cultivée en semis direct au Brésil est passée à 10,5 millions d'ha pour la campagne 1997-1998 (Tableau 1). Les expérimentations qui ont abouti à ces résultats ont été construites chez les agriculteurs et améliorées avec eux en fonction de leurs conditions techniques, économiques et sociales (SEGUY et al., 1996).

Tableau 1: Les superficies cultivées en semis direct dans le monde (1998)
(CHATELIER, 1999)

Pays	Surfaces en hectares	% de la surface en cultures annuelles
Etats- Unis	18.000.000	16 %
Brésil	10.500.000	27 %
Canada	6.500.000	10 %
Argentine	4.400.000	17 %
Australie	1.100.000	3 %
Europe Occidentale	500.000	1 %
Paraguay	500.000	17 %
Mexique	490.000	2 %
TOTAL	41.990.000	3,05 %

A partir du Brésil, l'équipe du CIRAD-CA mène un réseau international sur la gestion agrobiologique des sols en Amérique latine, Afrique, Madagascar, La Réunion, où ces concepts et pratiques sont en cours d'ajustement et de développement dans d'autres milieux écologiques.

A Madagascar, cette technique fait l'objet des expérimentations menées, depuis 1991, par l'ONG Tafa (Tany sy Fampandrosoana) dans diverses régions et elle a donné des résultats significatifs et prometteurs (RAKOTONDRALAMBO et al., 1998). Actuellement, l'ONG travaille sur la promotion et la diffusion de ces acquis en milieu paysan.

2. Le principe de base du semis direct

Le premier principe de base à respecter en semis direct est de travailler le sol le moins possible, de le couvrir pour le fixer et le protéger totalement du ruissellement érosif.

Le deuxième principe consiste à faire travailler la nature en utilisant ses ressources (photosynthèse, macro-mésafaune, microflore, éléments minéraux totaux immobilisés et piégés...) par l'action bénéfique et améliorante de paillages ou de certaines plantes de couvertures annuelles ou pérennes et de successions culturales choisies.

Les systèmes de culture fondés sur le semis direct consistent à installer des plantes productrices de biomasse qui fabriquent un mulch végétal permanent, vivant ou mort, dans lequel sont semées les cultures principales (SEGUY et al., 1996). La semence est placée dans le sol non remanié, seul un petit sillon, ou un trou du poquet, est ouvert, de profondeur et de largeur suffisant pour garantir une bonne couverture de la semence et un bon contact avec le sol. Les mauvaises herbes sont éliminées avant et après le semis, le plus souvent avec des herbicides.

21. Semis direct sur résidus

La restitution par les résidus de la récolte précédente constitue la première avance permettant de couvrir en temps voulu les besoins de la future récolte (SOLTNER, 1996).

La couverture du sol par les résidus de culture est une méthode très efficace pour réduire l'évaporation, la croissance des adventices, maintenir l'humidité du sol en saison sèche et arrêter l'érosion (ROOSE, 1994). C'est aussi une voie courte pour restituer la totalité de la biomasse et les nutriments qui la constituent (Tableau 2) à mesure de la dégradation par la macrofaune, de la minéralisation et de l'humification à travers la méso et la microfaune. Les éléments nutritifs sont, de ce fait, mis progressivement à la disposition de la plante tout au long de son cycle de développement.

Tableau 2: Composition minérale de la paille de diverses grandes cultures

PAILLE	C (%)	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)
HARICOT	-	1,472	0,15	1,14	1,87	0,13
MAÏS	32,5	1,024	0,09	0,92	0,49	0,31
VIGNA	-	1,248	0,28	1,55	1,16	0,38
MIL	-	0,672	0,20	1,94	0,33	0,23
ARACHIDE	-	1,520	0,19	1,38	1,23	0,57
RIZ	60,9	0,608	0,10	-	0,22	0,15
SORGHO	-	0,800	0,10	1,41	0,43	0,20
SOJA	41,6	0,880	0,06	0,53	1,59	0,92
BLE	47,3	0,580	0,08	0,79	0,16	0,12

Malheureusement on ne dispose pas d'une masse suffisante de résidus végétaux et de pailles pour couvrir toutes les terres cultivées. D'autant plus qu'en zones tropicales humides, les résidus de culture se décomposent très vite au-dessus du sol dès qu'il pleut, le taux de minéralisation de la matière organique est très élevé et la protection du sol en surface est trop éphémère pour être efficace.

Pour pallier à ces problèmes, on produit, avant et/ou après chaque culture commerciale, une biomasse la plus importante possible, au moindre coût (SEGUY et al., 1996).

211. Des plantes productrices de biomasse

Cette biomasse est issue d'une première culture de plantes d'ouverture de cycle cultural et/ou d'une culture finale dite de succession après la culture principale (Schéma 1). Ces cultures implantées en semis direct avant et après la culture commerciale principale, sont capables de produire de fortes biomasses sous des conditions climatiques marginales (Annexe 1).

212. Des plantes aux multiples fonctions

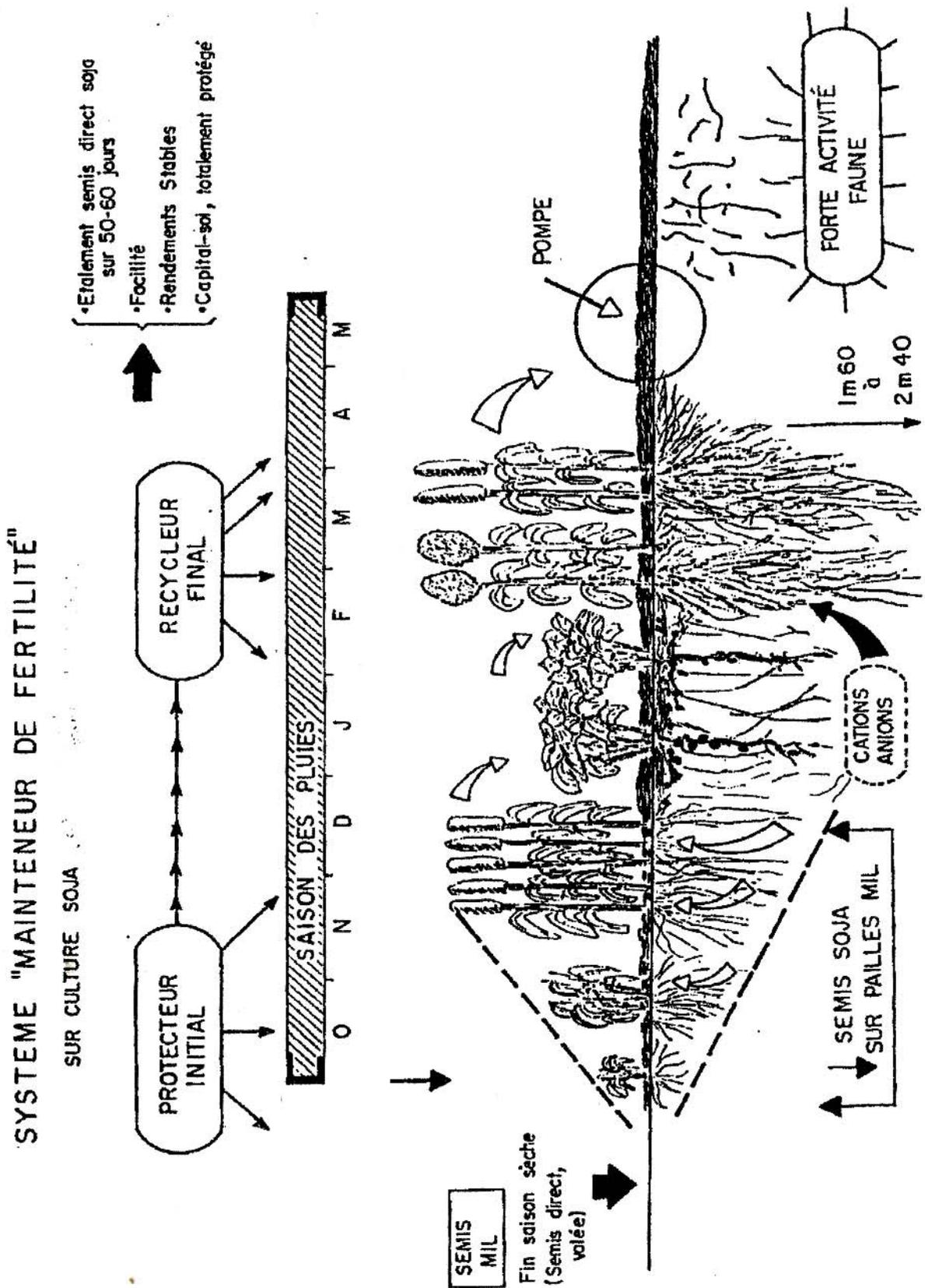
Les plantes productrices de biomasse doivent avoir les fonctions suivantes:

- protéger complètement le sol contre l'érosion, aussi bien en saison de pluie qu'en saison sèche;
- amortir les amplitudes de température et d'humidité;
- fournir à la culture principale les éléments minéraux par la minéralisation de leur propre biomasse;
- recycler vers la surface les éléments fertilisants lixiviés en profondeur;
- maintenir une forte porosité et structure stable du profil cultural;
- limiter le développement des adventices les plus compétitives pour les cultures (actions conjuguées de l'obscurité et des propriétés allélopathiques des couvertures);
- permettre de gérer au moindre coût les problèmes phytosanitaires.

Les plantes, précédant le semis direct de la culture principale ou lui succédant, jouent le rôle de "pompe biologique" pour les éléments minéraux. Leur efficacité peut être évaluée de deux façons:

- au-dessus du sol, par le volume et la qualité de biomasse recyclable, renouvelable à moindre coût, rapidement minéralisable pendant le cycle de la culture principale;
- au-dessous de la surface du sol, par la puissance de leur système racinaire.

Schéma 1: Le système mainteneur de fertilité (SEGUY et BOUZINAC, 1996)



213. L'installation des différentes cultures

La culture principale est alors semée directement dans les pailles de la culture d'ouverture, qui est détruite par un herbicide. La plante d'ouverture peut être une graminée ou une légumineuse. Dans ce dernier cas, les fonctions de la nutrition de la culture, de maintien de la structure et de couverture du sol sont beaucoup plus éphémères .

A la culture principale suit une culture de succession implantée par semis direct. Elle est récoltée normalement pour les productions qu'elle peut offrir (grain, ensilage, fourrage, ...) et une importante biomasse de résidus est toujours laissée sur le sol en saison sèche, pendant laquelle elle ne se décompose pas et assure ainsi une couverture totale du sol.

22. Semis direct sur couverture vive

Le système de semis direct sur couverture vive présente un certain nombre d'avantages, en particulier il permet de produire du fourrage et, comme en milieu forestier, d'équilibrer le bilan de matières organiques et de ramener à la surface un certain nombre d'éléments nutritifs qui seront redistribués dans le sol et seront disponibles pour la culture commerciale. Cependant, il faut maîtriser la couverture pour éviter toute concurrence avec la culture principale.

C'est ainsi que fût développée, d'abord au Brésil depuis une vingtaine d'années (SEGUY et al., 1998) puis dans diverses régions comme au Côte d'Ivoire, à la Réunion (MICHELLON, 1996), l'utilisation de légumineuses ou de graminées à enracinement profond en tant que couverture vivante permanente du sol.

3. Les avantages du semis direct

Les avantages liés à la pratique du semis direct concernent aussi bien l'environnement que la productivité agricole.

31. Préservation du principal facteur de production: le sol

L'efficacité de la couverture du sol pour augmenter l'infiltration, réduire le ruissellement et protéger le sol contre l'érosion est bien connu.

En effet, une parcelle couverte de quelques centimètres de paille (4 à 6 t/ha) protège le sol aussi bien qu'une forêt dense secondarisée haute de 30 mètres, même en année très pluvieuse (ROOSE, 1994).

Les résidus laissés à la surface du sol sont largement plus efficaces pour réduire l'érosion que les résidus qui sont enfouis dans le sol pour améliorer sa structure.

A Madagascar, le premier intérêt de la gestion agrobiologique est d'ouvrir la possibilité du développement rapide d'une agriculture pluviale intensive et performante sur les "tanety" (collines).

32. Optimisation du temps, de l'usage des intrants, de l'énergie

En éliminant le travail du sol et les sarclages, les temps de travaux ainsi que leur pénibilité sont nettement réduits en semis direct sur couverture (Tableau 3).

Tableau 3: Comparaison des temps de travaux (*) en labour et en semis direct (TAFA, 1998)

Temps de travaux (H/j)	Maïs	Haricot	Riz (sur 3 années)	Soja
Labour	193	174	194	202
Couverture morte	82	92	75	91
Couverture vive	90	89	-	89

(*): Ferme d'Antsirabe sur 4 années d'essais

Les systèmes en semis direct permettent de cultiver 50 à 100% de surface en plus, chaque année et dans les cultures mécanisées, ils offrent une capacité accrue des équipements avec une économie de plus de 40% de combustible (SEGUY et al., 1998).

33. Restauration et maintien de la fertilité des sols

Le système de semis direct recycleur permet de minimiser les pertes en bases Ca, Mg, K dans le système sol-plante, tandis que le pouvoir complexant et chélatant de la matière organique accumulée au-dessus de la surface du sol et dans les 5 premiers cm du profil, permet de neutraliser les effets nocifs des molécules et ions toxiques pour les cultures (Al, sels) (SEGUY et al., 1998).

34. Maîtrise des adventices et des insectes nuisibles

La couverture permanente du sol réduit la prolifération des mauvaises herbes par l'obscurité qu'elle dispense, par la compétition pour les ressources du milieu et aussi par des effets *allélopathiques* souvent suggérés par l'expérience (DE RAISSAC et al., 1998).

Le système racinaire des plantes de couverture joue le rôle de leurre à l'égard des insectes terricoles phytophages. C'est ainsi que les attaques du ver blanc *Hoplochelus marginalis* et des adultes du charançon phytophage *Cratopus humeralis* sont nettement réduites sur géranium cultivé dans des couvertures de kikuyu (*Pennisetum clandestinum*) et de lotier (*Lotus uliginosus*) (VERCAMBRE, 1992; MICHELLON et al., 1996; BOYER, 1998).

35. Productions moyennes élevées et plus stables

Au Brésil, la production du soja en semis direct, par rapport aux systèmes avec travail du sol, permet des gains de 5 à 10 % en année climatique sans accident et de 20 à 30 % les années à forte sécheresse (SEGUY et al., 1996).

A Madagascar, les résultats des expérimentations menées par l'ONG TAFa sur 4 années de semis direct montrent une nette amélioration de la productivité des exploitations (Tableau 4).

Tableau 4: La productivité des différentes cultures en labour et en semis direct (TAFa, 1998)

Productivité (kg/ha)	Maïs	Haricot	Riz pluvial	Soja
Parcelles labourées	2.600	398	1.482	1.945
Parcelles sous couverture morte	2.980	567	-	2.210
Parcelles sur résidus de récolte	3.717	557	1987	2.140

4. Limites et contraintes du semis direct

Même si le semis direct suscite les plus grands espoirs d'améliorer les systèmes de culture en augmentant la productivité du travail et en diminuant le risque à la dégradation des sols, les recommandations concernant l'application du semis direct doivent être adaptées en fonctions de différents types de producteurs et de leurs conditions propres.

Un des inconvénients majeurs des systèmes du semis direct est relatif à l'indisponibilité de la biomasse qui dépend en grande partie d'autres caractéristiques de l'exploitation comme l'importance du troupeau et l'existence des sources fourragères durant la saison sèche.

Lorsque les plantes de couverture sont maîtrisées chimiquement, la sélectivité des herbicides par rapport aux plantes cultivées et adventices peut aussi constituer un facteur limitant. Ceci est particulièrement important en culture continue, où certaines plantes adventices ont un cycle de développement similaire à celui de la plante cultivée.

Dans la région du Vakinankaratra, les principales contraintes et limites de cette technique sont:

- la psychologie des agriculteurs qui demande des résultats nets, immédiats et qui pensent que la couverture favorise le développement des insectes nuisibles aux cultures;
- l'indisponibilité des semences et de matière végétale;
- le coût d'installation du semis direct qui est élevé en première année relatif à l'installation de la plante de couverture.

Certes, la technique de zéro labour présente des actions positives, mais ce sont les contraintes et limites qui sont notées par les agriculteurs pendant les deux premières années d'adoption.

C- LES EFFETS DU MODE DE GESTION DU SOL SUR LES PROPRIETES BIOLOGIQUES, PHYSICO-CHIMIQUES ET HYDRODYNAMIQUES DU MILIEU

1. Influences du labour

11. Dégradation des propriétés biologiques

La méthode conventionnelle, à cause de la perturbation qu'elle engendre au niveau du sol, influence beaucoup la structure de la faune et de la flore. La macrofaune du sol est la plus affectée par cette dégradation comme nous verrons dans le paragraphe qui lui est consacré.

12. Effets sur les caractéristiques chimiques

Le travail profond continu accélère fortement la minéralisation de la matière organique (SEGUY et BOUZINAC, 1996), même s'il se montre la technique la plus efficace pour éliminer la compaction du profil cultural. Le sol s'appauvrit rapidement, jusqu'à des niveaux qui laissent prévoir une consommation accrue d'engrais minéraux pour maintenir, à moyen et à long terme, des rendements élevés et stables.

13. Impacts sur les propriétés physiques

Le travail fréquent des andosols (y compris les sarclages) entraîne un dessèchement plus ou moins irréversible et une micro-granulation dans l'horizon de surface. Ces modifications structurales suppriment les réseaux de macroporosité et la continuité porale, ce qui rend difficile la pénétration des racines en profondeur de ces sols (RAUNET, 1991).

2. Influences du semis direct

21. Evolution des propriétés physiques

Grâce à l'activité de la faune, qui trouve un habitat favorable en semis direct, et au chevelu dense des racines des plantes de couverture, les propriétés physiques et hydriques des sols sont améliorées.

La couverture herbacée améliore la stabilité structurale des sols (MICHELLON, 1996): la conductivité hydraulique à saturation, faible en sol nu, devient très élevée avec couverture, surtout sous kikuyu (*Pennisetum clandestinum*).

22. Restauration de la fertilité chimique du sol

Les concepts du semis direct sont construits à l'image du fonctionnement de la forêt ombrophile. Les plantes de couverture recyclent les éléments nutritifs lixiviés en profondeur; les cultures sont alimentées par voie organo-biologique, grâce à une relation privilégiée "matière organique minéralisable- cultures" (SEGUY et al., 1998); les pertes en éléments fertilisants dans le système sol-plante sont donc minima.

Selon DE OLIVEIRA et al. (1998), le pH du sol, les bases échangeables (Ca, Mg, K), le taux de saturation en base, le phosphore extractible, le carbone organique et l'azote total en semis direct sont significativement plus élevés qu'en travail conventionnel jusqu'à 10 cm de profondeur.

23. Amélioration des propriétés biologiques

L'examen de la structure du sol, les profils racinaires et l'activité de la faune du sol, éléments déterminants de l'activité microbiologique du sol permettent d'apprécier la fertilité d'un milieu (RAUNET, 1991).

231. Profils structuraux et racinaires

Il est bien connu que les racines, et plus particulièrement le dense chevelu des racines de graminées, favorisent la structuration des sols, non seulement par l'action mécanique et enrobante des racines et des radicelles, mais aussi par les produits résultant du métabolisme de la microflore des rhizosphères (BACHELIER, 1978).

232. Evolution de la faune

Le semis direct crée un milieu favorable pour les arthropodes vivant en surface ou en profondeur en gardant l'humidité du sol. Il atténue aussi les variations extrêmes de la température et leur fournit la nourriture.

CONCLUSIONS PARTIELLES

L'objectif à court terme du travail du sol est de créer un état de profil cultural favorable à la germination, à l'émergence et à la croissance des plantes cultivées. Un programme de recherche sur la gestion du sol ne doit pas se limiter à des objectifs à court terme. Il doit viser le maintien ou l'amélioration de la productivité du sol, ce qui implique en particulier la restauration d'un niveau satisfaisant de matière organique dans le sol et le contrôle efficace de l'érosion.

Les systèmes conventionnels qui font intervenir plusieurs outils ou opérations pour la préparation du sol peuvent entraîner à la longue, la dégradation de la structure du sol et une baisse de sa productivité.

Par contre, le semis direct en favorisant la vie dans le sol, permet de préserver sa stabilité structurale, de réduire les risques d'érosion, de recycler efficacement les nutriments et de réaliser une économie en énergie.

La faune est un indicateur potentiel de la fertilité des sols. Toutefois, sa prolifération ne signifie pas toujours une amélioration de la fertilité car certaines sont nuisibles aux cultures. Afin de comprendre cette relation faune-fertilité du milieu, l'étude des groupes faunistiques présents dans le sol ainsi que leurs activités s'avère nécessaire.

PARTIE II: LA MACROFAUNE DU SOL

A- CLASSIFICATION

Le sol en tant que milieu physique, est le biotope des êtres vivants, végétaux et animaux, qui le peuplent. Les être vivants qui colonisent le sol sont très nombreux et très diversifiés. Ils appartiennent à la fois au règne animal (faune du sol ou pédofaune) et au règne végétal (flore du sol ou pédoflore).

La présente étude concerne uniquement la macrofaune du sol car la manipulation des micro et mésofaune n'est pas chose aisée du fait de leur petite taille et de leur abondance. Les organismes de la faune sont classés selon leur taille (Tableau 5).

Tableau 5: La faune du sol classée selon la taille des organismes (AMEZIANE et al., 1994)

Appellation	Taille	Exemples d'organismes représentatifs
Macrofaune	>2 mm	- Larves de coléoptères et de diptères - Dilopodes et isopodes - Enchytréides - Lombricides
Mésafaune	de 0,2 à 2 mm	- Nématodes - Collemboles - Acariens
Microfaune	<0,2 mm	- Protozoaires (Amibes, Ciliés, Flagellés)

Le regroupement par la taille des organismes, est surtout réalisé dans un but pratique, car il n'est pas rare de trouver des animaux d'un groupe aussi bien dans la mésofaune que dans la macrofaune. C'est le cas notamment des arthropodes qui sont aussi divisés en micro et macro-arthropodes.

B- ETUDES QUALITATIVES ET QUANTITATIVES

1. Composition et distribution de la macrofaune

Plusieurs facteurs interviennent dans la composition de la macrofaune: le climat, le sol, le type d'habitat et le degré de perturbation (CURRY et GOOD, 1992).

Elle est extrêmement variable, bien souvent, dans un même sol, d'un point d'observation à un autre. De plus, suivant les méthodes d'estimation, des différences importantes dans les résultats peuvent être rencontrées.

En général, à la surface du sol, la macrofaune est constituée par les fourmis, les isopodes, les myriapodes, les coléoptères phytophages et les prédateurs, les hyménoptères parasites et les dermaptères polyphages. En profondeur, les vers de terre sont les représentants de la faune du sol. Dans les écosystèmes naturels tropicaux humides, les vers de terre représentent plus de 50% de la biomasse totale de la macrofaune (LAVELLE et al., 1992).

Ces animaux sont surtout distribués dans les couches superficielles de 10 à 15 cm. Toutefois, les espèces fouisseuses se retrouvent jusqu'à plus de 2 m (AMEZIANE et al., 1994).

2. La biomasse

La présence des vers de terre dans les sols détermine l'importance de la biomasse. Elle dépasse rarement 10 à 20 g.m⁻² dans des sols où il y a peu de vers de terre (BACHELIER, 1978).

C- DESCRIPTION ET ACTIVITES DE LA MACROFAUNE DES SOLS

La faune des sols, selon les divers groupes faunistiques et selon les espèces, agit de manière prépondérante sur la dégradation et l'humification des litières, sur les caractéristiques physico-chimiques, biochimiques et biologiques des sols.

1. Les vers de terre

Suivant le milieu où ils vivent, les vers de terre sont classés en (BACHELIER, 1978):

- vers épigés ou de surface qui sont généralement colorés en rouge et demeurent dans les couvertures végétales et les litières,
- vers anéciques pigmentés de brun ou de gris, fouissant profondément mais s'alimentant à la surface du sol.
- vers endogés qui sont de bons fouisseurs à forte musculature.

Dans le processus de dégradation de la matière organique, les vers de terre stimulent l'activité de la flore microbienne du sol. Ainsi BAROIS (1987) en étudiant le mutualisme global entre les vers de terre géophages tropicaux et la microflore pour l'exploitation de la matière organique du sol, a constaté que le système est interactif: le ver de terre fournit du carbone assimilable sous forme de mucus intestinal qui déclenche l'activité microbienne. La microflore ainsi activée est en mesure de dégrader la matière organique du sol, la rendant assimilable par le ver.

La digestion des matières organiques fraîches et des particules de terre par les vers de terre augmente la teneur en éléments nutritifs disponibles pour les plantes (Tableau 6). En contact avec les turricules, ces dernières peuvent profiter pleinement de ces nutriments; dans le cas contraire, la structure des turricules permet de retenir pour quelques temps l'azote labile (en majorité sous forme de NO_3^-) (LAVELLE et al., 1992).

Tableau 6: Modification de la composition du sol par les vers de terre (MUSTIN, 1987)

Eléments	Composition en pour mille		% d'augmentation
	Sol en surface	Turricules	
Calcium échangeable	1,990	2,790	40
Magnésium échangeable	0,162	0,492	204
Azote (nitrate)	0,004	0,022	366
Phosphore disponible	0,009	0,067	644
Potassium échangeable	0,032	0,358	1019
Taux de saturation	0,074	0,093	26
pH	6,4	7,0	

Dans certaines situations pédologiques (horizon B compact et peu fissurable) ou culturales (sols cultivés très superficiellement ou en semis direct, ou prairies permanentes), le rôle de ces galeries est considéré par de nombreux auteurs comme décisif sur la qualité du drainage interne et sur le niveau d'aération du profil du sol.

Les vers de terre diminuent aussi la population des nématodes phytoparasites:

Tout d'abord les modifications physiques du sol, dues à la présence des vers de terre par ingestion de sol et émission de turricules joueraient un rôle néfaste sur le déplacement des nématodes. Les réinfestations sont ainsi diminuées.

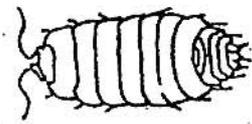
Ensuite, le passage des nématodes dans le tractus digestif des vers par ingestion passive pourrait altérer leurs aptitudes parasitaires (BOYER, 1998).

2. Les coléoptères

Les plus couramment rencontrés sont les Scarabaeidae dont les scarabées, les cétoines et les hannetons.

Les larves de Scarabaeidae sont fousseuses et se nourrissent surtout de matériaux végétaux en décomposition, mais elles peuvent aussi s'attaquer aux racines des plantes, surtout si les débris végétaux manquent. La nocivité des adultes et des larves (vers blancs) de la sous-famille des *Dynastinae* et des *Melolonthinae* est bien connue.

Schéma 2: Les principaux représentant de la macrofaune du sol (BACHELIER, 1978)



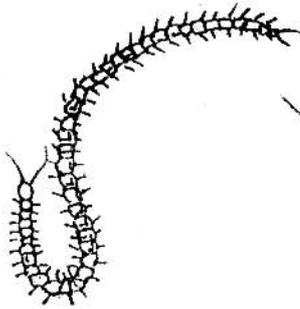
Isopode



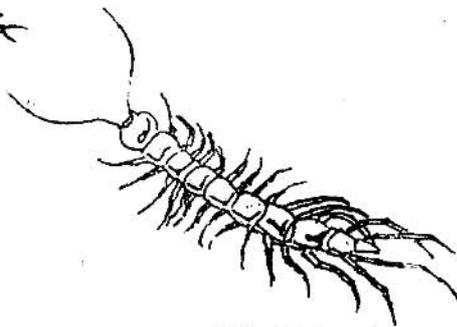
Larve de coléoptère



Larve de diptère



(géophile)



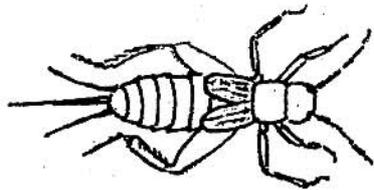
(lithobie)

Chilopode

Myriapodes

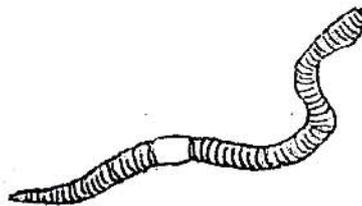


Diplopode

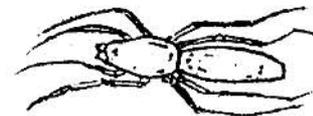


(petit grillon)

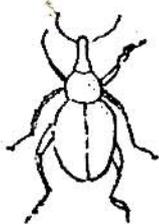
Orthoptère



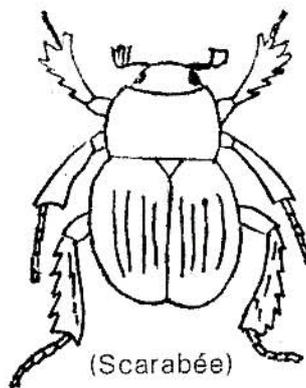
Ver de terre



Acarien

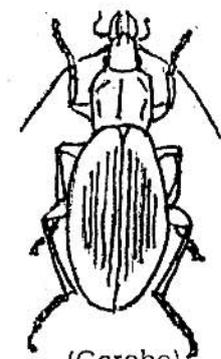


(Charançon)



(Scarabée)

Coléoptères adultes



(Carabe)

Les scarabées tels les bousiers sont coprophages et contribuent à la formation du sol par leur activités fouisseuse et l'incorporation de matière organique dans les horizons supérieurs.

3. Les myriapodes

Les myriapodes se répartissent en 2 grands groupes taxonomiques:

- les diplopodes,
- les chilopodes.

La majorité des diplopodes est saprophage, se nourrissant de débris végétaux, de mycélium et parfois de plantes vivantes par manque de débris végétaux (tels les iulides).

Les chilopodes sont carnivores et s'attaquent aux insectes, aux vers, aux diplopodes et aux autres petits animaux.

4. Les fourmis

Faisant partie des Hyménoptères, les fourmis sont des insectes sociaux. Leurs galeries facilitent l'aération des sols et accroissent l'infiltration de l'eau en profondeur. Les conséquences des remontées d'éléments fins des horizons sous-jacents se traduisent par la création en surface d'un horizon de texture plus fine, dont les caractéristiques chimiques varient selon les sols et les espèces de fourmis.

5. Les larves de diptères

Elles constituent avec celles des coléoptères la grande majorité des larves d'insectes du sol. Elles influencent la décomposition des débris végétaux, mélangeant ces derniers avec la partie minérale du sol.

6. Les larves de lépidoptères

Certaines chenilles de papillons nocturnes sont bien adaptées à la vie dans le sol et s'enfoncent aisément en profondeur. Les noctuelles du genre *Agrotis* sont phytophages.

7. Les isopodes

Ce sont des crustacés terrestres. Fortement dépendant de l'humidité des sols, les isopodes sont omnivores mais se nourrissent surtout de matières organiques d'origine végétale.

8. Les dermoptères

Cet ordre renferme les forficules. Ils se nourrissent de plantes mortes et de mycélium.

D- EFFETS DES PRATIQUES AGRICOLES SUR LA FAUNE DU SOL

Toute intervention humaine au niveau du sol influence la faune.

1. Le feu

La biomasse et la densité totales des invertébrés hémédaphiques (vivant en surface et se nourrissant de litière) sont dramatiquement réduites par le brûlis. L'importance des dégâts dépend de l'intensité, la fréquence et la durée du feu (CURRY et al., 1992).

2. L'installation de couverture

La macrofaune très abondante en sol volcanique sous forêt naturelle ou jachère arborée d'*Acacia mearnsii* diminue très sensiblement en sol nu. Avec couverture de graminée (kikuyu) les diplopodes dominent alors qu'avec légumineuse (lotier) ce sont les coléoptères (BOYER, 1998).

3. La mise en culture du sol

Les peuplements lombriciens sont les plus affectés par la mise en culture du sol, en raison de trois facteurs principaux: le travail du sol, certains traitements phytosanitaires et le changement quantitatif de la nourriture issues des plantes cultivées et adventices.

Ainsi, la biomasse et la densité de la macrofaune du sol dans des cultures en Amazonie sont réduites de 6% à 17% par rapport à la forêt primaire (LAVELLE et PASHANASI, 1989).

Au contraire, le mulching, la couverture naturelle du sol, le paillage et les composts d'ordure favorisent les vers en protégeant le sol et en y apportant des matières organiques. Celles-ci favorisent d'autant plus les vers qu'ils sont riches en protéines.

Dans une rotation culturale, l'abondance des vers varie selon l'emplacement dans la rotation, mais ils sont généralement bien plus nombreux si elle inclut un pâturage. Les cultures sont d'autant plus favorables que les résidus sont plus importants (BACHELIER, 1978).

Vis à vis de la faune nuisible, le travail du sol en ramenant en surface les vers blancs peut réduire la population de 50 à 80 % et le sarclage à 6- 8 cm de profondeur après plantation supprime les 30 à 50 % (VERCAMBRE, 1992). Mais les risques d'érosion limitent l'utilisation de cette méthode dans la lutte contre ces ravageurs.

4. Les engrais et fertilisants

Certains éléments minéraux sont favorables aux vers de terre: le calcaire, le nitrate de calcium, le nitrate de sodium, les scories basiques, le sang sec, et surtout le mélange fumier avec engrais complets (NPKCa) (BACHELIER, 1978).

Par contre le sulfate d'ammonium (qui augmente l'acidité), le phosphate d'ammonium et le sulfate de potassium ont un effet néfaste.

Quant à la fumure organique et les résidus de la récolte, leur apport est favorable à la macrofaune des sols pour diverses raisons: ils servent de nourriture pour les détritivores; stimulent la croissance des végétaux, donnant ainsi de bonne litière, et contribuent à la stabilisation du microclimat au niveau du sol.

5. Les pesticides

L'étude des actions directes et indirectes des pesticides sur la faune du sol constitue actuellement l'objet de plusieurs recherches, observations et de publications.

Pour le traitement des sols et des semences, les pesticides les plus utilisés actuellement sont de synthèse (carbamates, organo-phosphoré, pyrèthrinoïdes). Ces produits sont très mobiles et se dégradent lentement dans le sol (ACTA, 1997).

Leur toxicité vis à vis de la faune du sol est déterminée par, d'une part, leurs propriétés physico-chimiques (solubilité, persistance d'action, mobilité, taux de dégradation) et les caractéristiques des sols (texture, structure, taux de matière organique) (VILLANI et al., 1990).

Le travail du sol (mélange des différents horizons) favorise la dispersion des résidus de ces pesticides qui peuvent être plus moins toxiques sur les différents groupes de faune.

L'utilisation occasionnelle de pesticide affecte probablement moins le fonctionnement de l'écosystème des sols. Par contre, l'application répétée peut réduire le peuplement des prédateurs naturels de certaines espèces et influence la décomposition et la minéralisation des matières organiques en éliminant les vers de terre (CURRY and GOOD, 1992).

CONCLUSIONS PARTIELLES

La macrofaune du sol par leurs activités contribue à l'amélioration de la fertilité des sols. Cette activité biologique permet la création d'un écosystème stable qui garantit des productivités également stables et élevées.

Créer des conditions favorables comme l'approvisionnement en matière organique, réduction de l'acidité, le travail minimum du sol et l'utilisation des pesticides plus sélectifs, permettra la recolonisation faunistique des sols mis en culture.

L'étude comparative de la macrofaune des sols (densité, biomasse, richesse taxonomique, structure fonctionnelle de la communauté, distribution en profondeur) permet de mettre en évidence les changements produits par l'homme à travers les cultures appliquées et leur mode de gestion.

PARTIE III: EXPERIMENTATION

A- OBJECTIFS

L'expérimentation a pour objectif de:

- 1- évaluer les influences du mode de gestion des sols sur leur faune et la culture de soja;
- 2- tester l'efficacité du traitement de semences dans la lutte contre les insectes terricoles ravageurs, en particulier les vers blancs en utilisant des insecticides: imidaclopride, carbosulfan et fipronil (Annexe 2);
- 3- étudier les impacts de ces pesticides sur la macrofaune du sol.

B- LA PLANTE OBJET DE L'EXPERIMENTATION: LE SOJA

Originaire de l'Asie du Sud-Est, le soja (*Glycine maxima* L.) est une plante herbacée annuelle de la famille des papilionacées. C'est une légumineuse remarquable pour la richesse de ses graines en azote, en matières grasses et minérales.

1. Importance mondiale

Les graines de soja contiennent 18 à 25 % de lipides, ce qui est un taux relativement faible (50 % pour l'arachide). Malgré cela, l'huile de soja vient au premier rang mondial de toutes celles d'origine végétale.

En 1997, la production de soja aux Etats-Unis s'est élevée à plus de 74 millions de tonnes (9 de plus qu'en 1996) à laquelle s'ajoute celle d'Amérique du Sud (30 millions de t au Brésil et 15 en Argentine) entraînant une récolte record de 151 millions de t de graines de soja en 1997/1998 (CETIOM, 1998).

Malgré cet essor au niveau de la production, les prix sont soutenus: les cours ont même progressé en dollars, passant entre juillet et décembre 1997 de 250 à 290 dollars par tonne.

A Madagascar, plus particulièrement dans la région du Vakinankaratra, l'augmentation incessante du prix de soja (farine, tourteaux, graines, huiles brutes, ...) sur le marché international et la diminution de la collecte locale incitent les industries de transformation à promouvoir la culture de cette plante pour rentabiliser leur production.

La principale huilerie-provenderie de la région (TIKO) n'a collecté que 300 t de graines de soja pour la campagne 1996/1997, alors que la capacité de l'huilerie est de 90.000 t par an.

D'après les enquêtes menées au niveau des agriculteurs, ils sont insatisfaits du prix proposés. Mais ils demandent une assistance et des appuis matériels de la part des organismes de développement (semences, inoculum, intrants, ...) car que le soja est une plante exigeante du point de vue technique culturale.

A cet effet, TIKO a prévu une production de semences de soja sur une superficie de 3.000 ha.

2. Ecologie

Le soja comprend de très nombreuses variétés adaptées aux climats les plus divers: depuis le tempéré froid jusqu'au tropical. L'adoption de sa culture est conditionnée surtout par son photopériodisme (Mémento, 1991).

C'est une plante fragile qui craint l'excès d'humidité. Les exigences écologiques du soja sont voisines de celles du maïs. Il accepte toutefois les sols légers; mais les différentes variétés ont souvent des exigences plus précises, ce qui nécessite une étude et des essais en station expérimentale.

C- PRESENTATION DES SITES D'EXPERIMENTATION

1. Localisation géographique

Le site Ibity et Betafo se trouvent respectivement à 24 km au Sud et à 21 km à l'Ouest d'Antsirabe (Carte 1). Les deux sites se situent à environ 1.500 m d'altitude.

2. Climat

Le climat de la région du Vakinankaratra est du type tropical humide d'altitude. Il est marqué par deux saisons:

- la saison sèche et froide de mai à septembre
- la saison pluvieuse et chaude d'octobre à avril.

Des microclimats très variés peuvent être rencontrés d'une zone à l'autre (Tableau 7).

Tableau 7: Les données climatiques par zones (Météorologie nationale, 1996)

Poste	Pluviométrie (mm)	Jours de pluies	T° min (°C)	T° max (°C)
Antsirabe	1.323	149	7	32
Manandona (*)	1.315	95	4	31
Betafo	1.034	89	9	34

(*): à 6 km au Sud d'Ibity

L'altitude relativement élevée abaisse les températures qui peuvent être parfois négatives; les variations journalières sont fortes, surtout pendant l'hiver.

Les chutes de grêles sont très fréquentes dans la région du Vakinankaratra, 80 % des cas se produisent entre le mois d'octobre et le mois de février. Leur impact sur la culture est très marqué.

3. Les sols

31. Types

L'expérimentation est réalisée dans des conditions très différenciées de fertilité de terrain et de faune du sol:

- sol ferrallitique (site d'Ibity)
- sol volcanique (Betafo).

L'entretien des bonnes terres en production comme les sols volcaniques, avant sa dégradation, est plus efficace et plus rentable car on obtient une augmentation des rendements plus rapide et plus nette sur les terres profondes que sur les terres caillouteuses épuisées.

Cependant, il existe quelques cas où la restauration des terres dégradées, mais qui ont encore un avenir agricole, est prioritaire: les sols ferrallitiques d'Ibity en sont un exemple, ils sont très dégradés et malgré leur disponibilité, peu de paysans les exploite.

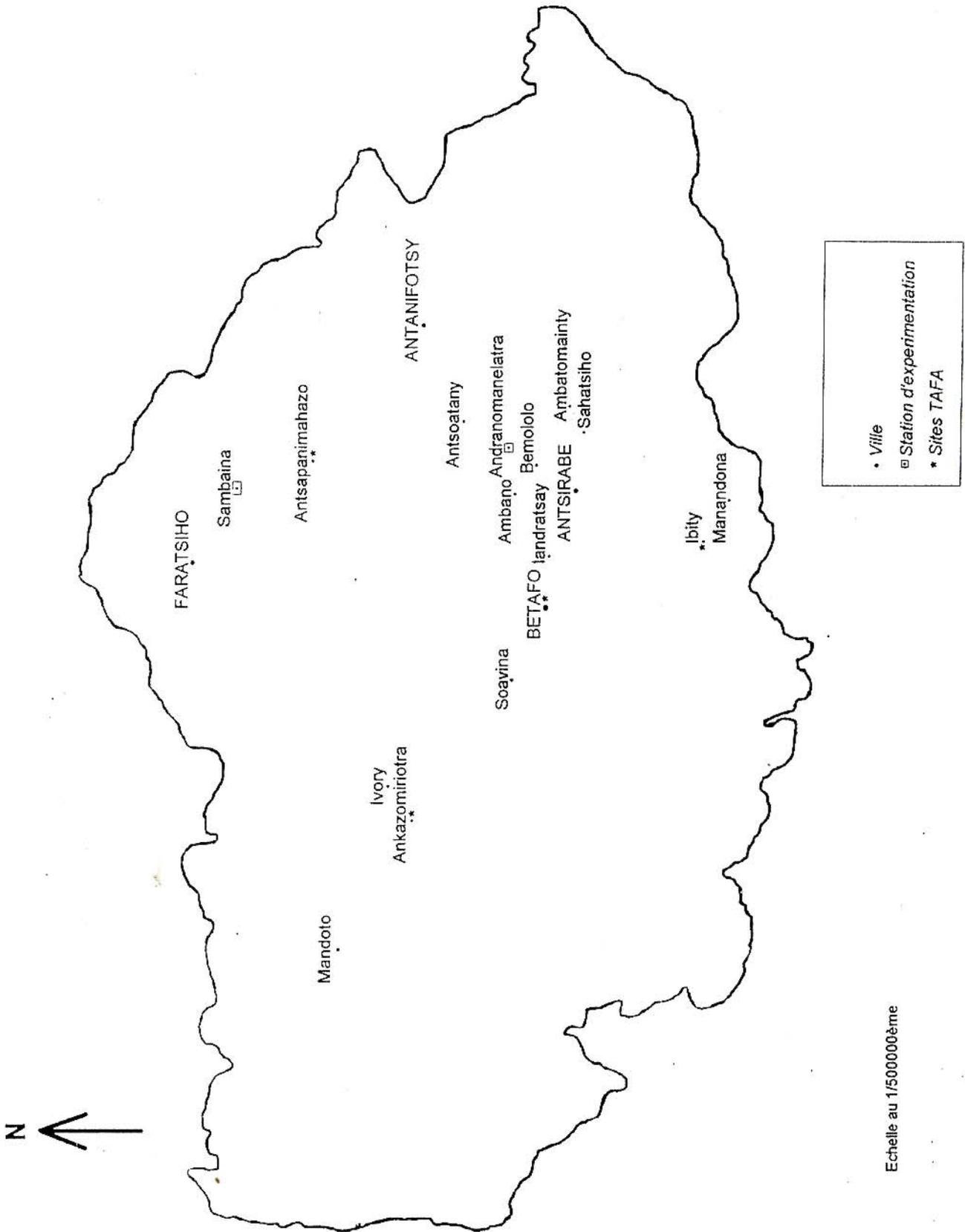
32. Caractéristiques analytiques

321. Sols ferrallitiques

Les sols ferrallitiques ont une faible capacité d'échange et taux de saturation (inférieur à 10 %) à cause de la nature de leur argile kaolinitique. Ils sont acides (pH 4,8 à 5,3) et possèdent un fort pouvoir fixateur pour le phosphore dû à leur richesse en oxydes de fer et d'aluminium.

Le taux de matière organique est inférieur à 2 %. L'activité biologique y est réduite du fait du compactage de surface, de l'érosion en nappe et des feux annuels. Du point de vue physique, ces sols sont généralement assez bien structurés. Une stone-line quartzreuse est souvent présente de façon discontinue. On la trouve entre 0,5 et 4 m de profondeur.

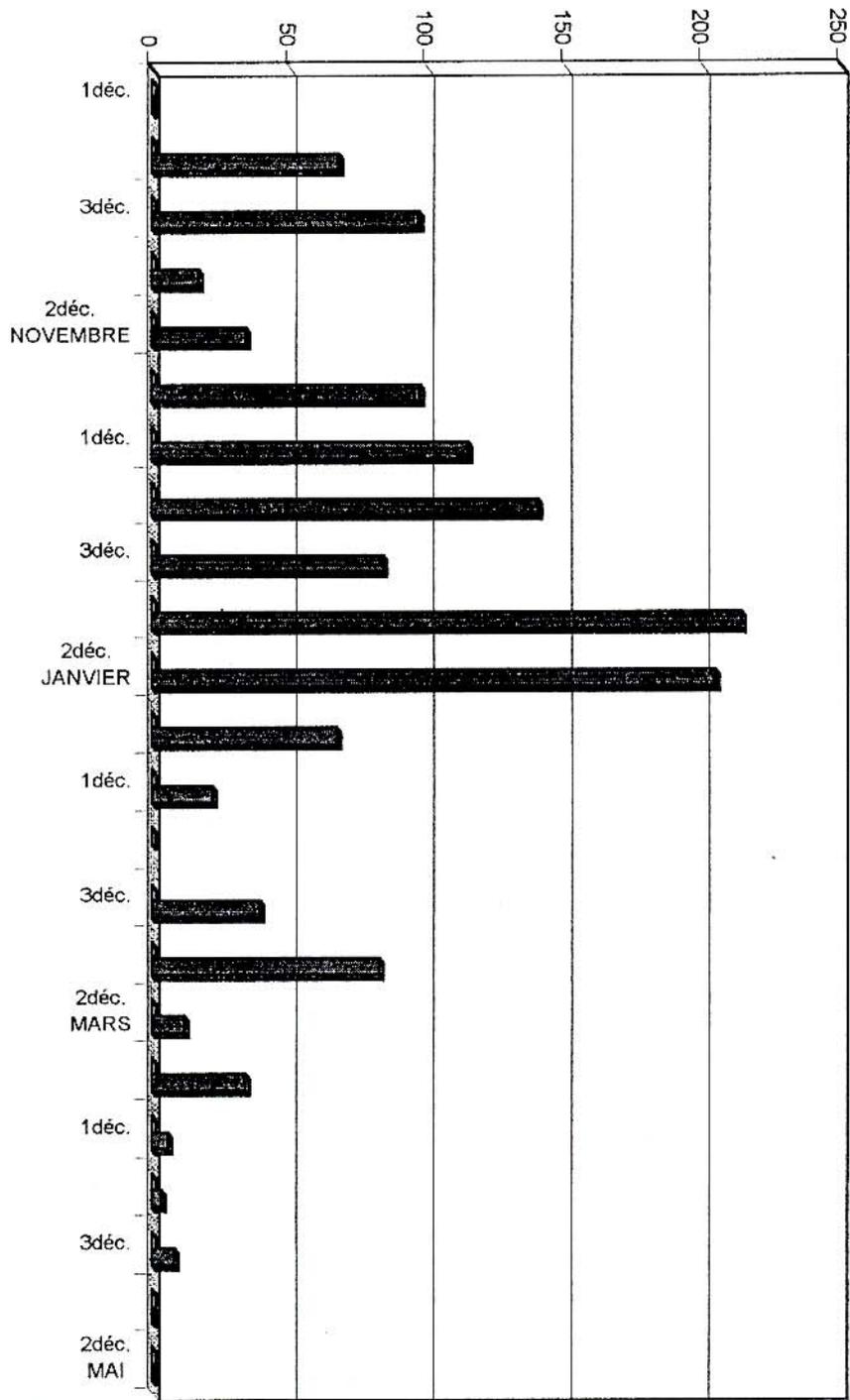
Carte 1: Localisation géographique des sites d'essais



Echelle au 1/500000ème

PLUVIOMETRIE (98_99) SRR/Antsirabe

Pluie (mm)



Périodes décadales

322. Sols volcaniques

Ces sols, les plus fertiles de Madagascar, ont pour origine des projections volcaniques (cendres et scories) très récentes essentiellement basiques.

Ils sont de couleur sombre dans leur partie supérieure: noirs et tachants à l'état humide, gris et cendreaux à l'état sec. Cet horizon humifère a une épaisseur de 20 à 60 cm. Cette épaisseur dépend de la position topographique: faible sur des crêtes, importante en bas de pentes. Ils présentent une texture limoneuse; un taux de matière organique élevé (10 à 15 %); avec un rapport C/N de 14 à 16; leur structure polyédrique est fragile; leur consistance très friable et leur densité apparente de l'ordre de 0,9.

En-dessous de l'horizon organique apparaît le matériau volcanique peu altéré formé de scories plus ou moins fines; avec une zone de transition (horizon B) de 20 à 40 cm d'épaisseur de couleur brune à brun-jaune, de texture limono-sableuse (sables très fins), et de consistance très friable.

Vers 1 m de profondeur, les scories non altérées, de couleur plutôt noirâtre souvent compactes sont peu pénétrables aux racines.

Ces sols présentent une capacité d'échange élevée, de l'ordre de 30 meq dans l'horizon humifère (complexe saturé à 20 % en moyenne) et de 15 à 20 meq dans l'horizon jaune sous-jacent. Le pH est de 5,5 à 6 dans l'horizon humifère et de 6 à 6,5 en dessous. Ces sols ont de bonnes réserves minérales, sauf en phosphore assimilable.

Le travail fréquent y compris le sarclage et la mise à nu de ces sols entraînent, en saison sèche et chaude, leur dessèchement irréversible et la désagrégation de leur structure (RAUNET, 1991). Devenant hydrophobes, de densité faible, les particules de l'horizon de surface sont facilement entraînées par l'eau de ruissellement à la première pluie. Les sols se dégradent chaque année et l'horizon sous-jacent, compact de faible fertilité, apparaît.

33. Cultures et productions agricoles

331. Sols ferrallitiques

Les paysans ne pratiquent pas la riziculture pluviale. La diminution de la productivité des "tanety" en est le facteur limitant, cela en raison de la conjugaison de la faiblesse de la fertilité et de l'érosion accentuée des sols des parcelles concernées d'une part et de la diminution de la productivité d'une main-d'oeuvre de moins en moins bien nourrie et de plus en plus pauvre d'autre part.

En dehors des cultures vivrières (maïs, manioc, haricot, ...) on rencontre des plantations d'ananas.

Toutefois, les essais d'écobuage et de semis direct par l'ONG TAFI, FOFIFA et le CIRAD sur ces "tanety" donnent des résultats prometteurs (Annexe 3).

332. Zone volcanique

La région couvre une surface mise en culture importante, la densité d'occupation des sols est très élevée. L'activité concerne des spéculations variées: des cultures vivrières et maraîchères (riz, maïs, haricot, pomme de terre, carotte, ...) aux cultures industrielles (blé, orge, soja, ...).

Betafo est la première préfecture productrice de riz à Madagascar, avec une production de 91.556 t/an sur une superficie totale de 38.039 ha, le rendement moyen est de 2,40 t/ha (RAZAFINDRAKOTO, 1995).

D- METHODOLOGIE

1. Parcelles expérimentales

Dans chaque site, les modes de gestion du sol (labour ou semis direct) sont conduits sur une seule parcelle (de grande taille). Les traitements phytosanitaires sont disposés en trois blocs (Site Betafo) ou quatre (Site Ibity) randomisés pour chaque mode de gestion du sol. Les parcelles élémentaires sont de 100 m² (Schéma 3).

Les densités et rendements sont évalués sur une surface de 16,8 m² (12 lignes à 0,4 m d'écartement sur 3,5 m).

2. Conditions de réalisation des essais

Les conditions de réalisation des essais sont résumées dans le tableau 8.

21. Le semis

211. la dose

La dose au semis est fonction des pertes à la levée. Ces dernières sont dues à la semence elle-même et aux conditions de semis (accidents).

Le soja est cultivé avec une densité de 500.000 pieds à l'ha, qui est élevée par rapport à celle pratiquée en culture mécanisée aux Etats-Unis (50 à 60.000 plants par ha) ou au Brésil (400.000 avec un espacement entre ligne de 0,4 à 0,5 m).

212. le traitement des semences

La plupart des maladies qui affectent le soja sont transmises par les semences, d'où l'importance du traitement préventif des semences qui garantissent également une

protection contre les champignons du sol, tels que rhizoctonia, fusarium, aspergillus et contre les insectes ravageurs terricoles.

Les semences ont été traitées par voie humide avec les fongicides: thiabendazole et thirame (Annexe 2) respectivement à la dose de 14 et 73g par quintaux (23,3 g de Tebuzate et 91,3 g de Pomarsol/q) associés aux traitements insecticides suivants:

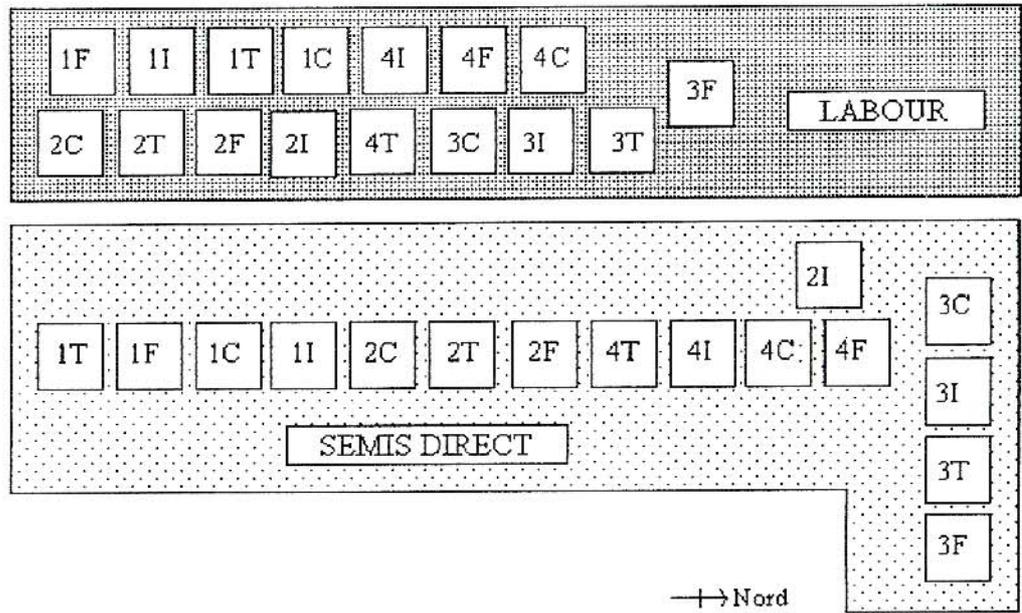
- imidaclopride: 280g/q (Gaucho 70WS: 4g/kg),
- carbosulfan: 140g/q (Marshal 35ST: 4g/kg),
- fipronil: 250g/q (Lesak 50FS: 0,5 l/q).
- comparés à un témoin non traité (ni fongicide, ni insecticide).

Tableau 8: Les conditions de réalisation des essais

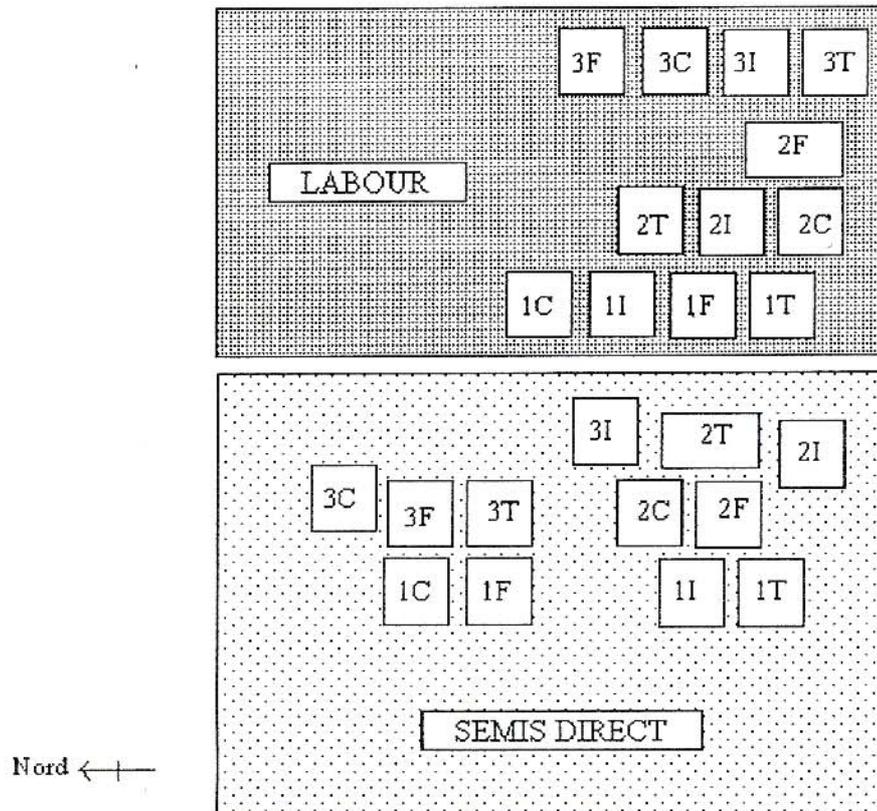
EMPLACEMENT	IBITY	BETAFO
SOL	FERRALLITIQUE sur socle cristallin	VOLCANIQUE
Altitude	1500 m	
Précédent cultural	-Maïs sur labour après décompactage et 4 ans de cultures intensives (riz, soja, maïs) -Semis direct de maïs avec culture intercalaire de crotalaire après 4 ans de prairie abandonnée (<i>Chloris gayana</i> ,...)	-Labour: maïs -Semis direct de maïs avec culture intercalaire de crotalaire
Préparation du terrain	Labour à l'angady ou semis direct après glyphosate 540 g/ha (Round Up: 1,5 l/ha) + 2,4-D sel d'amine 1040 g/ha (2,4-D: 1,5 l/ha)	Labour à l'angady ou semis direct après glyphosate 540 g/ha (Round Up: 1,5 l/ha) + 2,4-D sel d'amine 1040 g/ha (2,4-D: 1,5 l/ha)
Date de semis	26 au 27/11/ 98 (sol sec)	01 au 04/12/98
Variété	FT 10	
Densité de semis	500.000 graines/ha (2 graines par poquet à 0,4m x 0,1m) soit 60 kg/ha	
Fumure au semis	300 kg/ha de 11-22-16 500 kg/ha de dolomie 5 t/ha de fumier	200 kg/ha de 11-22-16 500 kg/ha de dolomie 5 t/ha de fumier
Paillage en semis direct	Après la levée: 6 t/ha de bozaka les: 07/01/99 25/01/99 tardif, nécessité d'un traitement localisé au paraquat 400 g/ha (2 l/ha de Gramoxone Super) le 20/01/99.	
Réinoculation	05/01/99 (avec un mélange de terre et de rhizobium, épandage à la volée)	
Désherbage manuel sur labour	05 au 07/01/99	24 et 26/12/98

Schéma 3: Les dispositifs expérimentaux

Site IBITY



Site BETAFO



Légendes:

1, 2, 3, 4 : Numéro de bloc

T, I, C, F : témoin, imidaclopride, carbosulfan, fipronil

Sur le site d'Andranomanelatra, un traitement sans insecticides (avec les fongicides seuls thiabendazole 14g/q et thirame 73g/q) est ajouté aux 4 traitements précédents.

Après chaque traitement, les semences sont inoculées avec le rhizobium spécifique de TIKO.

22. L'inoculation

La bonne alimentation en azote du soja dépend de la présence de nombre suffisant de nodosités fonctionnelles sur son système racinaire. Les bactéries (*Bradyrhizobium japonicum*) responsable de cette fixation symbiotique d'azote sont naturellement absentes dans la plupart des sols. Il faut les apporter sous forme d'inoculum.

Le mélange graine/inoculum est réalisé à l'ombre et les graines sont semées immédiatement après l'enrobage (les bactéries meurent après 3 à 4 jours à l'air libre).

Après la récolte, ces nodosités laissent dans le sol une quantité d'azote évaluée à 30 à 60 unités/ha, parfois d'avantage (SOLTNER, 1995).

23. La fumure

Le soja réclame peu d'engrais azoté: 60 à 85% de son besoin proviennent de la fixation symbiotique (SOLTNER, 1995) d'où l'importance de bien réaliser l'inoculation et de vérifier les nodosités un mois après le semis.

Si les plantes présentent un aspect jaunâtre et que plus de 30 % d'entre-elles ne portent pas de nodosités, un apport d'azote est indispensable (au début de la floraison et à l'apparition des premières gousses lors d'un apport deux fois). Cependant il ne faut pas apporter de l'azote au delà de 20 unités/ha sous peine de réduire l'efficacité de la fixation de l'azote de l'air (SEGUY et BOUZINAC, 1996).

La fumure phospho-potassique, en fonction de la richesse du sol, peut être estimée à:

- 40- 70 unités de P_2O_5 et 70- 110 unités de K_2O pour une fertilisation normale;

- 60- 90 unités de P_2O_5 et 100- 150 unités de K_2O pour une fertilisation renforcée

(CETIOM, 1998).

Dans notre expérimentation, le NPK 112216 est conseillé à la dose de 300 kg/ha sur sols ferrallitiques; réduite à 200 kg/ha en sols volcaniques étant donné qu'ils sont plus riches.

Le fumier (5 t/ha) et l'amendement calco-magnésien (500 kg/ha) sont épandus en surface au moment du semis en semis direct et à l'affinage sur sol labouré.

24. Les entretiens

241. la réinoculation

A Ibity, le sol sec au semis peut limiter la nodulation. Afin d'assurer l'efficacité de la fixation symbiotique de l'azote de l'air, une réinoculation a été effectuée en mélangeant l'inoculum avec du terreau et la préparation est épanchée à la volée sur toutes les parcelles.

242. le désherbage

Dès la levée, le soja est très sensible à la concurrence des mauvaises herbes. On recommande le désherbage en présemis ou en prélevée.

Avec le système de semis direct sur couverture, les mauvaises herbes sont étouffées par les résidus végétaux ou la plante de couverture. A cet effet, on ne fait le désherbage que rarement sauf dans le cas où la couverture est insuffisante.

A Betafo, les résidus de maïs couvrent mal le sol et le paillage est réalisé tardivement (dû à l'indisponibilité des main-d'oeuvre), les mauvaises herbes ont poussé et le traitement chimique était inévitable.

3. Echantillonnage de la macrofaune du sol

31. Les groupes étudiés

Les principaux groupes étudiés sont:

- les larves de coléoptères (vers blancs),
- les coléoptères adultes,
- les larves de lépidoptères
- les vers de terre,
- les myriapodes,
- les dermoptères,
- les fourmis,
- les isopodes et
- autres.

Les 3 premiers groupes ont été choisis à cause de l'importance de leur dégât sur la culture. Les vers de terre, les myriapodes prédateurs, les dermoptères, les fourmis et les isopodes sont connus pour leur activité bénéfique sur la fertilité du milieu (cf. IIC). Et enfin dans le groupe "autres", sont classés le reste de la macrofaune rencontrée.

32. Matériels et méthodes

321. Matériels

Les prélèvements sont réalisés avec une carotte cylindrique de 0,20m de diamètre et 0,10m de hauteur. La faune est récupérée dans des pots étiquetés pour le comptage, pour le pesage à l'aide d'une balance de précision et pour la détermination des groupes à l'oeil nu (BACHELIER, 1978; ROTH, 1980). Des échantillons sont conservés pour d'éventuelle identification spécifique par les spécialistes (vers de terre conservés dans du formol 4% et les autres groupes dans l'alcool 75%).

322. Méthodologie

On réalise le prélèvement tous les 20 jours soit au total 7 prélèvements (pour le cycle du soja de 140 jours).

La méthode d'échantillonnage utilisée était celle recommandée par le programme "Tropical Soil Biology and Fertility" (ANDERSON & INGRAM, 1993). Un prélèvement sur une parcelle élémentaire est constitué de 3 trous espacés de 5 m et disposés en ligne, la direction et l'origine sont choisies au hasard (Schéma 4). Les prélèvements sont réalisés par couche de 10 cm sur 3 profondeurs: 0-10 cm, 10-20 cm et 20-30 cm et enregistrés dans des fiches de comptages (Annexe 4). L'étude porte sur les densités et les biomasses de la macrofaune.

4. Profils pédologiques et racinaires

Pour le soja, les rendements sont corrélés positivement à la densité racinaire en profondeur (SEGUY et al., 1996).

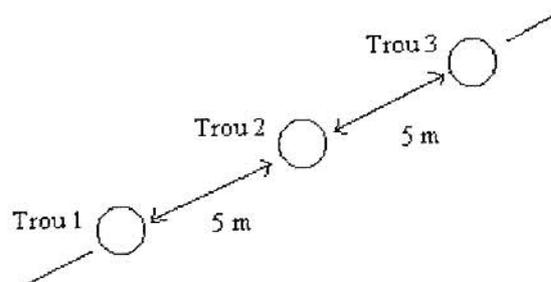
L'observation des profils pédologiques et racinaires est réalisée dans des tranchées ouvertes sur chaque parcelle (une en labour et une autre en semis direct) où l'état de végétation du soja est homogène et représentatif de l'ensemble. Chaque tranchée est creusée dans l'inter-rang à l'aplomb de deux plants. Les profils racinaires schématisés dans les différents modèles portent donc sur la moitié du système racinaire d'un plant de soja.

Les fosses sont réalisées à la période de floraison (70 jours après semis) ce qui correspond au développement optimum des racines et des nodules du soja.

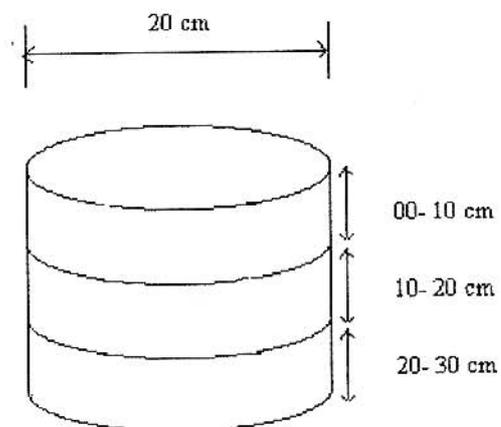
Les densités de la macrofaune des sols sont aussi évaluées.

Schéma 4: La méthode d'échantillonnage T.S.B.F. (Anderson & Ingram, 1993)

- Disposition des trous de prélèvement dans une parcelle élémentaire



- Dimension et profondeur du sol prélevé:



5. Les dégâts aux cultures

Les dégâts d'importance économique fréquemment rencontrés sont dus:

- aux larves de coléoptères (vers blancs) qui broient les racines,
- aux coléoptères adultes et aux larves de lépidoptères dont l'attaque se situe au niveau du collet.

Ces dégâts sont observés au stade plantule et provoquent le flétrissement et la mort de la plante. La présente étude porte principalement sur ces deux dégâts (broyage des racines et attaque au niveau du collet). Afin d'enregistrer les conséquences de ces dégâts au niveau du rendement, les autres maladies ou parasites (mycoses, bactérioses ou dégâts dus aux insectes non-terricoles) sont évités par des traitements phytosanitaires appropriés (enrobage des semences avec des fongicides,...).

6. Analyses chimiques du sol

Les prélèvements des sols ont été effectués en février 1998 dans l'interligne de culture de l'horizon 0- 20 cm. Les sols sont cultivés avec:

- du fumier (5 t/ha) et dolomie (500 kg/ha) à Betafo;
- du fumier (5 t/ha), 170N- 95 P₂O₅- 95 K₂O et dolomie (500 kg/ha) à Ibity.

PARTIE IV: RESULTATS ET
INTERPRETATIONS

A- LA MACROFAUNE DES SOLS

1. Evolution de la macrofaune

Cette étude a pour objectif de vérifier les influences du mode de gestion des sols sur la population de macroinvertébrés. L'analyse porte sur des parcelles en semis direct comparées à celles en labour et est effectuée au cours du cycle cultural du soja.

1.1 Principaux groupes représentés

Au total, 11 groupes taxonomiques ont été trouvés: les larves de coléoptères (LC), les vers de terre (VER), les myriapodes (MYR), les dermptères (DER), les coléoptères adultes (CA), les fourmis (FOU), les isopodes (ISO), les larves de lépidoptères (LL) et le groupe "autres" (AUT) qui est constitué d'acariens, de larves de diptères et d'orthoptères.

1.11 En labour

Tous les groupes y sont rencontrés malgré les densités très faibles des dermptères et des isopodes.

1.12 En semis direct

Les sols en semis direct sont caractérisés par la présence très marquée de dermptères et d'isopodes. On y observe donc tous les taxons.

1.2 Evolution de la densité

1.21 Les larves de coléoptères

En général, la densité des larves de coléoptères observée dans les quatre parcelles étudiées ne sont pas significativement différentes (au seuil de probabilité de 5%) (Tableau 9). Cependant, en labour, elle constitue 56% de la macrofaune du sol contre 25% en semis direct (Figure 1).

Tableau 9: Analyse de la variance des densités des vers blancs dans les 4 grandes parcelles

	S.C.E.	ddl	CARRES M.	Test F	Proba
Total	4392,75	27			
Entre-classe	550,25	3	183,41	1,145	0,109
Résiduelle	3842,49	24	160,10		

Tableau 10: Les densités des principaux groupes de macrofaunes (ind.m⁻²)

	LC	VER	MYR	DER	CA	FOU	ISO	LL	AUT	TOTAL
IBITY-LB	37,1	9,0	4,0	0,5	2,8	3,7	0	1,4	3,1	61,8
BETAFO-LB	31,5	11,7	4,5	0,8	1,5	3,5	0	0	4,1	58,0
Moyenne	34,3	10,3	4,2	0,6	2,1	3,6	0	0,7	3,6	59,9
IBITY-SD	24,9	43,4	9,8	9,9	1,2	2,6	4,7	1,3	0,9	98,9
BETAFO-SD	28,7	55,6	9,0	8,9	3,7	3,8	0,3	0,9	1,8	112,9
Moyenne	26,8	49,5	9,4	9,4	2,5	3,2	2,5	1,1	1,3	105,9

Tableau 11: Les biomasses des principaux groupes de macrofaunes (g.m⁻²)

	LC	VER	MYR	DER	CA	FOU	ISO	LL	AUT	TOTAL
IBITY-LB	3,23	2,0	0,67	0,04	0,29	0,07	0	1,52	2,32	10,15
BETAFO-LB	2,43	3,0	0,7	0,00	0,16	0,07	0	0,32	3,07	9,86
Moyenne	2,83	2,5	0,68	0,02	0,22	0,07	0	0,92	2,69	10,00
IBITY-SD	2,73	48,8	3,14	0,69	0,1	0,02	1,14	1,84	0,55	59,1
BETAFO-SD	3,12	30,1	3,55	0,62	0,33	0,03	0,02	1,27	1,11	40,19
Moyenne	2,92	39,5	3,34	0,65	0,21	0,02	0,58	1,55	0,83	49,64

LC: larves de coléoptères DER: dermaptères ISO: isopodes
 VER: ver de terre CA: coléoptères adultes LL: larves de lépidoptères
 MYR: myriapodes FOU: fourmis AUT: autres

Figure 1: Composition en densité de la macrofaune

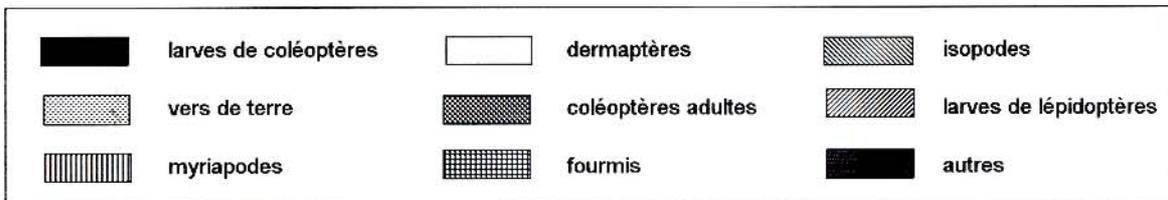
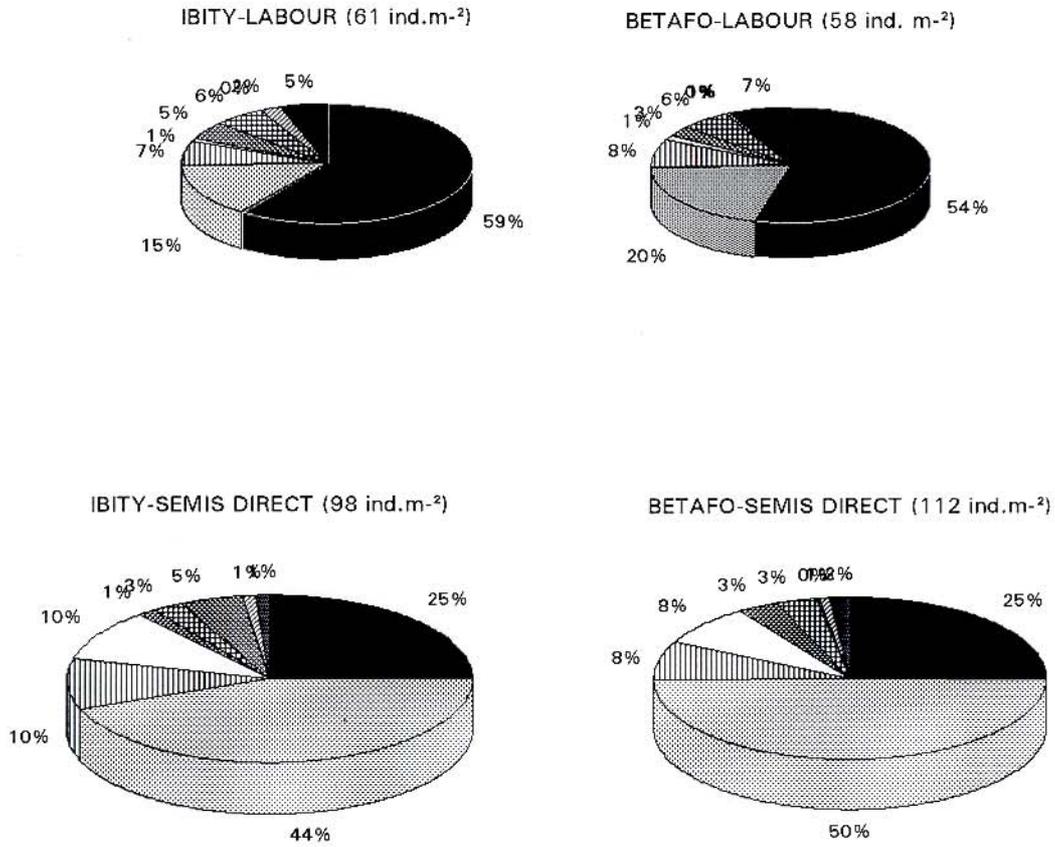
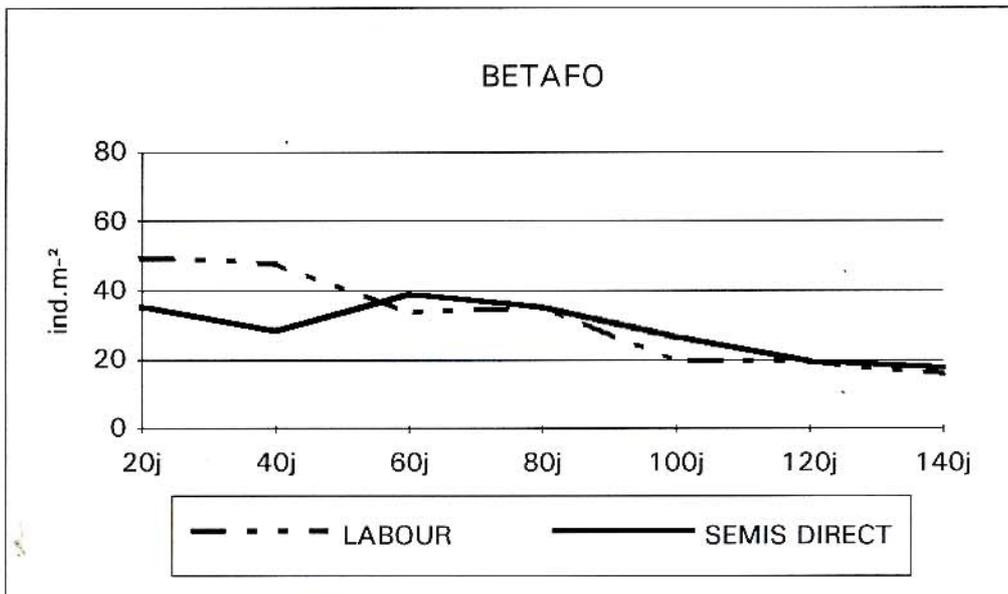
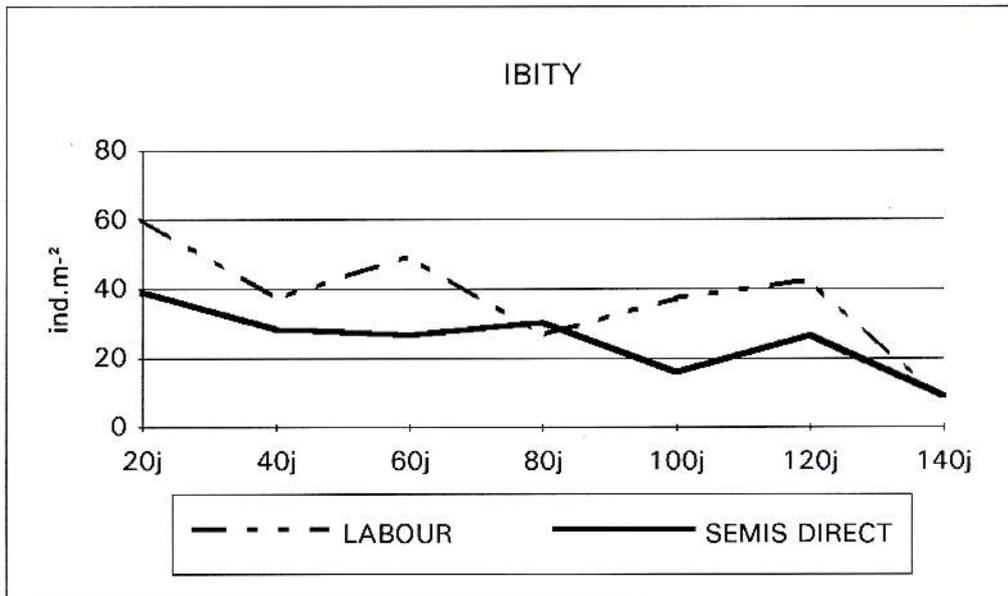


Figure 2: Evolution de la densité des vers blancs



Dans les 2 sites, la densité des vers blancs est plus importante en labour jusqu'au 60ème jour après semis (Figure 2) phase durant laquelle le soja est très sensible à l'attaque de ces ravageurs.

Le travail du sol ramène les vers blancs dans la couche supérieure. Cela influence le dégât causé par ces derniers sur les plantes comme nous verrons plus tard dans le paragraphe qui lui est consacré.

A Ibity, en labour, la courbe de l'évolution de la densité reste au-dessus de celle en semis direct durant le cycle cultural du soja. La pression du ravageur est donc en permanence plus importante en labour. Tandis qu'à Betafo, les courbes ont la même évolution à partir du 60ème jour après semis (Figure 2).

L'allure générale des courbes est décroissante. Cette diminution de la densité des larves de coléoptères est relative à leur cycle biologique: en migrant vers la profondeur ou en atteignant le stade nymphal et adulte, les larves sont exclues du comptage lors des prélèvements.

1.22 Les vers de terre

Les vers de terre constituent 17% de la macrofaune des sols en labour contre 47% en semis direct (Figure 1). Cette différence est significative au seuil de 5% (Tableau 13).

Tableau 12: Analyse de la variance des densités des vers de terre dans les 4 grandes parcelles

	S.C.E.	ddl	CARRES M.	Test F	Proba
Total	18172,84	27			
Entre-classe	11256,55	3	3752,18	13,02	0,009
Résiduelle	6916,29	24	288,17		

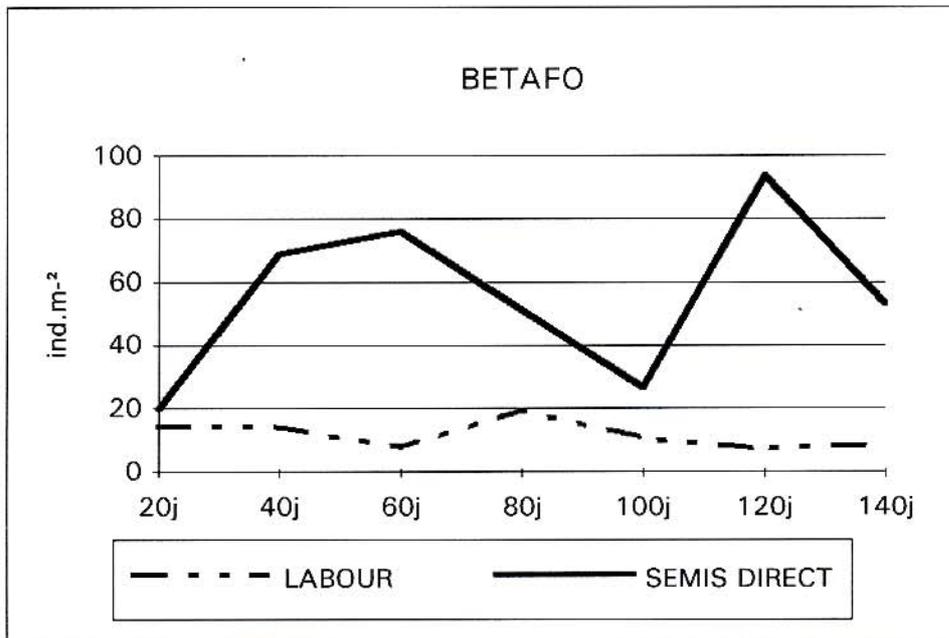
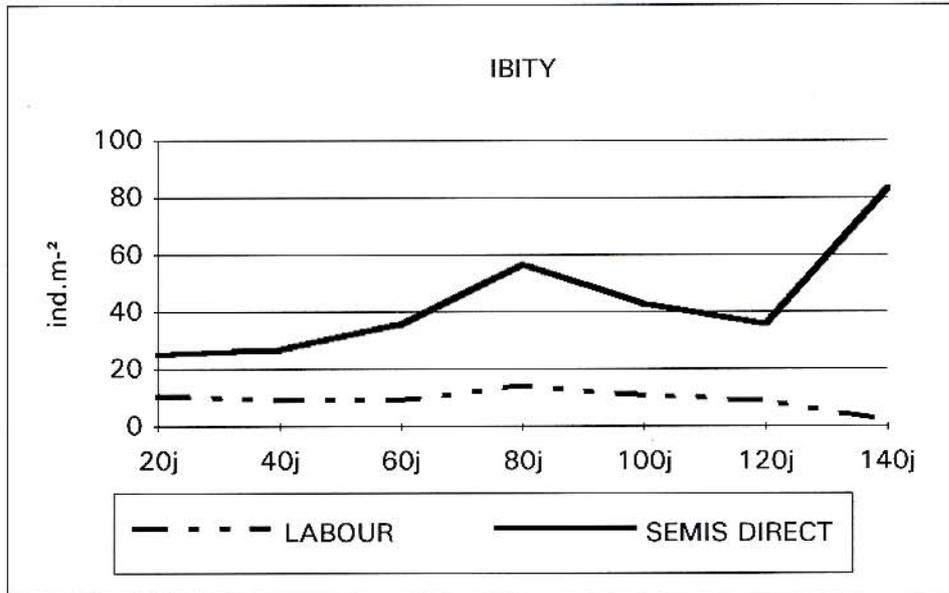
Tableau 13: Test de Newman-Keuls (au seuil de 5%) et les groupes homogènes- l'écart type est entre les parenthèses

$$ppds: 1,95 \times [(2 \times 288,7)/7]^{1/2} = 18,6 \text{ ind.m}^{-2}$$

	Ibity-LB	Ibity-SD	Betafo-LB	Betafo-SD
Moyennes	9,0	43,4	11,7	55,6
	(5,10)	(24,61)	(6,63)	(31,54)
	b	a	b	a

Les densités en labour constituent seulement 37% de celles observées en semis direct (Figure 1).

Figure 3: Evolution de la densité des vers de terre



En labour, la densité reste autour de 10 ind.m⁻² alors qu'elle varie de 18 à 72 ind.m⁻² en semis direct sur sols ferrallitiques et de 16 à 64 ind.m⁻² sur sols volcaniques (Figure 3). La migration en profondeur des vers de terre (principalement les anéciques et les endogés) est très marquée à Betafo (Figure 8) influençant ainsi l'allure de la courbe d'évolution (Figure 3).

Le labour, en les ramenant en surface et en détruisant leurs galeries, perturbe le développement des vers de terre. Par contre, le semis direct leur est favorable en:

- augmentant la teneur en matière organique des sols,
- diminuant l'acidité,
- atténuant les variations extrêmes des températures et de l'humidité,
- gardant les galeries des vers de terre intactes lors de la mise en culture.

1.23 Les myriapodes

Les myriapodes sont plus abondants en semis direct qu'en labour (Tableau 10): la densité ne dépasse pas 6 ind.m⁻² en labour alors qu'elle peut atteindre 30 en semis direct (Figure 4).

Le groupe constitue 8% de la macrofaune des sols que ce soit en labour ou en semis direct (Figure 1) et est représenté par les chilopodes prédateurs (géophile, lithobie) et les diplopodes saprophages.

Les densités maximales observées au 140ème jour après semis correspondent à l'émergence des adultes des diplopodes.

1.24 Les dermaptères

C'est un groupe caractéristique des sols en semis direct où il présente 9% de la macrofaune (Figure 1). La densité reste au-dessous de 2 ind.m⁻² en labour alors qu'elle peut atteindre 16 en semis direct (Figure 5).

1.25 Les coléoptères adultes

Leurs densités sont faibles et sensiblement les mêmes dans toutes les parcelles étudiées où ils constituent 3% de la macrofaune des sols (Figure 1).

L'allure des courbes est relative à leur mode de vie: ils se déplacent activement d'un champ à un autre entraînant la variation importante de leur densité qui peut être parfois nulle (Figure 6).

Figure 4: Evolution de la densité des myriapodes

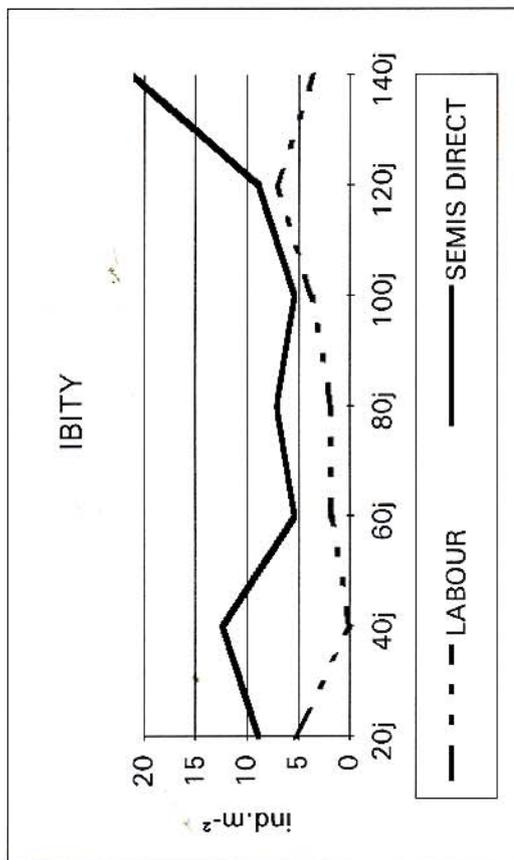


Figure 5: Evolution de la densité des dermaptères

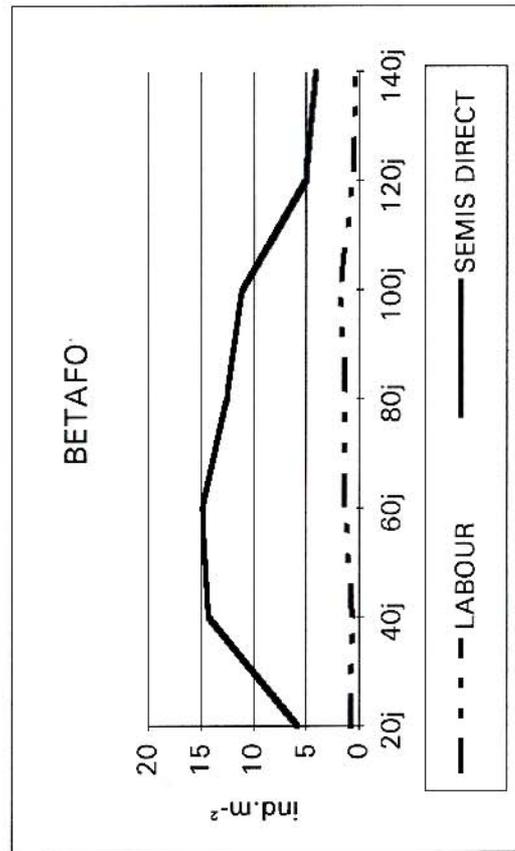
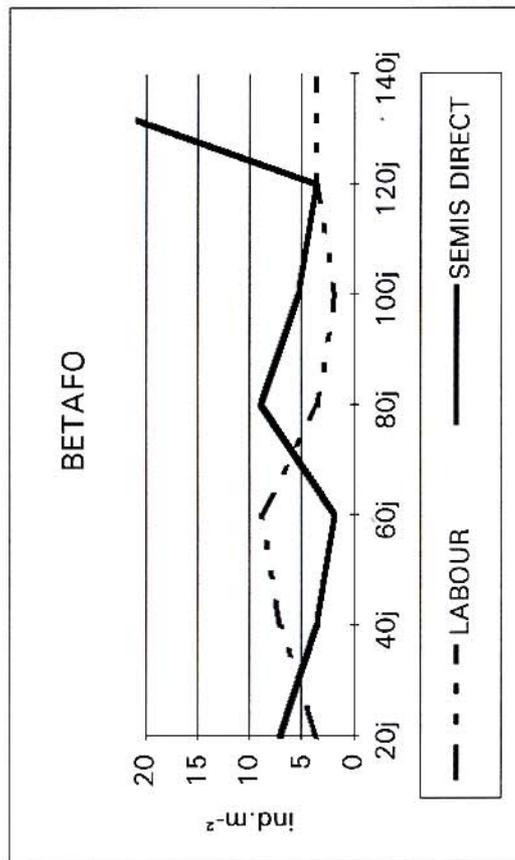
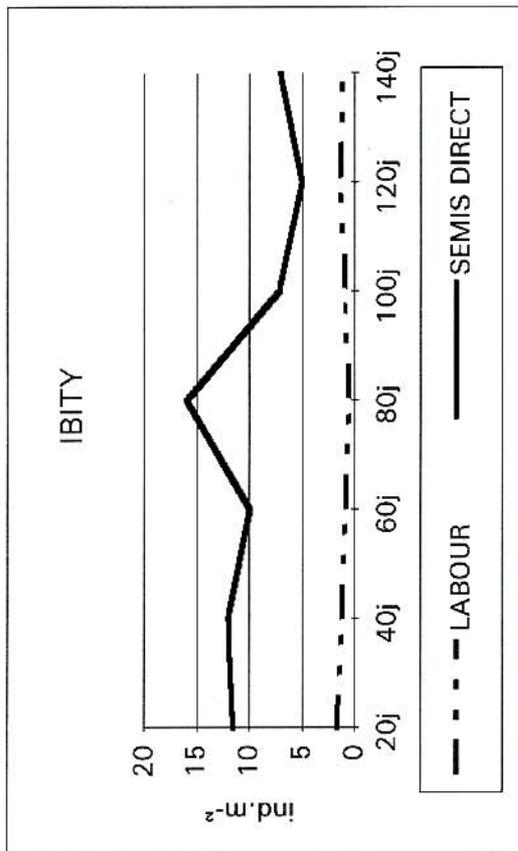
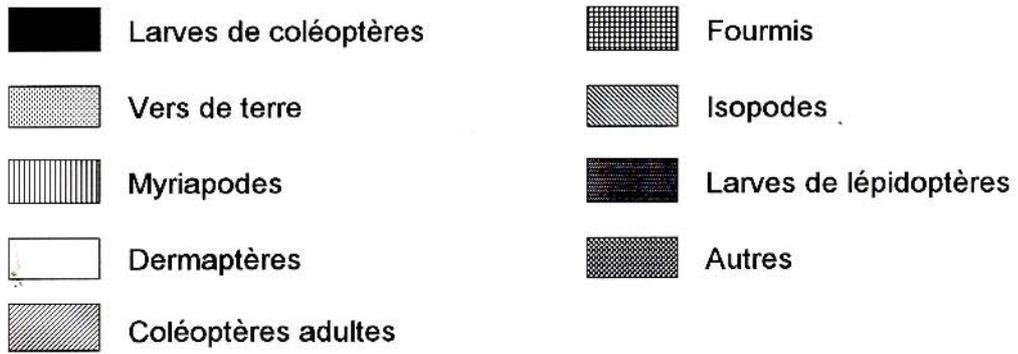
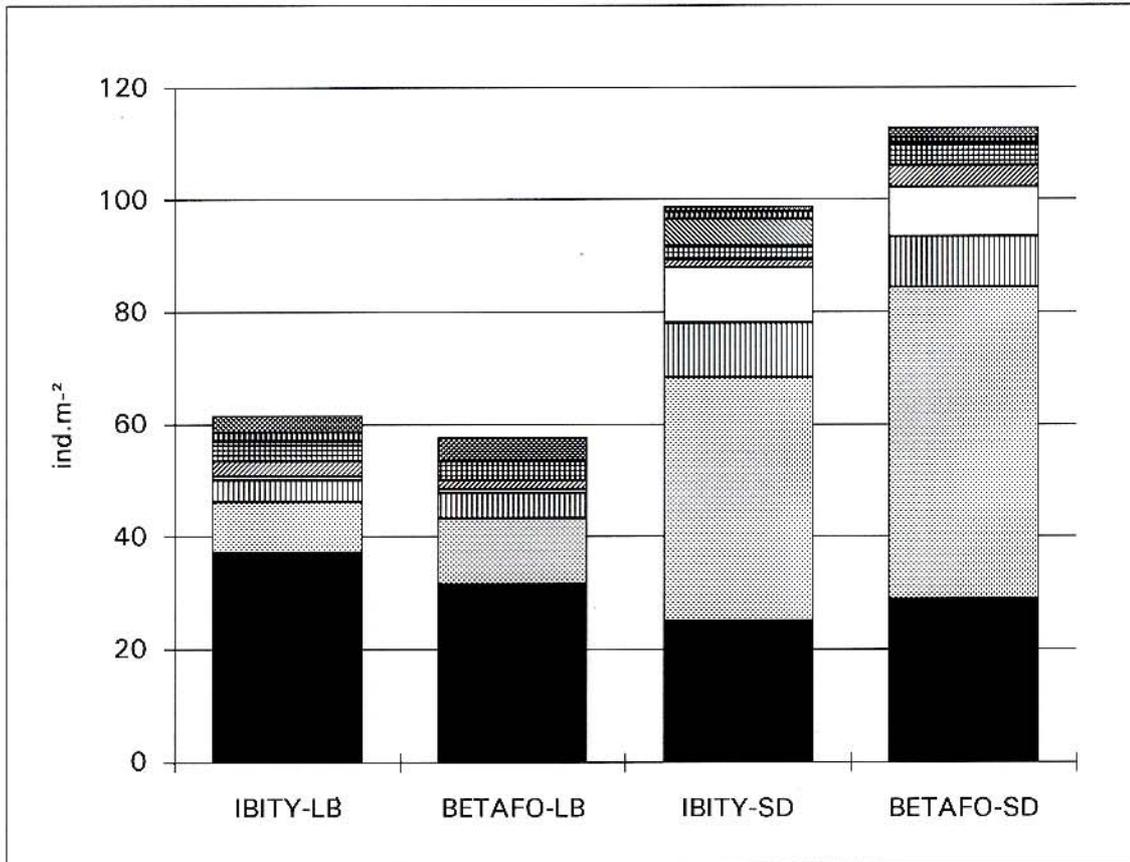


Figure 7: Densité moyenne totale de la macrofaune



Les densités faibles observées, que ce soit en labour ou en semis direct, signifient qu'on n'était pas dans le cas d'une pullulation (migrations, développement des oeufs déposés en quantité très importante par les femelles).

1.26 Les isopodes

C'est un groupe propre aux sols en semis direct. Leur densité est très faible et représente 2% de la macrofaune totale (Figure 1).

1.27 Les groupes restants

Ils sont présents en faible densité. Néanmoins, ils constituent 13 % de la macrofaune des sols en labour contre 7% en semis direct.

1.28 Densité moyenne totale (Figure 7)

En labour (59 individus par m²) elle constitue 56% de celle observée en semis direct (105 ind.m⁻²). La différence est due principalement aux densités des vers de terre qui sont très élevées en semis direct: 49 ind.m⁻² contre 10 en labour.

La densité moyenne totale (105 ind.m⁻²) reste néanmoins très faible comparée à celle observée à la Réunion dans des andosols cultivés avec couverture de kikuyu: 1125 ind.m⁻² (BOYER et al., 1996) et dans des prairies mexicaines: 1830 ind.m⁻² (LAVELLE et al., 1992).

1.3 Répartition verticale de la macrofaune (Figure 8)

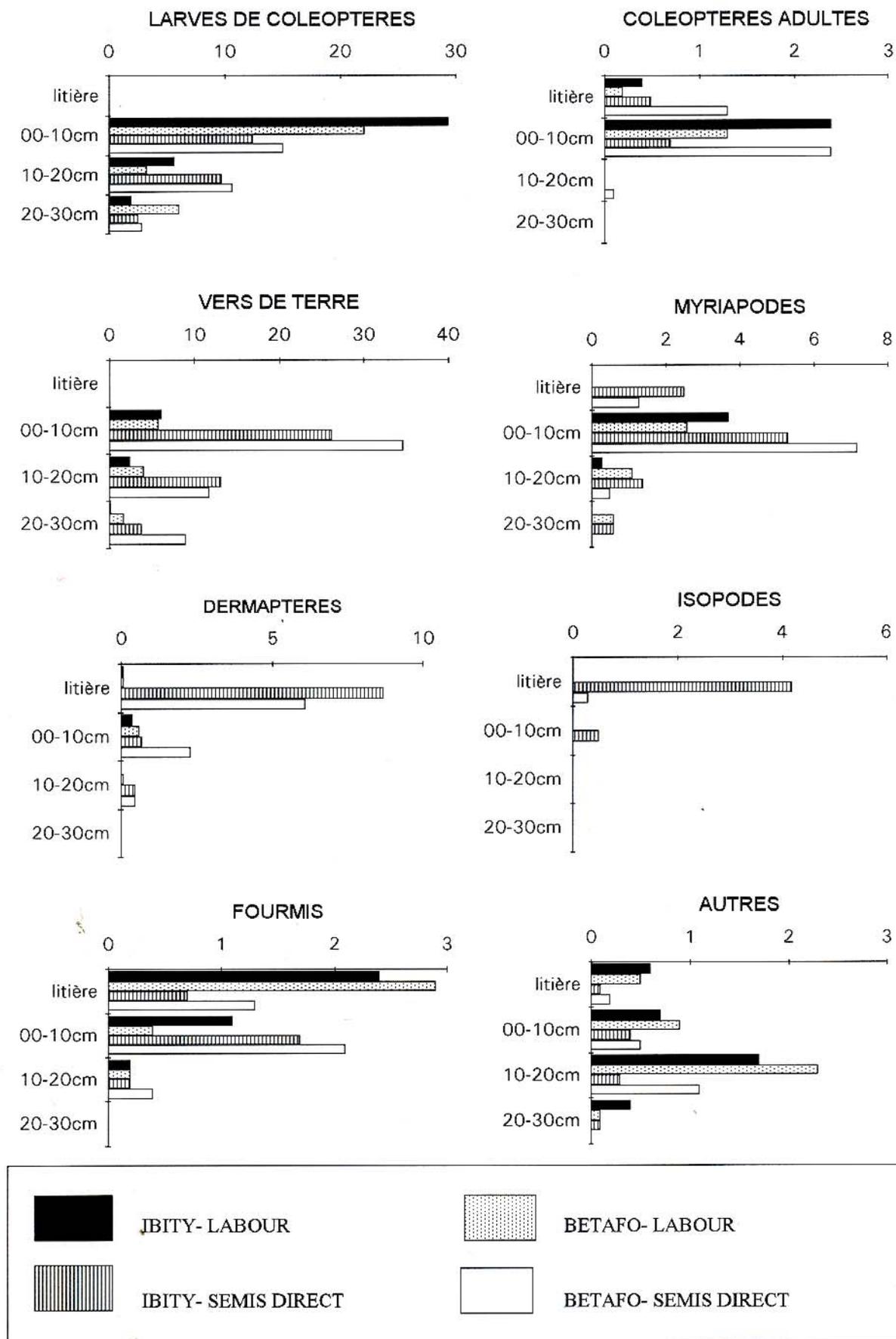
1.31 Les larves de coléoptères

Ce groupe, vivant en profondeur, se répartissent plus ou moins uniformément dans les différentes couches en semis direct alors qu'elles se concentrent dans l'horizon 0-10cm en labour.

1.32 Les vers de terre

Les vers de terre sont localisés en majorité dans l'horizon 0-20cm. Néanmoins, ils sont encore rencontrés dans l'horizon 20-30 cm en densité non négligeable.

Figure 8: Repartition verticale de la macrofaune (ind.m⁻²)



1.33 Les myriapodes

Ils se trouvent dans l'horizon 0-10 cm et préfèrent aussi la litière en semis direct.

1.34 Les dermaptères

Ils sont les plus représentés dans la litière en semis direct et on peut aussi les rencontrer jusqu'à 20 cm de profondeur.

1.35 Les isopodes

Les isopodes représentent avec les dermaptères la macrofaune de la litière. On les rencontre surtout en sol ferrallitique où ils pénètrent jusqu'à 10 cm de profondeur.

1.36 Les fourmis

En labour les fourmis vivent en surface alors qu'elles se repartissent dans la litière et dans l'horizon 0-10 cm en semis direct.

1.37 Les coléoptères adultes

Ils sont trouvés dans la litière et dans la couche 0-10 cm.

1.38 Le groupe "autre"

A la surface il est représenté par les acariens. En profondeur, particulièrement en labour, ce groupe constitué de larves de diptères et d'orthoptères (petit grillon) préfère l'horizon 10-20 cm.

1.4 Evolution de la biomasse

L'évaluation des biomasses des différents groupes faunistiques présents dans le sol n'est pas chose aisée: soit qu'ils sont trop petits, soit que leur teneur en eau est très changeante, soit qu'ils ingèrent de la terre (cas des vers de terre).

1.41 Les larves de coléoptères

La biomasse des larves de coléoptères constitue 28% de la biomasse totale de la macrofaune en labour contre 6% en semis direct (Figure 9).

1.42 Les vers de terre

La biomasse des vers de terre en sol labouré (2 g.m⁻²) constitue 5% de celle en semis direct (39 g.m⁻²) (Tableau 11).

En semis direct, elle représente 78% de la biomasse moyenne totale de la macrofaune des sols (Figure 9).

Entre les deux parcelles en semis direct (Figure 10), la différence observée est due à la présence de gros vers de terre géophages à Ibity (sol ferrallitique).

Figure 9: Composition en biomasse de la macrofaune

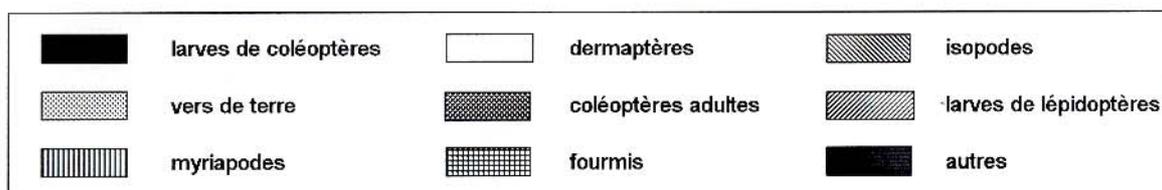
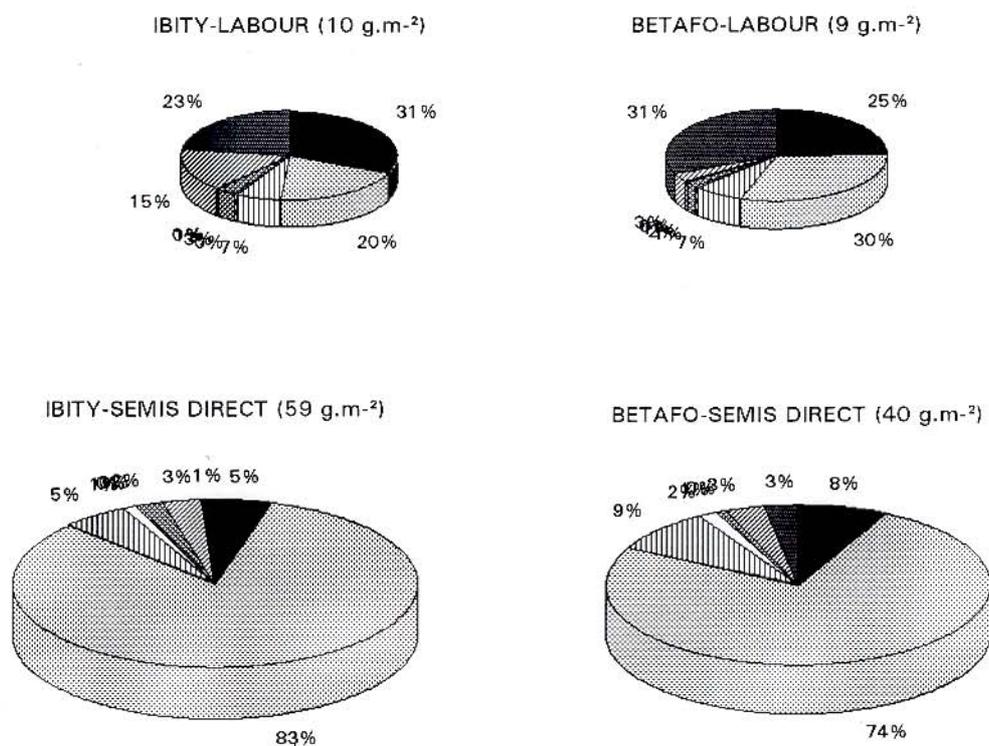


Figure 10: Biomasse moyenne totale de la macrofaune

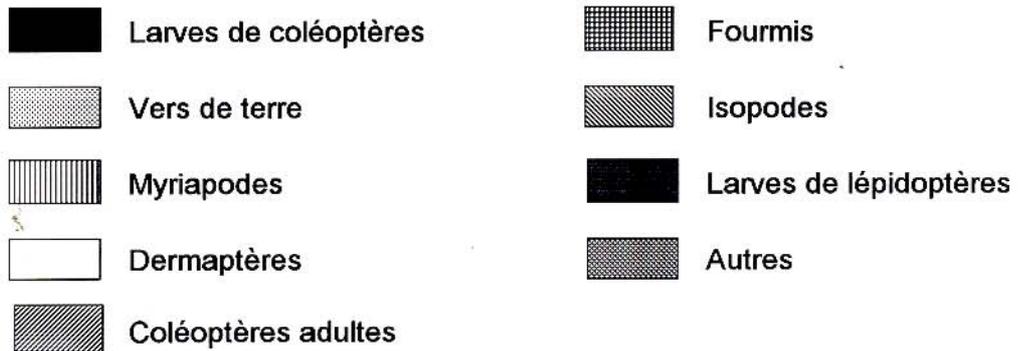
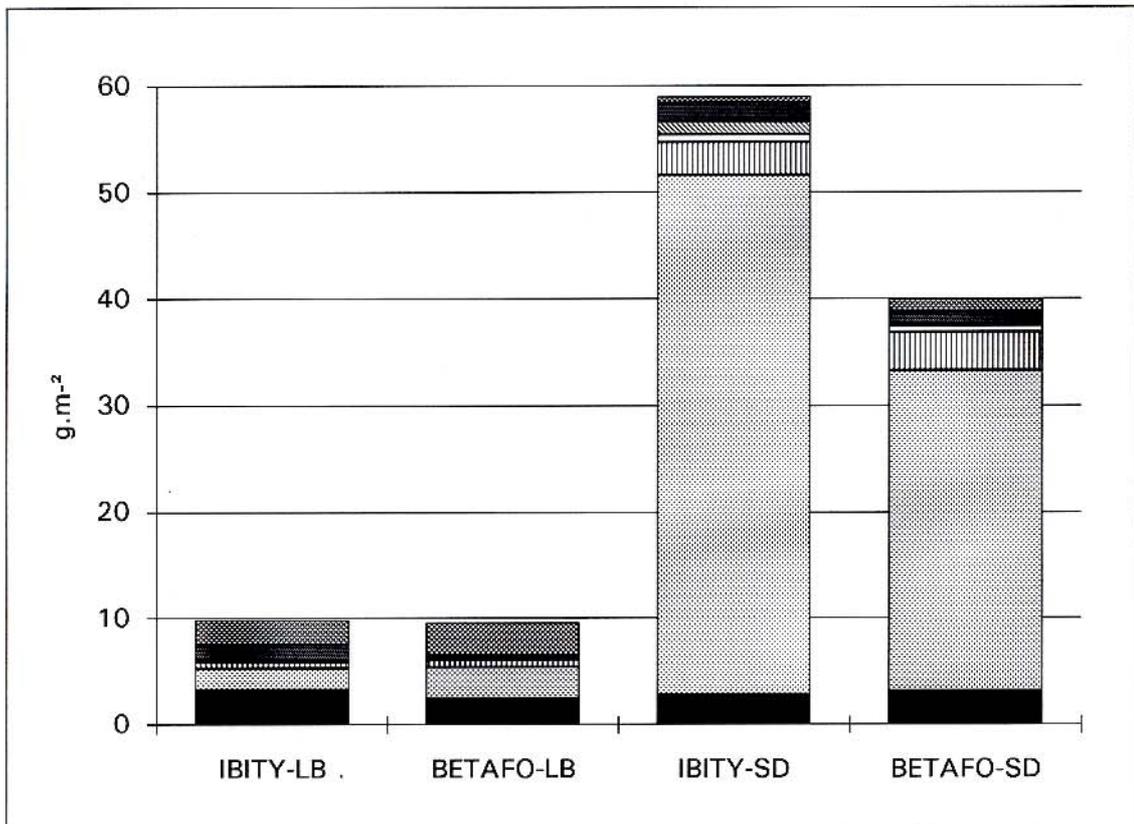
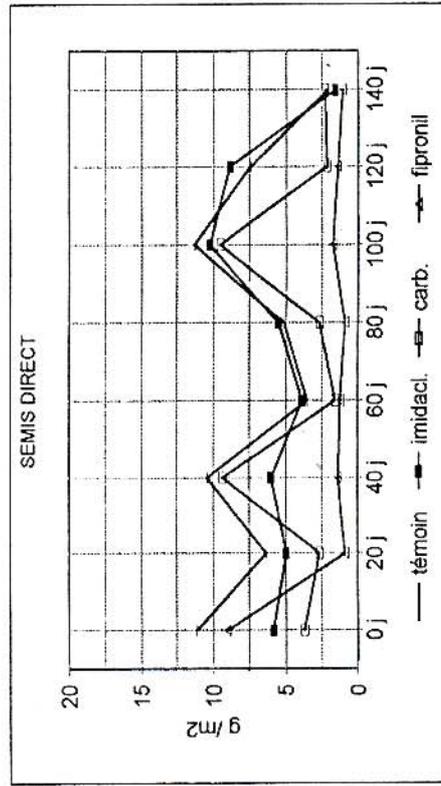
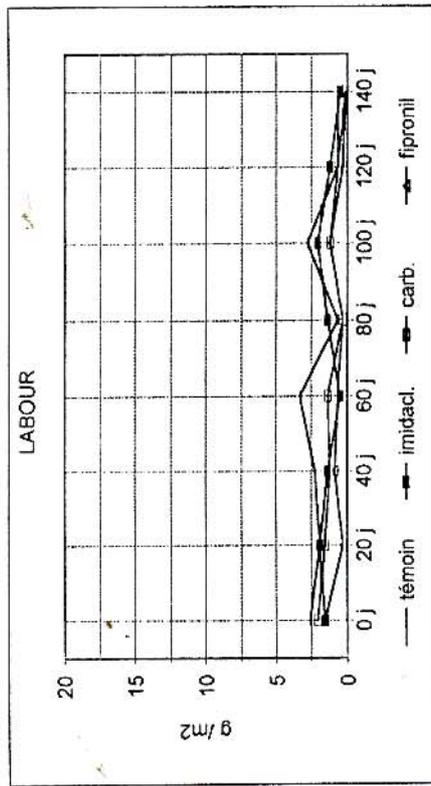


Figure 11: Evolution de la biomasse des vers de terre

BETAFO



IBITY

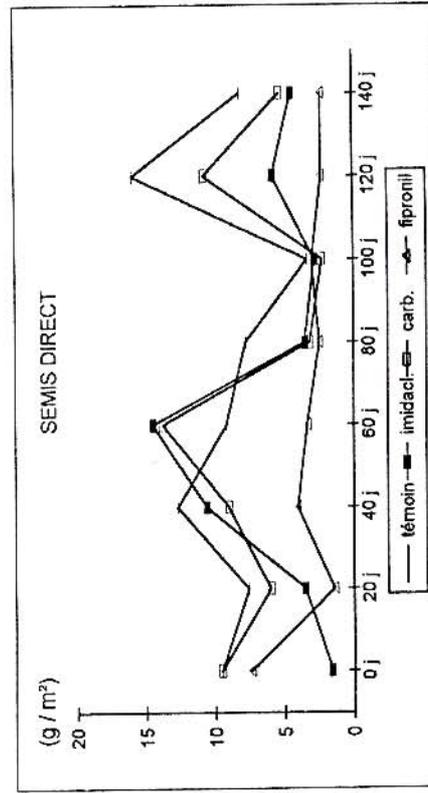
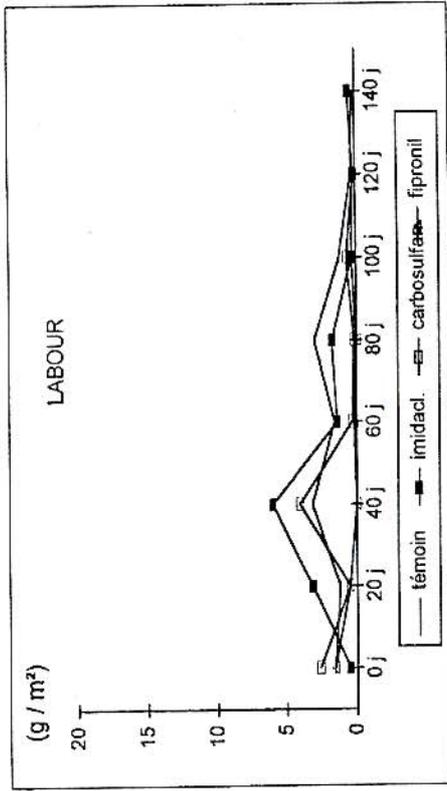
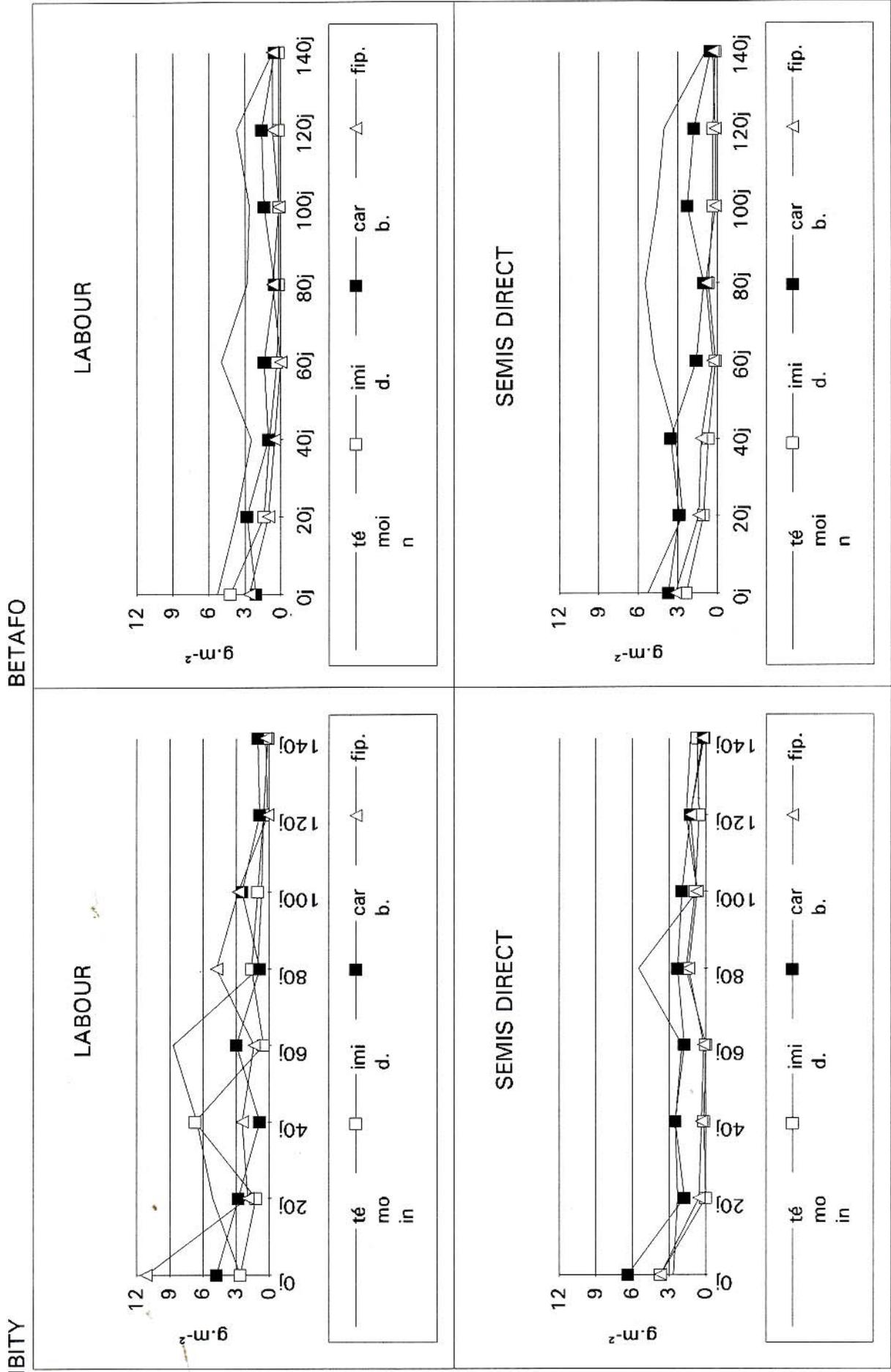


Figure 11a: Evolution de la biomasse des vers blancs



La biomasse varie fortement au cours du temps (Figure 11): cette variation est due à la fois à des migrations profondes des vers de terre qui de ce fait ne sont pas comptabilisés lors des prélèvements dans les horizons superficiels mais aussi à la quantité de terre contenue dans leurs tubes digestifs.

1.43 Les groupes restants

Ces groupes ont des biomasses très faibles comparées à celles des larves de coléoptères et des vers de terre (Tableau 11). Cependant, ils représentent 26% de la biomasse totale de la macrofaune du sol en labour (contre 1% en semis direct) (Figure 9).

1.44 Biomasse moyenne totale de la macrofaune du sol (Figure 10)

Les vers de terre, les larves de coléoptères et les myriapodes dominent en biomasse. Ils constituent 87% de la biomasse totale de la macrofaune du sol.

La biomasse en labour représente 19% de celle observée en semis direct.

1.5 Conclusions

Les deux modes de gestion des sols possèdent le même nombre de groupes taxonomiques (11) mais les dermaptères et les isopodes sont très faiblement représentés en labour.

La densité totale de la macrofaune des sols en labour constitue 56% de celle en semis direct. Les vers de terre les différencient avec 49 ind.m⁻² en semis direct contre 10 ind.m⁻² en labour. Cependant, la densité des vers blancs reste la même avec les deux modes de gestion des sols (30 ind.m⁻²).

La biomasse totale de la macrofaune en labour (9 g.m⁻²) représente 18% de celle en semis direct (49 g.m⁻²). Cette différence est due aux vers de terre dont la biomasse est très faible en labour, constituant seulement 7% de celle en semis direct.

Nous pouvons donc conclure que les parcelles en semis direct sur résidus constituent véritablement un milieu favorable au développement de la macrofaune des sols, dont les vers de terre, les myriapodes et les isopodes, sans toutefois favoriser celle nuisible aux cultures (vers blancs).

2. Effets des traitements insecticides sur la macrofaune du sol

L'utilisation des insecticides de traitement de semences, malgré leur dose réduite, peut influencer le peuplement des macrofaunes des sols. Afin de vérifier cette hypothèse, l'étude de l'évolution des densités des différents groupes faunistiques en fonction des traitements s'avère nécessaire.

La densité trop faible de certains groupes ainsi que la variation de leurs densités trop importante limitent l'appréciation de l'impact des insecticides. De ce fait, seuls 4 groupes sont retenus: les larves de coléoptères, les vers de terre, les myriapodes et les coléoptères adultes.

Dans un premier temps, nous avons analysé la variance des densités en tenant compte 2 facteurs:

- le traitement et
- la date de prélèvement.

Ensuite l'analyse multilocale, en considérant les 4 grandes parcelles (Ibity-labour, Ibity-semis direct, Betafo-labour et Betafo-semis direct), est effectuée au 60ème jour après semis pour les vers blancs et au 100ème jour pour les vers de terre. Le choix de ces dates repose sur l'observation des courbes d'évolution des densités (Figure 12 et 13).

2.1 Efficacité dans la lutte contre les vers blancs

L'analyse factorielle (Annexe 5) montre que le traitement et la date de prélèvement influencent significativement les densités. Par contre l'interaction entre les 2 facteurs n'est pas significative.

Tableau 14: Effets des traitements sur la densité des vers blancs (ind.m⁻²)- l'écart type est entre les parenthèses, dans une même ligne, les valeurs suivies de même lettre ne sont pas significativement différentes (au seuil de 5%)

	témoin	imidaclopride	carbosulfan	fipronil
IBITY-LB	37,1 (25,9) a	10,1 (11,8) b	15,6 (17,6) b	13,1 (15,9) b
BETAFO-LB	31,5 (21,2) a	4,8 (8,4) c	17,1 (16,8) b	4,2 (8,6) c
IBITY-SD	24,9 (22,2) a	5,8 (13,0) c	13,1 (14,5) b	8,3 (13,6) bc
BETAFO-SD	28,7 (16,3) a	5,5 (8,9) c	18,6 (17,6) b	6,8 (10,9) c

Tous les insecticides ont diminué significativement les densités des vers blancs, mais il faut noter les effets hautement significatifs de l'imidaclopride et du fipronil. Ces derniers sont donc plus efficaces dans la lutte contre les vers blancs d'autant plus que leur action est immédiate (Figure 12).

L'analyse multilocale effectuée au 60ème jour après semis confirme les effets hautement significatifs de l'imidaclopride et du fipronil (Tableau 15 et 16).

Tableau 15: Analyse multilocale de la variance des densités des vers blancs au 60ème jour après semis

	S.C.E.	ddl	CARRES M.	Test F	Proba
Total	58799,2	143			
Traitement	25534,3	3	8511,4	38,20	0,000
Blocs	6530,8	8	816,3	3,66	0,018
Essais	83,1	3	27,7	0,12	0,201
Interaction TxE	802,2	9	89,1	0,40	0,187
Résiduelle	26734,1	120	222,7		

Ce tableau nous montre que:

- le traitement et les blocs influencent les variations des densités des vers blancs;
- les essais et leur interaction avec les traitements n'ont pas d'effets significatifs.

Tableau 16: Test de Newman-Keuls (seuil 5%) et les groupes homogènes- l'écart type est entre les parenthèses

$$\text{Traitement: ppds} = 1,95 \times [(2 \times 222,7)/36]^{1/2} = 6,85 \text{ ind.m}^{-2}$$

	témoin	imidaclopride	carbosulfan	fipronil
MOYENNES	36,2 (36,3) a	3,9 (3,9) c	14,5 (14,5) b	4,8 (4,8) c

2.2 Influences sur les vers de terre

L'analyse factorielle de la variance (Annexe 6) montre:

- des effets significatifs des traitements insecticides à Ibity en labour et à Betafo en semis direct,

- des interactions significatives des traitements avec les essais d'une part et avec les dates de prélèvement d'autre part à Betafo en semis direct.

Tableau 17: Effets des traitements sur la densité des vers de terre (ind.m⁻²)- l'écart type est entre les parenthèses, dans une même ligne les valeurs suivies de même lettre ne sont pas significativement différents (au seuil de 5%)

	témoin	imidaclopride	carbosulfan	fipronil
IBITY-LB	9,09 (13,7) a	8,3 (14,3) a	5,8 (11,5) ab	2,78 (8,0) b
BETAFO-LB	11,7 (17,5) a	11,6 (14,0) a	10,3 (14,7) a	5,5 (9,1) a
IBITY-SD	43,4 (34,2) a	38,3 (34,1) a	44,1 (36,4) a	28,2 (25,2) a
BETAFO-SD	55,6 (46,3) a	48,9 (39,5) a	44,4 (29,17) a	18,9 (18,8) b

A Betafo, en semis direct, le fipronil diminue significativement la densité des vers de terre. Cet effet est observé au 100 et 120ème jour après semis (Figure 13).

Le même effet se produit à Ibity et ces résultats sont confirmés par l'analyse multilocale effectuée au 100ème jour après semis (Tableau 18-19).

Figure 13: Effets des traitements insecticides sur les densités des vers de terre

IBITY

BETAFO

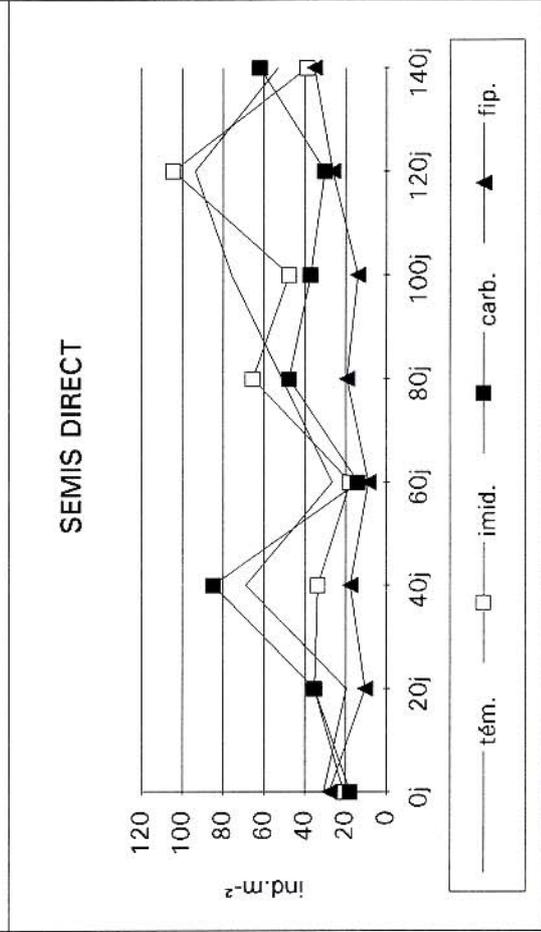
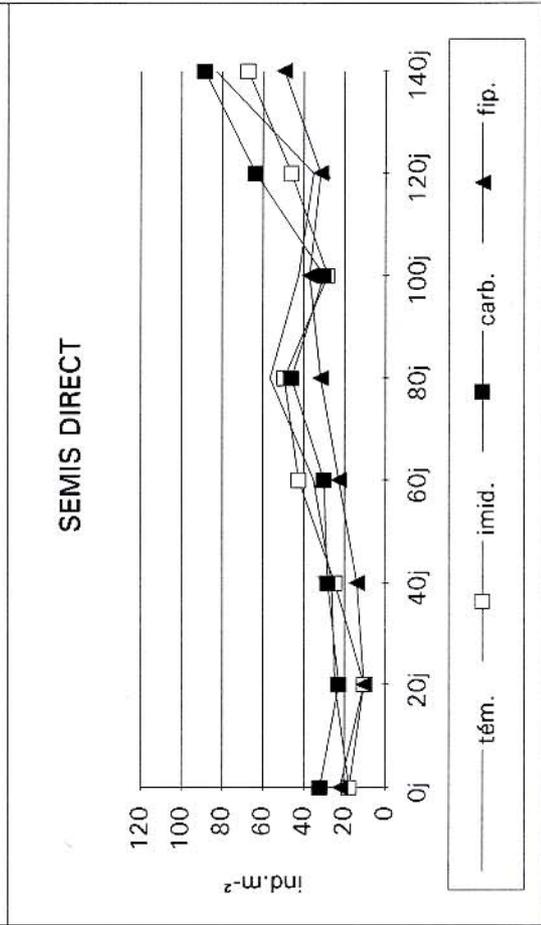
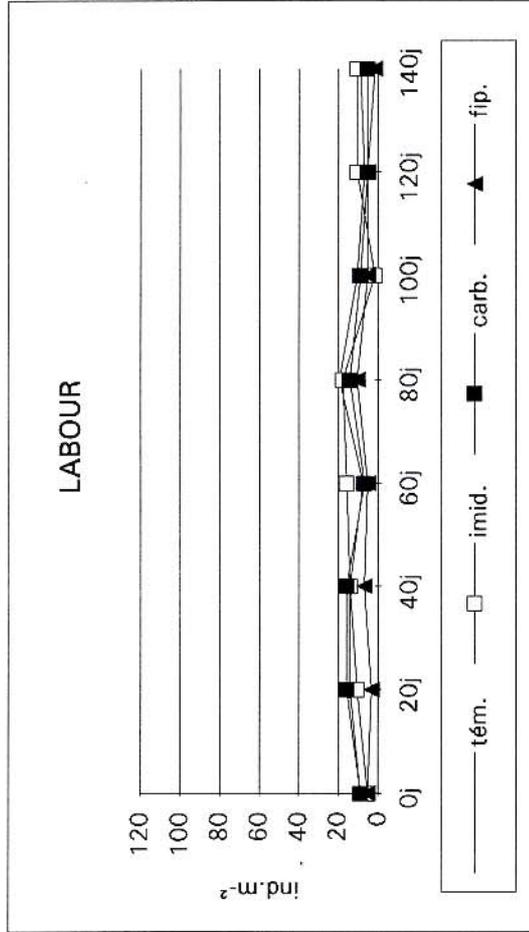
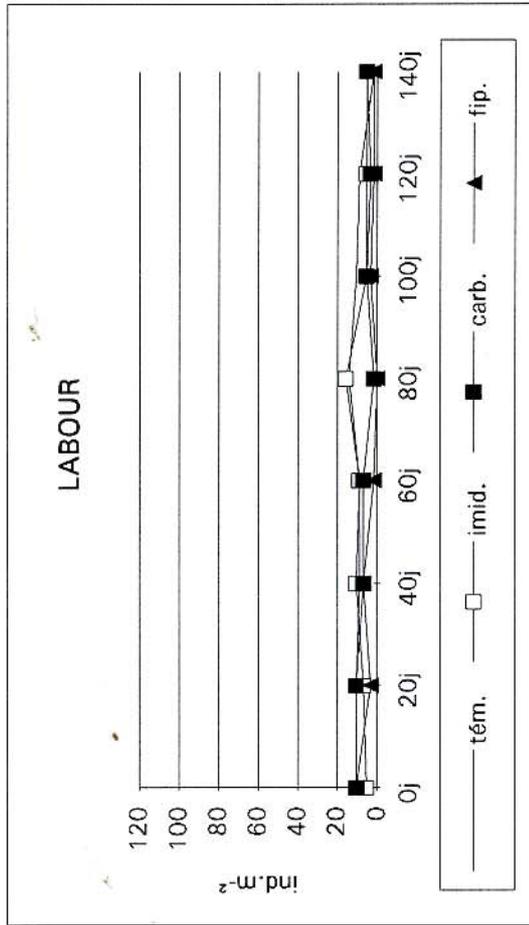


Tableau 18: Analyse multilocale de la variance des densités des vers de terre au 100ème jour après semis

	S.C.E.	ddl	CARRES M.	Test F	Proba.
Total	127191,6	143			
Traitement	23258,7	3	7752,9	12,36	0,002
Blocs	28722,1	8	3590,2	5,72	0,011
Essais	420,2	3	140,0	0,22	0,111
Interaction TxE	179355,8	9	19928,4	31,79	0,002
Résiduelle	75210,8	120	626,7		

Ce tableau nous montre, au seuil de probabilité de 5%, que:

- le traitement et les blocs influencent la variation des densités des vers de terre,
- les essais n'ont pas d'effets sur ces dernières et
- l'interaction entre le traitement et les essais sont aussi significatifs.

Tableau 19: Test de Newman-Keuls (seuil 5%) et les groupes homogènes- l'écart type est entre les parenthèses

-Traitement: $ppds = 1,95 \times [(2 \times 626,7)/36]^{1/2} = 11,50 \text{ ind.m}^{-2}$

	témoin	imidaclopride	carbosulfan	fipronil
MOYENNES	30,39	27,15	30,98	15,01
	(29,3)	(26,2)	(29,9)	(14,5)
	a	a	a	b

2.3 Influences sur les myriapodes

Les analyses de variance (Annexe 7) montrent que les effets des traitements sont significatifs à Betafo en labour.

Tableau 20: Effets des traitements sur la densité des myriapodes (ind.m⁻²)- l'écart type est entre les parenthèses; dans une même ligne, la même lettre indique que la différence n'est pas significative (seuil de probabilité 5%)

	témoin	imidaclopride	carbosulfan	fipronil
IBITY-LB	4,04 (6,9) a	1,77 (5,6) a	2,02 (5,7) a	2,02 (5,3) a
BETAFO-LB	4,54 (9,3) a	3,03 (8,2) ab	0,76 (3,1) b	1,77 (5,2) ab
IBITY-SD	9,84 (13,4) a	8,83 (11,5) a	8,33 (10,7) a	7,32 (9,6) a
BETAFO-SD	9,09 (18,2) a	10,85 (14,5) a	7,57 (10,1) a	11,11 (17,9) a

Ce tableau nous montre que le carbofuran influence significativement la densité des myriapodes à Betafo en labour. Toutefois, ce résultat n'est pas fiable du fait de la variation très importante de la densité de ce groupe dans les sols.

2.4 Influences sur les coléoptères adultes

Les analyses de variance (Annexe 8) montrent que les traitements insecticides n'influencent pas les densités des coléoptères adultes.

Leur dispersion sur les supports alimentaires ou de ponte et leur activité nocturne diminue la probabilité que les coléoptères adultes entrent en contact avec les matières actives.

La lutte chimique est difficile voire inefficace pour lutter contre les adultes, elle se concentre donc sur les larves.

2.5 Conclusions

Dans la lutte contre les vers blancs, l'imidaclopride et le fipronil sont plus efficaces par rapport au carbosulfan: leur action est immédiate et elles ont une excellente capacité de réduire la population (76% contre 48% avec le carbosulfan).

Cependant, le fipronil a diminué la population des vers de terre de 33% en semis direct sur sols volcaniques.

Les insecticides n'ont pas d'impacts vis à vis des myriapodes et des coléoptères adultes.

Nous avons donc pu dégager de cette expérimentation les effets des insecticides de traitement de semences sur la macrofaune des sols, néanmoins, certains résultats ne sont que des tendances à la réalité car l'hétérogénéité naturelle de la population de macrofaune des sols entraîne des imprécisions dans les analyses statistiques.

B- LES PROFILS CULTURAUX

1. Influences du mode de gestion des sols

L'examen des profils culturaux renseigne les influences du mode de gestion des sols sur les propriétés physico- chimiques et biologiques.

L'étude est effectuée à la floraison (70 jours après semis) qui correspond au développement optimum des racines et des nodules du soja.

1.1 Sols ferrallitiques (Schéma 5)

1.11 En labour

De 0 à 25 cm de profondeur, le sol est de couleur brun-rouge, pauvre en matière organique, de bonne structure à texture argilo- sableuse.

Au-delà de 25 cm, on a un horizon caillouteux de couleur rouge à structure compacte et texture argilo- sableuse.

La racine fasciculée se développe jusqu'à 25 cm tandis qu'une principale descend jusqu'à 60 cm.

Neuf individus de macrofaune ont été dénombrés, constitués de 5 larves de coléoptères, 2 larves de diptères et 2 vers de terre.

1.12 En semis direct

A la surface se dépose une litière en décomposition, constituée de paille et de résidus de maïs; au-dessous le sol est riche en turricules de vers de terre ce qui favorisent la formation des agrégats.

De 0 à 25 cm, on a un horizon de couleur brun foncé, humide, à structure grumeuleuse et texture argilo-sableuse.

A partir de 25 cm, le sol devient rouge à structure massive. L'horizon est caillouteux à 60 cm de profondeur.

On a de bon enracinement dans la couche supérieure, des ramifications se développent à 40 cm en profitant des galeries et des racines sont rencontrées jusqu'à 50 cm de profondeur.

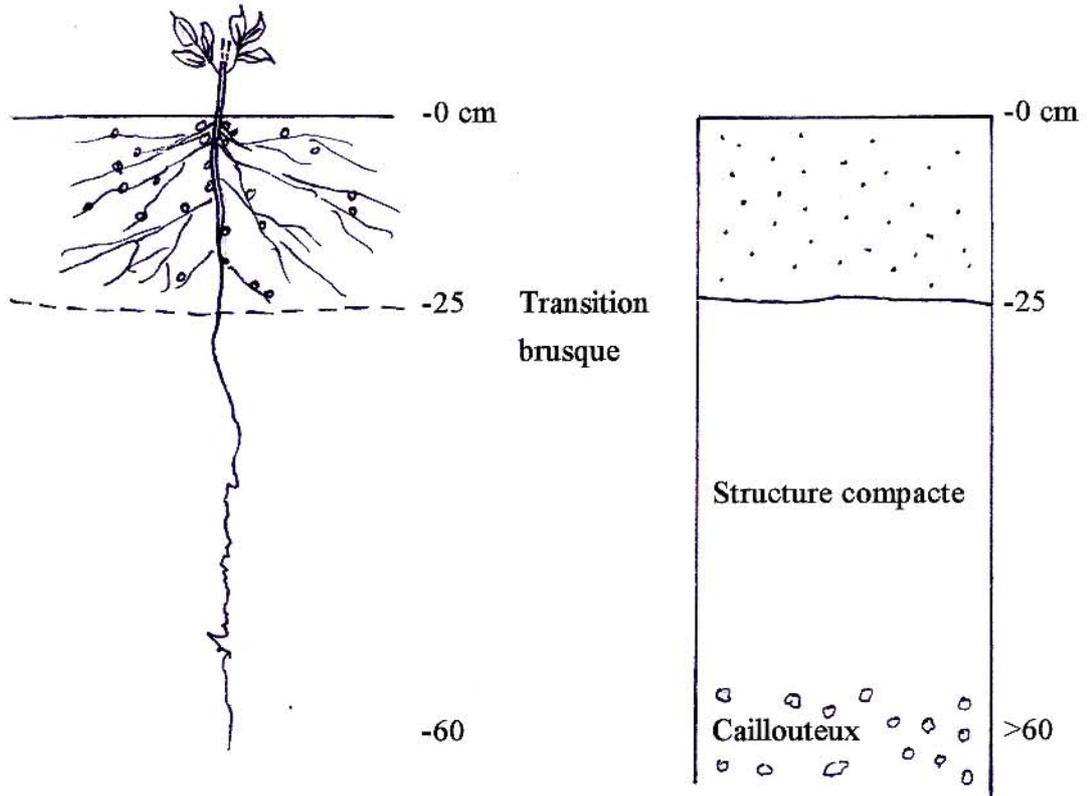
La litière se décomposant à la surface favorise la macrofaune des sols dont on a compté 24 individus.

Malgré sa mise en culture très récente en semis direct (deux années), le sol possède déjà une structure favorable au développement de la racine fasciculée du soja grâce aux activités de la macrofaune.

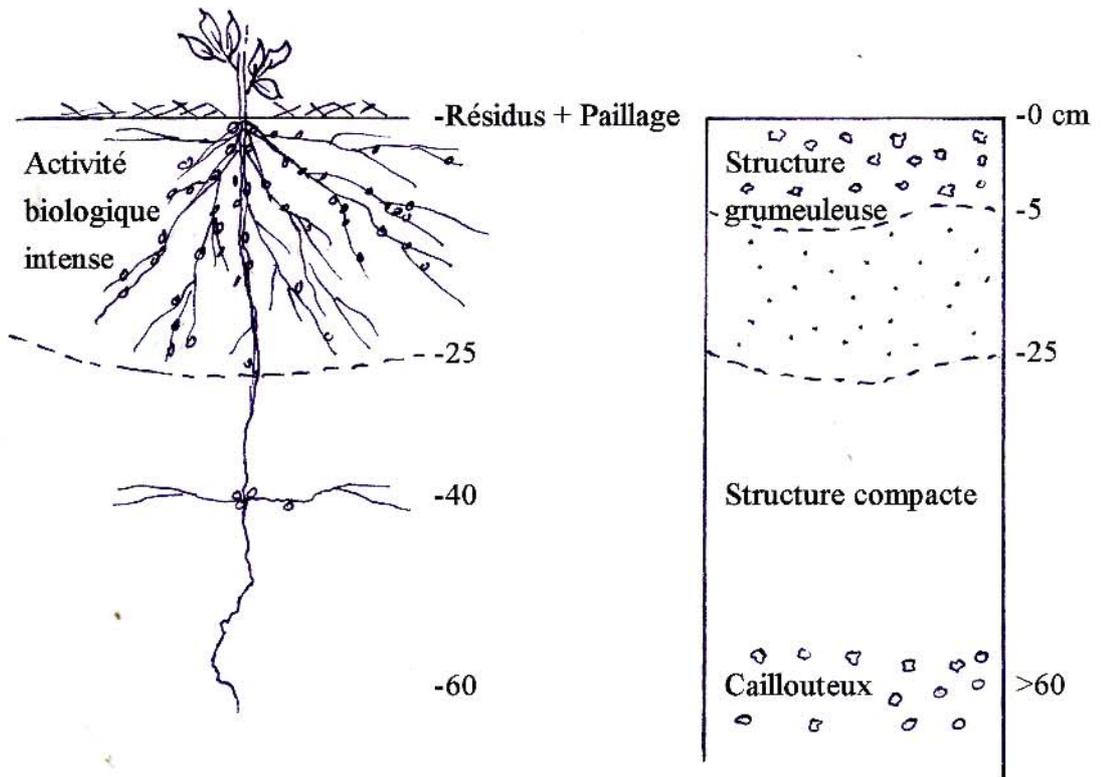
Schéma 5: Les profils culturaux en sols ferrallitiques (Site Ibity)

Stade floraison du soja (70 jours après semis)

EN LABOUR



EN SEMIS DIRECT



1.2 Sols volcaniques (Schéma 6)

1.21 *En labour*

De 0 à 20 cm, le sol est riche en matière organique, de couleur brun-foncé à structure poudreuse et de texture sablo-limoneuse.

A partir de 20 cm, la teneur en matière organique devient faible, l'horizon est de couleur brun clair, de consistance très friable (formé de scories) et à texture limono-sableuse.

Les racines secondaires se développent jusqu'à 20 cm de profondeur. Au-delà, la racine principale pénètre difficilement en profondeur et s'arrête à 50 cm.

L'absence d'agrégats stables en surface et la transition brusque entre l'horizon superficiel et celui sous-jacent montrent que l'activité biologique dans ce sol est réduite. Le nombre de macrofaunes recensé en témoigne (9 individus).

1.22 *En semis direct*

A la surface, la litière en décomposition tapisse le sol. Elle est constituée de pailles et de résidus de maïs; au-dessous de laquelle, jusqu'à 10 cm de profondeur, le sol est de couleur brun foncé et a une structure grumeuleuse. Sa limite avec l'horizon sous-jacent est progressive.

Cette couche est le fruit des activités de la macrofaune des sols en particulier les vers de terre qui, en ramenant en surface leurs turricules, contribuent à la formation des agrégats.

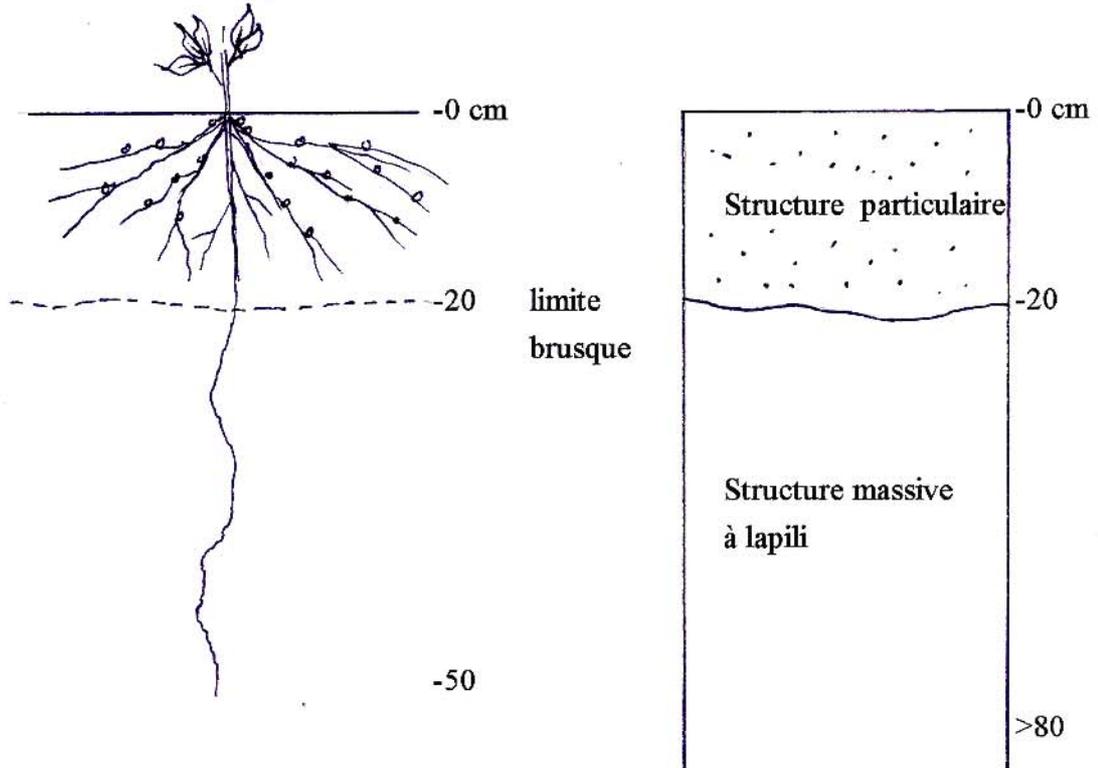
De 10 à 30 cm de profondeur, on retrouve l'horizon originel à structure particulière.

La racine fasciculée se développe jusqu'à 30 cm de profondeur à partir de laquelle elle est réduite à une principale et à des ramifications secondaires profitant des galeries faunistiques. La racine s'arrête à 70 cm de profondeur.

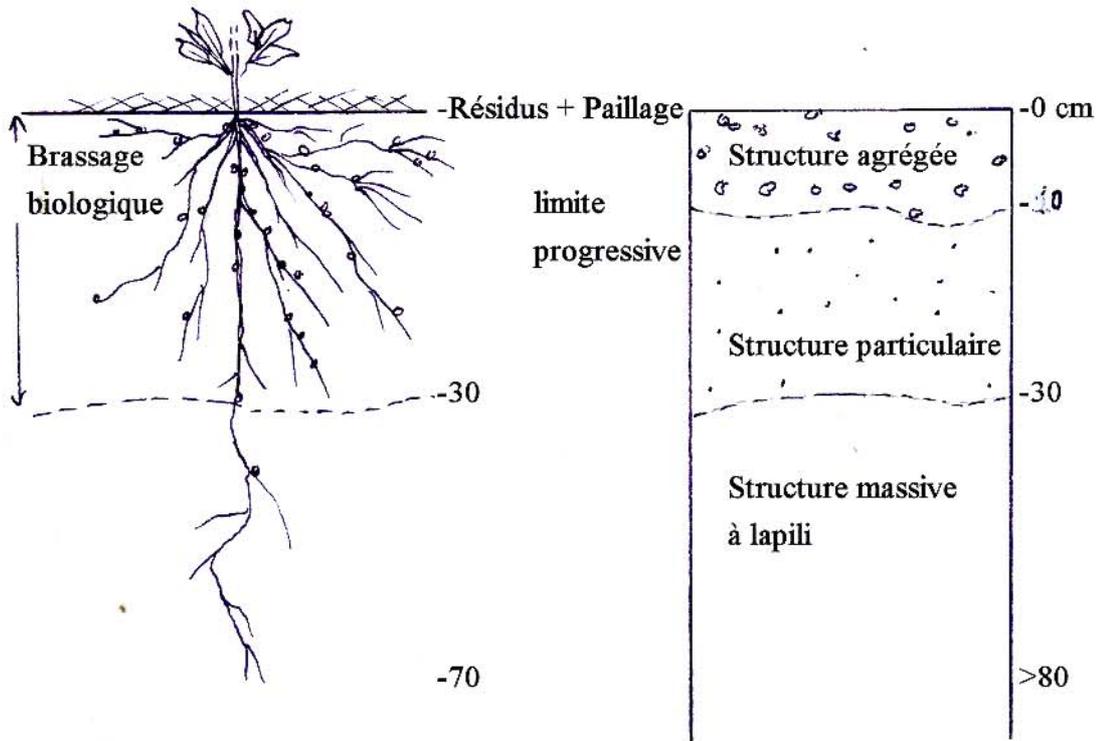
Schéma 6: Les profils culturaux en sols volcaniques (Site Betafo)

Stade floraison du soja (70 jours après semis)

EN LABOUR



EN SEMIS DIRECT



2. Effets des traitements sur la nodulation

Les traitements insecticides peuvent affecter la nodulation. Dans l'objectif de vérifier cette hypothèse, nous avons étudié la biomasse des nodules et le pourcentage de celles qui sont actives.

L'échantillonnage est effectué au 70ème jour après semis: 10 poquets (20 pieds de soja) ont été prélevés. Les nodules sont récupérées et pesées avec une balance de précision. Les pourcentages des nodules actives dont l'intérieur est coloré en rose, sont aussi estimés.

Tableau 21: Analyse de variance et test de Newman-Keuls sur les biomasses nodulaires (au seuil de 5%)

Ibity-Labour

	S.C.E.	ddl	CARRES M.	Test F	Proba
Total	25,98	39			
Entre-classe	11,22	3	3,74	9,12	0,009
Résiduelle	14,76	36	0,41		

$$\text{ppds: } 1,95 \times [(2 \times 0,41)/10]^{1/2} = 0,55 \text{ g/UP(*)}$$

Ibity-Semis direct

	S.C.E.	ddl	CARRES M.	Test F	Proba
Total	11,4	39			
Entre-classe	8,12	3	2,70	29,63	0,002
Résiduelle	3,28	36	0,09		

$$\text{ppds: } 1,95 \times [(2 \times 0,91)/10]^{1/2} = 0,26 \text{ g/UP}$$

Betafo-Labour

	S.C.E.	ddl	CARRES M.	Test F	Proba
Total	20,26	39			
Entre-classe	2,94	3	0,98	2,04	0,040
Résiduelle	17,32	36	0,48		

$$\text{ppds: } 1,95 \times [(2 \times 0,48)/10]^{1/2} = 0,60 \text{ g/UP}$$

(*)UP: unité de prélèvement

Betafo-Semis direct

	S.C.E.	ddl	CARRES M.	Test F	Proba
Total	45,17	39			
Entre-classe	6,88	3	2,295	2,15	0,038
Résiduelle	38,28	36	1,063		

$$ppds: 1,95 \times [(2 \times 0,063)/10]^{1/2} = 0,89 \text{ g/UP}$$

Tableau 22: Les groupes homogènes de biomasses nodulaires- l'écart type est entre les parenthèses; la même lettre dans une même ligne indique que la différence n'est pas significative (au seuil de 5%)

	témoin	imidaclopride	carbosulfan	fipronil
IBITY-LB	4,23 (0,67) a	4,10 (0,64) a	4,64 (0,73) a	3,19 (0,50) b
BETAFO-LB	3,64 (0,72) a	3,52 (0,69) a	3,78 (0,75) a	3,02 (0,59) b
IBITY-SD	4,27 (0,31) a	4,11 (0,30) a	4,13 (0,30) a	3,56 (0,26) b
BETAFO-SD	4,62 (1,06) ab	4,23 (0,97) ab	5,06 (1,16) a	3,96 (0,91) b

L'analyse de variance (Tableau 21-22) montre que les biomasses des nodules des plantes traitées au fipronil sont significativement plus faibles par rapport à celles des autres traitements.

Par contre l'analyse des pourcentages des nodules actives (Annexe 9) révèle qu'il n'y a pas différence significative entre les traitements et en moyenne 57% des nodules sont actives.

Le fipronil affecte donc la nodulation en diminuant la biomasse sans toutefois influencer le pourcentage des nodules actives.

3. Résultats des analyses chimiques de sols (Tableau 23)

3.1. Matière organique et azote

3.11 Ibity

Les taux de matière organique sont toujours faibles (de 5 à 6,5%) ce qui engendre des valeurs du rapport C/N très élevées que ce soit en jachère (25) ou en sols cultivés (23 et 26).

En 3 années d'expérimentation, on constate déjà les effets du semis direct sur la teneur en matière organique du sol même si les valeurs ne sont pas encore satisfaisantes.

3.12 Betafo

Les sols sont reconnus par leur richesse en matière organique. L'analyse montre une variation du taux de 12 à 15%. La teneur en azote totale (4,77 et 5,18) et le rapport C/N (17) sont élevés ce qui reflètent la mauvaise décomposition de la matière organique: bien que très abondantes elles sont très difficilement accessible à la minéralisation et à la nitrification (RAUNET, 1991).

Tableau 23 : Résultats des analyses de sols (L.R.I.-Antananarivo)

	Sols ferrallitiques (Site IBITY)			Sols volcaniques (Site BETAFO)		
	JACHERE		MAÏS	SEMIS DIRECT sur		SEMIS DIRECT sur
	TEMOIN	LABOUR	SEMIS DIRECT sur desmodium avec écobuage*	LABOUR	RESIDUS	Desmodium avec écobuage*
Mat. organique totale %	5,62	4,98	6,55	15,2	13,79	12,5
Carbone organique totale %	3,27	2,89	3,81	8,84	8,01	7,26
Azote totale	1,29	1,11	1,66	5,18	4,77	3,31
C/N	25	26	23	17	17	22
pH eau	4,78	5,42	5,48	5,65	5,82	5,85
pH KCl	4,03	4,36	4,48	4,57	4,62	4,75
Ca méq/100g	0,15	0,78	1,04	2,38	3,2	2,61
Mg méq/100g	0,02	0,44	0,67	0,97	1,3	1,13
K méq/100g	0,03	0,06	0,18	0,06	0,05	0,11
Na méq/100g	0,06	0,06	0,05	0,07	0,06	0,05
Phosphore assimilable (Olsen) ppm P	2	5	4	9	28	9
Phosphore total ppm P	376	283	412	2701	3013	2620

(*) Ecobuage réalisé en septembre 1996

3.2. pH

A Ibity, l'analyse révèle un pH fortement acide surtout pour les sols en jachère (4,78).

A Betafo, les pH compris entre 5,60 et 5,90 sont moyennement acides. Dans tous les cas, le semis direct diminue sensiblement l'acidité des sols.

3.3. Bases échangeables

Les bases échangeables sont de très faible quantité à Ibity que ce soit en jachère ou en sols cultivés malgré les apports de dolomie.

Les sols volcaniques en sont riches plus particulièrement en calcium et en magnésium provenant de l'amendement. Les sols en semis direct sur résidus se distinguent nettement.

3.4. Phosphore

A Ibity, les sols ont une teneur en phosphore (total et assimilable) très faible.

Les sols volcaniques, dans les 20 premiers cm à teneur en matière organique élevée, sont très riches en P total pouvant atteindre 3000 ppm. Le phosphore assimilable reste faible en labour alors qu'il est plus abondant en semis direct sur résidus.

Notons que les résultats d'analyse ne nous renseignent pas suffisamment sur l'état du complexe adsorbant faute des valeurs de la Capacité d'Echange Cationique (CEC).

C- LES DEGÂTS AUX CULTURES

1. Effets du traitement

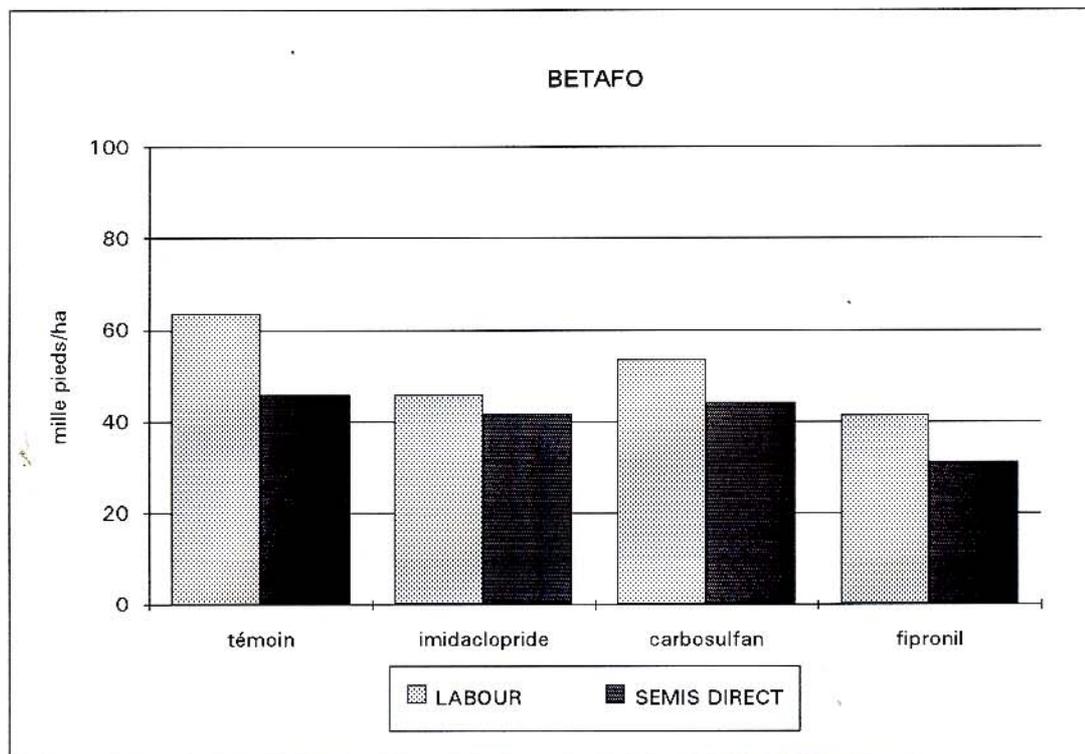
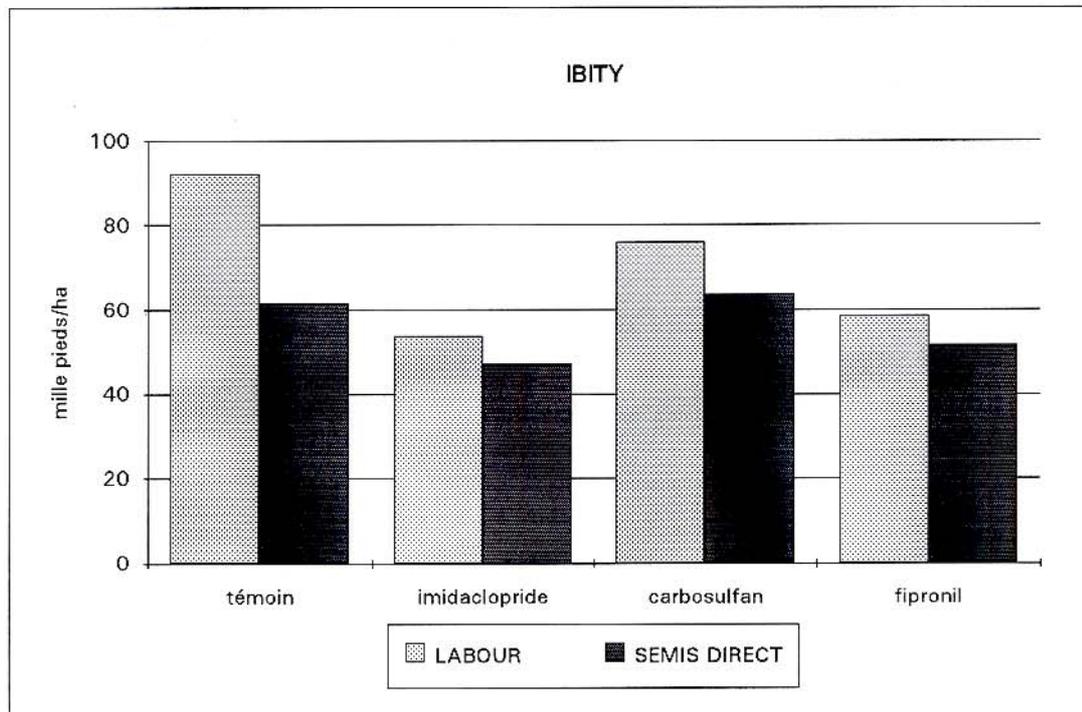
En sol labouré, les dégâts sont nettement plus faibles avec les traitements insecticides. Par contre ces derniers n'ont pas d'effets significatifs en semis direct comparés au témoin (Figure 15).

La protection de la culture s'avère donc nécessaire en labour tandis que la couverture permet d'atténuer les dégâts en semis direct: cela est due probablement au comportement du ravageur qui trouve plus de nourriture avec la couverture couvrant le sol et ne s'attaque plus à la culture.

2. Influences du mode de gestion des sols

Comme nous avons déjà évoqué précédemment la pression du ravageur a été plus faible en semis direct comparé au labour où seule la culture constitue principalement la source de nourriture des vers blancs (Figure 15).

Figure 15: Nombre de pieds manquants au 30ème jour après semis



3. Les maladies et autres dégâts observés

On a assisté à une attaque de chenilles défoliatrices (*Pyrausta cardui*) à Betafo au 60ème jour après semis du soja. Toutes les parcelles étaient touchées que ce soit en labour ou en semis direct et les traitements n'ont pas d'effets significatifs sur l'importance des dégâts.

Etant donné que l'attaque est généralisée et qu'elle se manifeste à un stade critique du développement de la culture (début floraison), des traitements chimiques sont appliqués. Pour ce faire, nous avons utilisé le KARATE (pyréthriinoïdes) à une dose de 7,5 g/ha.

D- LES RENDEMENTS

1. Influences du traitement

Pour mettre en évidence statistiquement ces effets, les blocs en labour et ceux en semis direct sont considérés ensemble constituant ainsi les répétitions.

Les comparaisons des 4 moyennes (témoin, imidaclopride, carbosulfan et fipronil) sont donc effectuées avec 8 répétitions à Ibity et 6 à Betafo.

1.1 Site Ibity

Les effets du traitement ne sont significatifs que sur les densités (Tableau 24) malgré le rendement, apparemment meilleur, obtenu avec l'imidaclopride et le carbosulfan (Figure 21).

Le nombre de répétitions est insuffisant pour mettre statistiquement en évidence les effets positifs de ces insecticides sur le rendement.

Figure 17: densité des plantes à Ibity

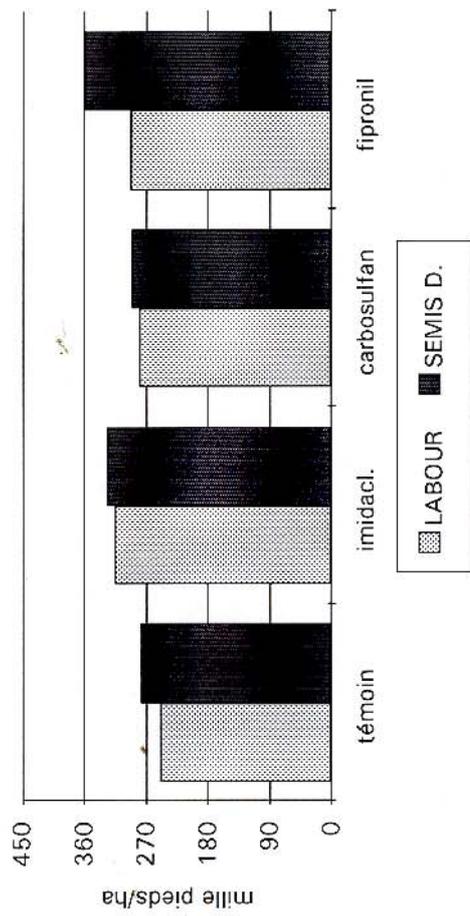


Figure 19: densité des plantes à Betafo

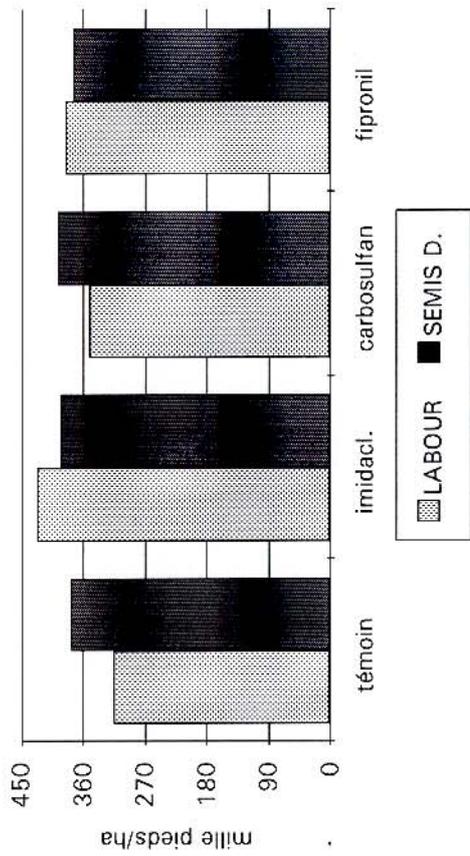


Figure 18: nombre de gousses par plante à Ibity

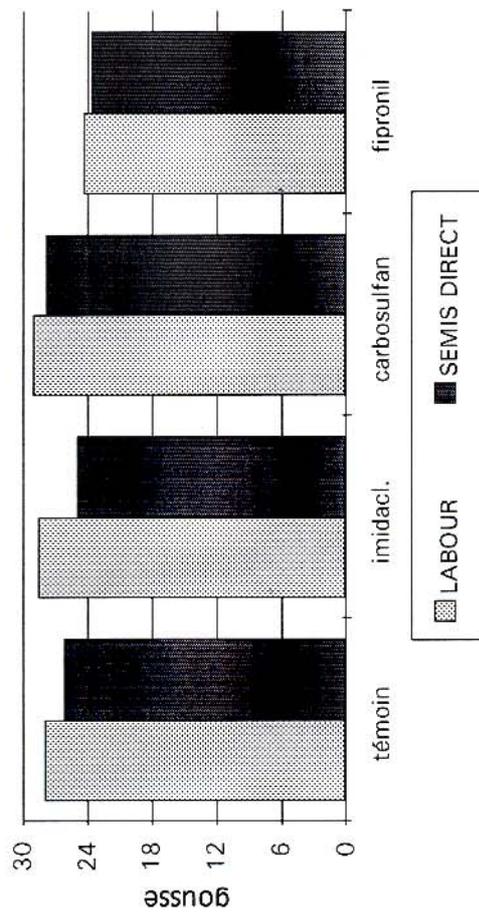


Figure 20: nombre de gousses par plante à Betafo

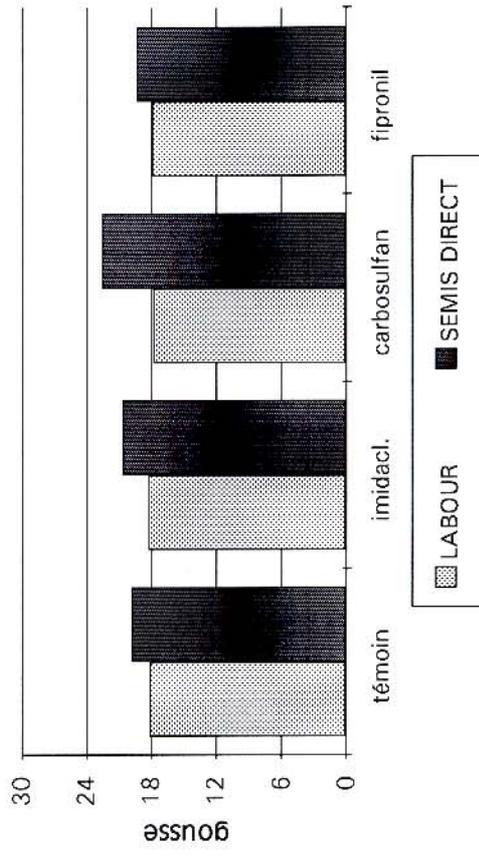


Figure 21: rendement en graines à Ibity

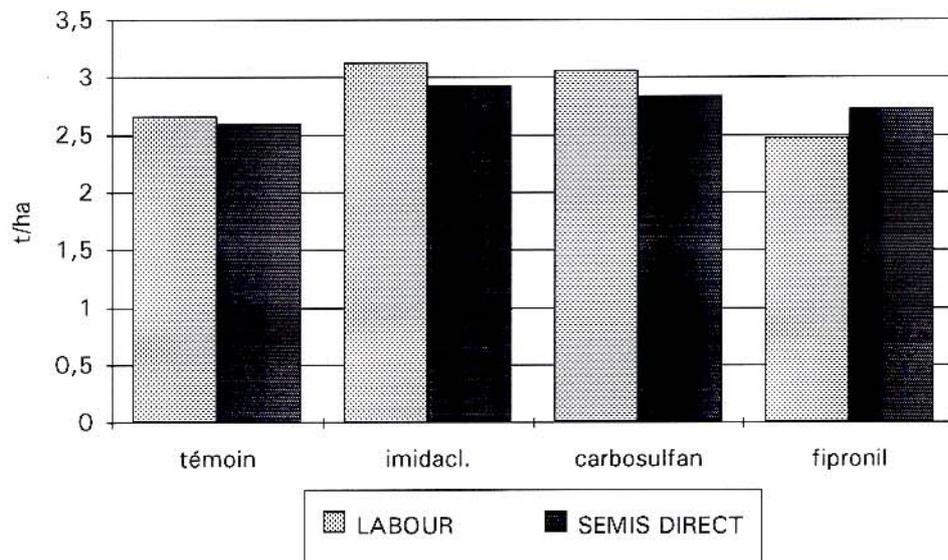


Figure 22: rendement en graines à Betafo

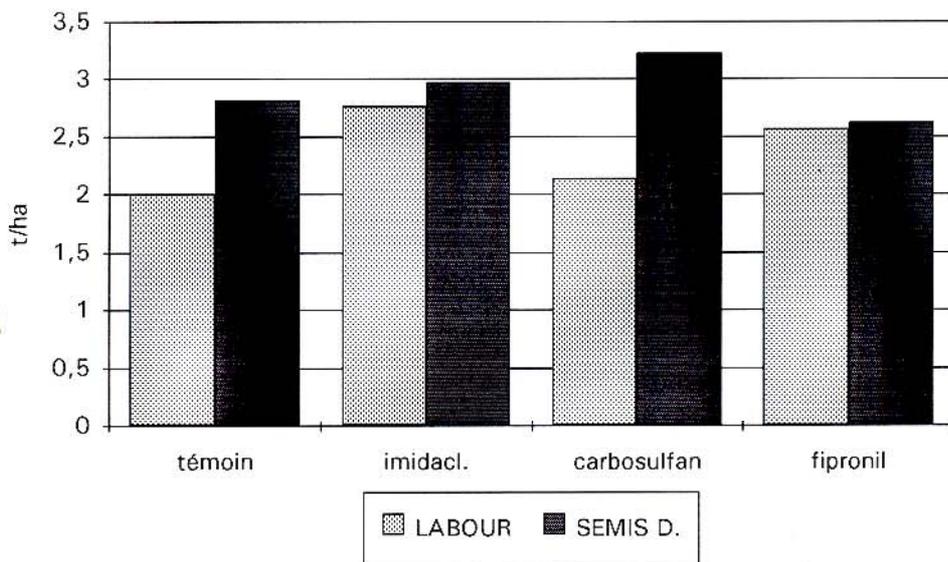


Tableau 24: Analyse de variance des densités des plantes à Ibity

	ddl	CARRES M.	Test F	Proba.	E.T.	C.V.
Totale	31	1712,51				
Traitement	3	7572,55	7,20	0,001		
Blocs	7	1182,26	1,12	0,385		
Résiduelle	21	1052,11			32,43	10,8%

Les effets des traitements sont significatifs.

Test de DUNETT au seuil de 5%

ppes = 41,32

FIP 325,6

IMI 325,3 > TEM

CAR 285,5

TEM 263,4 = TEM

L'imidaclopride (IMI) et le fipronil (FIP) ont donc confirmé leur efficacité dans la protection des plantes mais seuls l'imidaclopride et le carbosulfan ont donné des rendements supérieurs au témoin (Figure 21):

La diminution de la biomasse nodulaire par le fipronil (cf. IVB-2) a influencé le nombre de gousses formés (Figure 18) et malgré la densité de plante élevée obtenue avec cet insecticide, le rendement en graines reste faible.

Par contre, avec le carbosulfan, même si la densité des plantes est plus faible, le nombre de gousses suffisamment élevé a permis d'obtenir de bons rendements (Figure 18).

1.2 Site Betafo

Les traitements insecticides n'ont pas d'effets significatifs sur le rendement (Tableau 25). Ce résultat est dû aux chutes de grêles qui ont perturbé les données sur le nombre de gousses par plante.

Néanmoins on observe des rendements supérieurs au témoin avec l'imidaclopride dans les deux modes et avec le carbosulfan en semis direct (Figure 22). Les densités des plantes obtenues avec l'imidaclopride (Figure 19) et le nombre de gousses avec le carbosulfan (Figure 20) plus élevés ont donné ces résultats.

Figure 23: densité des plantes

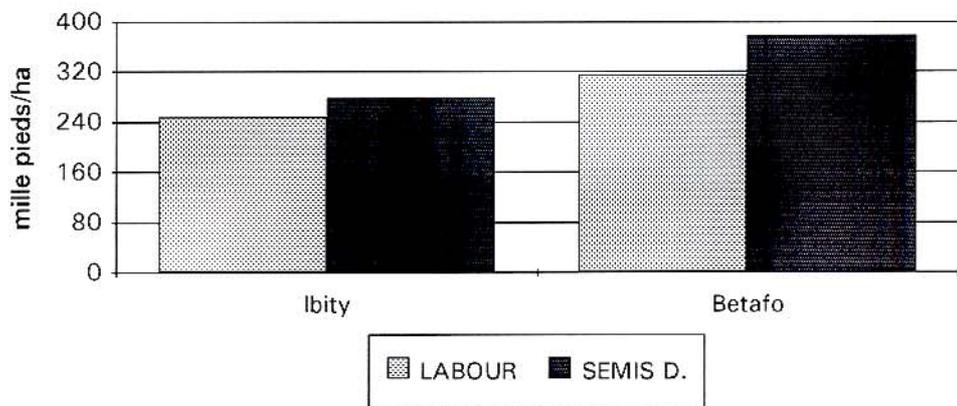


Figure 24: nombre de gousses par plante

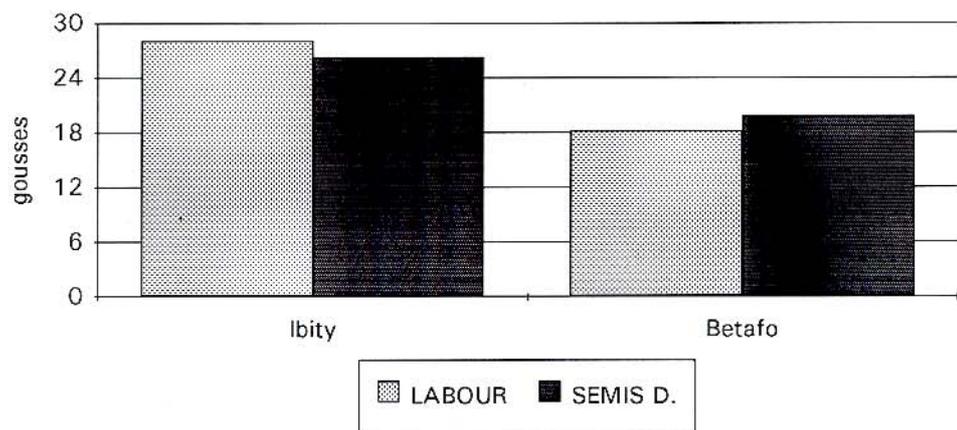


Figure 25: rendement en graines

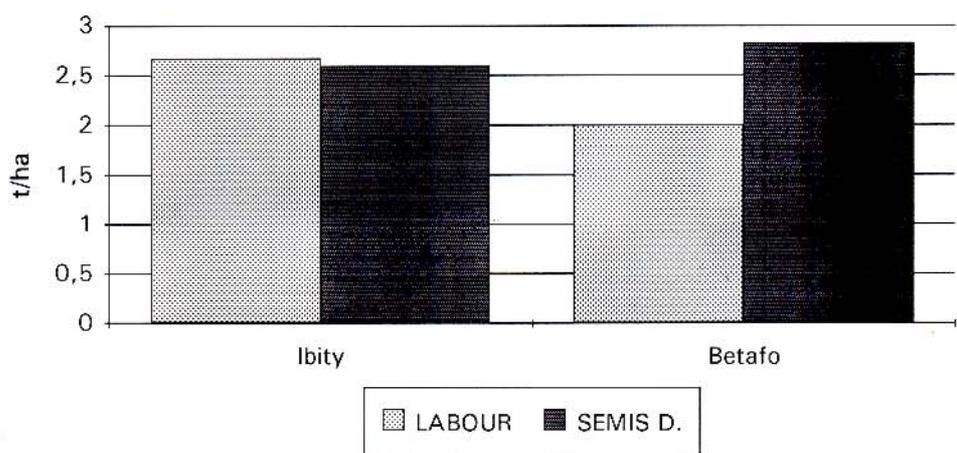


Tableau 25: Analyse de variance des rendements en graines à Betafo

	ddl	CARRES M.	Test F	Proba.	E.T.	C.V.
Totale	23	411022,53				
Traitement	3	211446,33	0,59	0,637		
Blocs	5	680033,00	1,88	0,156		
Résiduelle	15	361267,59			601,05	22,7%

Notons que les fongicides seuls testés sur le site d'Andranomanelatra n'ont pas d'influences sur les rendements (Annexe 10).

2. Influences du mode de gestion des sols

2.1 Site Ibity

Le rendement est le même (2,6 t/ha) que ce soit en labour ou en semis direct (Figure 23). Comparé à celui obtenu l'année dernière sur maïs (1,6 t/ha de grains contre 2,7 en labour) le rendement des parcelles en semis direct s'est amélioré.

Cultivé depuis 2 années en semis direct, le sol, dégradé et abandonné auparavant, retrouve donc la même fertilité que celui en labour, entretenu et cultivé depuis 4 ans.

2.2 Site Betafo

Le rendement est meilleur en semis direct: 2,8 t/ha contre 2 en labour (Figure 25). Cette différence provient de la densité des plantes qui est nettement plus élevée avec le semis direct (Figure 23): le manque à la levée y est plus faible ainsi que les dégâts des vers blancs qui disposent suffisamment de débris végétaux comme nourriture et ne s'attaquent pas ainsi aux racines du soja.

Entre les 2 sites, on observe des différences dans les densités (Figure 23) et le nombre de gousses (Figure 24). La différence entre les densités s'explique par les pertes à la levée et les dégâts des vers blancs qui sont en général plus importants à Ibity.

Par contre, le nombre de gousses est faible à Betafo dû, comme nous avons déjà mentionné auparavant, aux chutes de grêles qui se sont produites dans la région durant la floraison et qui a influencé naturellement le rendement.

3. Conclusions

Les rendements obtenus sur les parcelles en semis direct sont supérieurs à ceux en labour. Cela malgré les perturbations climatiques à Betafo et une mise en culture récente d'un sol qui était auparavant très dégradé à Ibity.

Dans les deux sites, l'imidaclopride et le carbosulfan ont donné le meilleur rendement en raison de leur efficacité dans la protection des plantes et du nombre de gousses plus élevé.

PARTIE V: ETUDE DE RENTABILITE
ECONOMIQUE

Parmi les 3 insecticides testés, seuls l'imidaclopride et le carbosulfan ont donné des rendements supérieurs au témoin. En dehors de l'évaluation de la performance de la culture de soja en semis direct, l'analyse porte aussi sur l'influence de ces insecticides sur les paramètres agro-économiques.

A- LES PARAMETRES AGRO-ECONOMIQUES

Nous avons repris les paramètres habituellement utilisés par TAFA (Tableau 26).

(1) **Le rendement à l'ha** représente le premier paramètre noté par les agriculteurs eux même. Toutefois un raisonnement en terme économique et pénibilité, ainsi que performance agro-économiques (qualités, santé, ...) s'avère indispensable.

(2) **La marge brute et la marge nette** évaluent les productions en termes économiques.

(3) **La valorisation de la journée de travail** obtenu en divisant la marge brute par les temps de travaux consacrés de l'installation à la récolte.

D'autres facteurs comme la variété cultivée, le niveau initial de fertilité du sol, les conditions climatiques, ... peuvent quand même influencer la productivité. Pourtant en matière de productivité, il faut valoriser les productions par rapport à l'effort consacré. Il est important de porter les calculs à l'unité de temps et par tête d'habitant ayant participé aux travaux.

Tableau 26: Paramètres d'évaluation agro-économiques (RAKOTONDRALAMBO, 1996)

DESIGNATION	ELEMENTS
Intrants	Semences, pailles, fumier, engrais, amendements et produits de traitement
Travaux	Main d'oeuvre x prix de la journée
Coût de production	Intrants + Travaux
Production	Rendement à l'ha
Valeur de la production	Production au prix du marché
Marge brute	Valeur de la production - Intrants
Marge nette	Marge brute - Travaux

B- INFLUENCES DU SEMIS DIRECT SUR LES PARAMETRES AGRO-ECONOMIQUES

1. Temps de travaux

Tableau 29: Comparaison des temps de travaux en labour et en semis direct

LABOUR		SEMIS DIRECT sur résidus	
Labour et affinage	75	Préparation du terrain + Paillage	12
Epandage intrants	16	Epandage intrants	16
Semis	24	Ouverture ligne + semis	24
Sarclage	42		
Récolte	32	Récolte	32
TOTAL	189		84

En absence du travail du sol et des sarclages, le temps de travaux est nettement réduit en semis direct sur résidus.

2. Valorisation de la journée de travail

2.1. Site IBITY

La comparaison de la valorisation de la journée de travail (Tableau 27) montre que la culture de soja est plus performante et plus rentable en semis direct sur résidus comparé à celle en labour.

2.2. Site BETAFO

Malgré l'accident climatique qui s'est produit dans la région, la productivité en semis direct sur résidus est stable et la journée de travail est largement plus valorisée par rapport au labour (Tableau 28).

La performance agro-économique du semis direct sur résidus repose principalement sur la réduction du temps de travaux et sur les rendements obtenus plus élevés.

C- EFFETS DES INSECTICIDES SUR LES PARAMETRES AGRO-ECONOMIQUES

L'enrobage des semences par des insecticides permet d'améliorer la productivité de la culture de soja: la journée de travail est mieux valorisée par l'augmentation des rendements.

Les deux insecticides ont donné la même performance à Ibity que ce soit en labour ou en semis direct (Tableau 27). Par contre à Betafo, l'imidaclopride valorise mieux la journée de travail en labour tandis que le carbosulfan est plus rentable en semis direct (Tableau 28).

CONCLUSION GENERALE

L'étude de l'évolution de la macrofaune des sols a montré que:

La densité moyenne totale en labour (59 ind.m⁻²) constitue 56% de celle en semis direct sur résidus (105 ind.m⁻²). Les vers de terre les différencient avec 49 ind.m⁻² en semis direct contre 10 en labour. La densité des vers blancs reste la même avec les deux modes de gestion des sols (30 ind.m⁻²).

La biomasse moyenne totale en labour représente 20% de celle en semis direct. Pour les vers de terre, en labour (2 g.m⁻²) elle constitue 5% de celle en semis direct (39 g.m⁻²).

Le semis direct sur résidus constitue donc une technique permettant le développement et la régénération de la macrofaune des sols, dont les vers de terre, sans toutefois favoriser celle nuisible aux cultures.

Le dégât des vers blancs est plus faible en semis direct sur résidus comparé à celui des cultures en labour où ces dernières constituent la principale source de nourriture pour ces ravageurs.

Parmi les 3 insecticides de traitement de semences testés, l'imidaclopride et le fipronil sont plus efficaces pour protéger la culture de soja contre l'attaque des vers blancs dont ils diminuent significativement la densité. Néanmoins, le fipronil a un effet négatif sur la densité des vers de terre et sur la nodulation du soja ce qui a des conséquences néfastes sur le rendement. Malgré ce résultat, nous pensons que seuls les experts peuvent, à l'examen de toutes les données disponibles, se faire une idée assez précise du comportement probable d'une molécule dans le milieu naturel et de son impact éventuel.

L'étude de rentabilité économique a montré la performance de la culture de soja en semis direct sur résidus pour mieux valoriser la journée de travail.

L'enrobage des semences par des insecticides augmente encore la rentabilité de cette culture: l'imidaclopride et le carbosulfan ont montré leur efficacité mais le premier a le désavantage d'être plus cher sur le marché comparé au second.

BIBLIOGRAPHIE

1- ACTA, 1990

Guide pratique de défense des cultures.

4ème Ed., Edition Le Carrousel et ACTA- Paris, 418p.

2- ACTA, 1997

Index phytosanitaire.

33ème Edition, 438p.

3- AMEZIANE T. E. H. et PERSOONS E., 1994

Agronomie moderne- Bases physiologiques et agronomiques de la production végétale

Ouvrage collectif- Edition Hatier, AUPELF-UREF, 544p.

4- ANAE- CIRAD- FOFIFA- Tafa- FAFIALA- FIFAMANOR, 1998

Atelier international sur la Gestion Agrobiologique des sols et systèmes de culture

Antsirabe- Madagascar du 23 au 27 Mars 1998- Résumés des communications, 125p.

5- ANDERSON J. M. and INGRAM J., 1993

Tropical soil biology and fertility (T.S.B.F.)- A handbook of Methods

2nd Edition- CAB- Oxford, 1993- 221p.

6- APPERT J. et al., 1988

Insectes nuisibles aux cultures vivrières et maraîchères: ravageurs et moyens de lutte.

Maison neuve et Larose- Paris, 151p.

7- BACHELIER G., 1978

La faune des sols: son écologie et son action.

ORSTOM, Initiations Documentations Techniques N°38- 391p.

8- BAROIS I., 1987

Interactions entre les vers de terre (Oligochaeta) tropicaux géophages et la microflore pour l'exploitation de la matière organique du sol

Thèse de l'Université Pierre et Marie Curie.

Publication du laboratoire de Zoologie de l'ENS Vol.7, Paris, 1987, 152p.

9- BOUCHE M. B., 1983

Faune et flore tellurique: leur contribution à la fertilité du sol.

in: Faune et Flore auxiliaires en agriculture- Edition ACTA, Paris: p105-116

10- BOURGUIGNON D., 1997

Le ver blanc, dangereux ravageur des rizières pluviales malgaches.

Rapport de stage FOFIFA- CIRAD- Antsirabe, 1997- 80p.

11- BOYER J., 1998

Interactions biologiques (faune, ravageur, parasites, microflore) dans des sols sous cultures en milieu tropical humide (Île de la Réunion).

Thèse de Doctorat de l'Université Paris VI- 114p.

12- BOYER J., LAVELLE P., MICHELLON R., 1994

Caractérisation de la faune du sol dans différentes parcelles des Hauts de l'Ouest de la Réunion.

ORSTOM- CIRAD-Réunion, 18p.

- 13- BUCH W., 1991
Le ver de terre au jardin.
Edition Ulmer- 124p.
- 14- CETIOM, FOP, ONIDOL, SOFIPROTEOL, 1998
Le soja en 1998: le contexte économique, les techniques culturales, les débouchés.
Edition CETIOM, 15p.
- 15- CHATELIER D., 1999
L'agriculture de couverture et le semis direct: une voie pour le développement durable et propre.
Compte rendu de la table ronde- Salon International de l'Agriculture du 03 Mars 1999- Paris
- 16- CURRY J. P. and GOOD J. A., 1992
Soil faunal degradation and restoration.
in: Advances in Soil Sciences, Vol. 17- New York inc.- p172-215
- 17- DE OLIVEIRA E. L., PAVAN M. A., MIYAZAWA M., 1998
Effets des modes de travail du sol et des rotations sur la fertilité d'un sol.
in: Résumés des communications-Atelier international sur la Gestion Agrobiologique des sols et systèmes de culture, Antsirabe- Madagascar du 23 au 27 Mars 1998: p24-25
- 18- DE RAISSAC M. et al., 1998
Interactions entre plantes de couverture, mauvaises herbes et cultures: quelle est l'importance de l'allélopathie?
in: Agriculture et Développement N°17- Mars 1998:
- 19- DUCHAUFOR P., 1995
Pédologie, sol, végétation, environnement.
Edition Masson, 75p.
- 20- FELLER C., 1994
Matière organique et activités biologiques dans les sols tropicaux.
Paris ORSTOM- 138p.
- 21- GRANVAL P., 1991
Rapport sur les travaux de recherche réalisés.
INRA, Laboratoire de Zooécologie du sol- Montpellier, 82p.
- 22- HARGROVE W.L., 1990
Role of conservation tillage in sustainable agriculture.
in: North Carolina S.U., Special Bulletin 90-1: 28-36
- 23- HEIMBACH F., 1992
Correlation between data from laboratory and field tests for investigating the toxicity of pesticides to earthworms.
Soil Biol. Biochem. Vol.24, N°12, 1749-1753
- 24- LAVELLE P. and PASHANASI B., 1989
Soil macrofauna and land management in Peruvian Amazonia (Yurimaguas, Loreto).
Pedobiologia 33: 283-291

- 25- LAVELLE P., SPAIN A. V., BLANCHARD E., MARTIN A., MARTIN S., 1992
The impact of soil fauna on the properties of soils in the humid tropics.
in: Myths and Sciences of soils of the tropics. Soil Science S. of America N°29, p157-185
- 26- MEMENTO de l'AGRONOME, 1991
4ème Edition, Ministère de la Coopération et du Développement
Collection "Technique rurale en Afrique"- 1635p
- 27- MICHELLON R., 1996
Modes de gestion écologique des sols et systèmes de culture à base de géranium dans les Hauts de l'Ouest de la Réunion.
CIRAD-CA, Rapport N°47-96: 97p.
- 28- MICHELLON R., RANDRIAMANANTSOA R., 1998
Essais sur des insecticides de traitement de semences.
CIRAD- FOFIFA- TAFa, 36p.
- 29- MONNIER G., 1992
L'activité des vers de terre du point de vue de la physique du sol.
Soil Biol. Biochem. Vol.24, N°12: 1197-1200
- 30- MUSTIN M., 1987
Le compost: gestion de la matière organique.
Edition François Dubusc, Paris- 954p.
- 31- NORTH CAROLINA S. U., 1990
Conservation tillage for agriculture in the 1990'S.
North Carolina State University, Special Bulletin 90-1, 186p.
- 32- PEREIRA M. H., 1998
Le système de semis direct dans la paille: 25 années d'appropriation au Brésil.
in: Résumés des communications-Atelier international sur la Gestion Agrobiologique des sols et systèmes de culture, Antsirabe- Madagascar du 23 au 27 Mars 1998: p71
- 33- POWER J. F. Editor, 1987
The role of legumes in conservation tillage systems.
Soil Conservation Society of America, 148p.
- 34- RABEHARISOA L., 1998
Approche fertilité biologique- Atouts et contraintes pour un développement durable.
in: Résumés des communications-Atelier international sur la Gestion Agrobiologique des sols et systèmes de culture, Antsirabe- Madagascar du 23 au 27 Mars 1998: p79
- 35- RABEZANDRINA R., 1997
Cours d'Expérimentation Agricole en Quatrième Année.
Département Agriculture- ESSA, Université d'Antananarivo
- 36- RAKOTONDRALAMBO P., 1996
Les systèmes de cultures à base de semis direct avec couverture permanente des sols.
TAFa ONG
- 37- RAKOTONDRALAMBO P., RAZANAMPARANY C., 1998
Adaptation du semis direct dans les différentes régions de Madagascar.
in: Résumés des communications-Atelier international sur la Gestion Agrobiologique des sols et systèmes de culture, Antsirabe- Madagascar du 23 au 27 Mars 1998: p86

- 38- RAKOTONIAINA S., 1997
Semis direct: Diffusion en milieu paysan- Région du Vakinankaratra.
CIRAD- TAFA- ESSA, 74p.+Annexes
- 39- RAUNET M., 1981
Cartes et photographies de paysage de Madagascar: milieu physique et érosion.
- 40- RAUNET M., 1991
Le milieu physique et les sols de l'île de la Réunion: Conséquence pour la mise en valeur agricole.
CIRAD- Région Réunion- 438p.
- 41- RAZAFINDRAKOTO M., 1995
'95 Madagascar d'aujourd'hui: bilan exhaustif de l'économie malgache.
Edition M.R., 198p.
- 42- RECKHAUS P., 1997
Maladies et ravageurs des cultures maraîchères: à l'exemple de Madagascar.
GTZ- Margraf Verlag, RFA- 281p.
- 43- ROOSE E., 1994
La gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES).
ORSTOM- Montpellier, 315p.
- 44- ROTH M., 1980
Initiation à la morphologie, la systématique et la biologie des insectes.
ORSTOM- Initiations Documentations Techniques, 280p.
- 45- SANTOS R.M.F., 1998
Mise au point d'équipements en "non-travail du sol" pour les petits agriculteurs:
l'expérience de IAPAR au Brésil.
in: Résumés des communications-Atelier international sur la Gestion Agrobiologique des
sols et systèmes de culture,Antsirabe- Madagascar du 23 au 27 Mars 1998: p96
- 46- SEGUY L. et BOUZINAC S., 1996
Le soja au Brésil: Production et système de culture.
CIRAD-CA- Document N°2, 1996- 42p.
- 47- SEGUY L. et BOUZINAC S., 1998
Concept et mise en pratique de modes de gestion agrobiologique adaptés aux sols acides
de la zone tropicale humide.
Texte de Conférence sur la Gestion Agrobiologique des sols et des systèmes de culture
23-28 Mars 1998- Antsirabe- Madagascar- CIRAD, FOFIFA, ANAE
- 48- SOLTNER D., 1995
Les grandes productions végétales: Phytotechnie spéciale.
Collection Sciences et Techniques Agricoles- 18ème Edition, 1995, 472p.
- 49- SOLTNER D., 1996
Les bases de la production végétale- tome I: le sol et son amélioration.
Collection Sciences et techniques Agricoles- 21ème Edition, 1996, 451p.

50- Tafa Ong, 1998

Redressement de la productivité des exploitations paysannes à Madagascar: Projet de diffusion des techniques de semis direct sans labour sur couvertures permanentes du sol- 43p.

51- Texier C., Cluzeau P., Cortet J., 1996

La faune, indicateur de la qualité des sols: données et références.
Edition ADEME, 53p.

52- Van der Merne A. J., de Villiers M.C., 1998

La gestion agrobiologique de la fertilité: un défi.

in: Résumés des communications-Atelier international sur la Gestion Agrobiologique des sols et systèmes de culture, Antsirabe- Madagascar du 23 au 27 Mars 1998: p113

53- Vercambre B., Quilici S., Bonnemort C., 1992

Les insectes ravageurs.

in: Géranium rosat à la Réunion- C.A.H. Saint-Denis Réunion, p79-90

54- Vercambre B., Goebel O., 1993

Lutte biologique contre *Hoplochelus marginalis* (Coléoptère Melolonthinae) à l'aide de *Beauveria bronguinarii* (Deuteromycetina, Hypomycète).

CIRAD-3ème Conférence internationale sur les ravageurs en agriculture, Montpellier, Déc 93

55- Villani M. G. and Wright R. J., 1990

Environmental influences on soil macroarthropod behavior in agricultural systems.
Annual Rev. Entomology N°35: p249-269

ANNEXES

ANNEXE I

LES ESPECES UTILISEES COMME COUVERTURE VIVANTE

Plante	Morphologie	Multiplication	Cultures possibles	Caractéristiques
<i>Pennisetum clandestinum</i> (kikuyu) Graminées	Port rampant à stolons superficiels et très puissants	- Bouture: efficace et rapide. - semences: difficiles à obtenir et levée quasi nulle	Haricot Tomates	- besoin en eau élevé (\geq 750mm) - érosion moindre - porosité du sol augmente jusqu'à 85% - inhibition croissance avec maïs - anomalies moindre avec tomates - invasion rapide, rustique - maîtrise difficile
<i>Lotus</i> (lotier) Légumineuses	- port érigé peu développé mais formant un tapis au dessus du sol - fructification rapide (prolifique)	- graines: résistantes et multiples; levée très facile. - bouture	Haricot Tomates Crucifères Artichaut	- fixatrice fixant 300kg d'azote/ha/an. - plante piège attractive - tapis dense - maîtrise aisée par localisation d'engrais ou herbicide à dose faible.
<i>Arachis pintoï</i> (arachide pérenne) Légumineuses	idem à lotier mais les feuilles sont différentes	- graines - boutures - éclat de souche	Haricot Maïs Tomates	- fixatrice - implantation plus facile par boutures - large adaptabilité climatique mais préférence pour zones humides.
<i>Cassia rotundifolia</i> Légumineuses	idem à lotier mais port plus érigé.	graines uniquement et automultiplication	Maïs	
<i>Rifolium emipilosium</i> (trèfle du Kenya) Légumineuses	- système à trois feuilles soutenues par une tige très fragile - contenant une sorte de bulbe très puissante et très envahissante	- graines (moins fréquentes) - éclat ou multiplication naturelle	Haricot Tomates Arbres fruitiers	- multiplication incontrôlée - fixatrice - traitement plus ou moins facile malgré la multiplication

<i>Desmodium</i> Légumineuses	- port rampant à un duvet collant - forte biomasse - liane ligneuse appetée par le bétail	- boutures à reprise très rapide - éclat de souche	haricot Maïs	- fixatrice - multiplication rapide et traitement difficile - enracinement très puissant utile pour éclater la semelle à 25-30cm de profondeur - aide à la prolifération des vers de terres
<i>Crotalaria</i> (Crotallaire) Légumineuses	- port herbacé et tige ligneuse - biomasse moyenne - fructification relativement rapide.	graine uniquement		- espèce fixatrice existant déjà sur place (paysans malgaches) - racines très puissantes améliorant la porosité du sol
<i>Bracharia</i> Graminées	- tapis vert très épais - graines nettes	- boutures - éclats - graines très difficiles	Soja Haricot	- plante la plus adaptée de toutes les plantes de couverture (à toutes les conditions) - ne résiste pas le gel - invasion rapide, reprise après le gel - enracinement puissant ayant le même effet que la desmodium
Mil, sorgho (Avoines) Graminées	- port érigé à feuilles larges et longues - biomasse importante	graines uniquement	Soja haricot vohème	Même effets que Bracharia mais production de biomasse élevée (fourrages, couverture en paillage).

ANNEXE II

LES CARACTERISTIQUES DES MATIERES ACTIVES (ACTA, 1997)

1. Insecticides de traitements de semences

IMIDACLOPRIDE

$C_9H_{10}ClN_5O_2$ ou 1-[(6-chloro-3-pyridinyl)-méthyl]-4,5-dihydro-N-nitro-1-H-imidazole-2-amine.

Famille des chloronicotiniles

Origine allemande (Bayer AC)- Cristaux incolores- Solubilités dans l'eau 0,51 g/l à 20°C

Elle agit par contact et ingestion. L'imidaclopride est le premier insecticide systémique du sol appliqué en traitement de semences. Elle présente un large spectre d'efficacité sur les coléoptères.

CARBOSULFAN

$C_{20}H_{32}N_2O_3S$ ou 2,3-dihydro-2,2 diméthyl-7 benzofuranyl (dibutylamino) thiométhyl carbamate.

Famille des carbamates

Origine américaine (FMC Corp.)- Solubilité dans l'eau 0,3 mg/l à 20°C- Dotée de propriétés systémiques- Agit par contact et ingestion- Persistance d'action 50 jours.

Toxicité: DL50 (rat par ingestion) 182 mg/kg

FIPRONIL

$C_{12}H_{10}ClN_5O_2$ ou 5-amino-1-(2,6 dichloro-x,x,x, trifluoro-p-tolyl) -4-trifluoro-méthyl-sulfinyl-pyrazole- 3-carbonitrile.

Famille des phénylpyrazoles

Fabrication Rhône- Poulenc- Solubilités dans l'eau 1,9 à 2,4 mg/l à 20°C- Agit par contact et ingestion et présente un large spectre d'activité.

2. Fongicides

THIABENDAZOLE

$C_{10}H_7N_3S$ (thiazolyl-4)- 2 benzimidazole

Famille des benzimidazoles

D'origine américaine (Merk Sharp & Dohme)- Poudre blanche stable dans l'eau et en conditions acides et alcalines- Solubilité dans l'eau 0,05 mg/l à 10 mg/l selon le pH.

Son spectre d'activité est très étendu (Aspergillus, Fusarium, Septoria, Rhizoctonia)

Toxicité de la matière active: DL50 (rat par ingestion) 3330 mg/kg

THIRAME

$C_6H_{12}N_2S_4$ ou disulfure de bis (diméthyl- thiocarbamoyle)

Famille des dithiocarbamates

D'origine américaine (DuPont)- Cristaux incolores, stables sous forte température- Solubilité dans l'eau 30 mg/l- Il a un effet d'inhibition sur un grand nombre de champignons. Sa persistance d'action est de l'ordre de 2 à 3 semaines.

Toxicité de la matière active: DL50 (rat par ingestion) 375 mg/kg

3. Herbicides

GLYPHOSATE

$C_3H_8NO_5P$ ou acide (phosphonométhylamino)- 2 acétique

D'origine américaine (Monsanto)

Solide cristallin incolore- Solubilité dans l'eau 10 g/l à 25°C- Il est inactivé au contact du sol- Absorbé par les feuilles, il est véhiculé par la sève jusqu'à l'extrémité des racines et des rhizomes- Il n'est pas sélectif des cultures.

Toxicité de la matière active: DL50 (rat par ingestion) 4900 mg/kg- DJA: 0,05 mg/kg/j

PARAQUAT

$C_{12}H_{14}N_2$ ou diméthyl- 1, 1' bipyridylum-4-4'

Ammonium quaternaire (dipyridyle)

D'origine britannique (Zeneca)- Agit sur les processus de respiration et de photosynthèse de nombreux végétaux- Stable en conditions acides et hydrolysé en conditions alcalines.

Très toxique par ingestion accidentelle et contact avec la peau

DL50 (rat par ingestion): 157 mg/kg- DJA: 0,006 mg/kg/j

2,4-D

$C_8H_6Cl_2O_3$ ou acide (dichloro-2,4 phénoxy) acétique

Famille chimique des dérivés aryloxy-acétique. Découvert à la fois aux Etats-Unis (Amchem) et en Grande-Bretagne (Zeneca).

C'est le plus connu des désherbants hormonaux sélectifs. Solubilité dans l'eau 620 mg/l à 25°C. Sa persistance d'action dans le sol peut atteindre 1 mois.

Absorbé par le feuillage, il est véhiculé par la sève des plantes à détruire. Son emploi nécessite un certain nombre de précautions pour éviter leur entraînement sur des cultures voisines sensibles.

Toxicité de la matière active: DL50: 375 mg/kg

DJA: 0,3 mg/kg/j (FAO/OMS)

ANNEXE III
RESULTATS SUR LES ESSAIS D'ECOBUAGE

**AMELIORATION DE LA FERTILITE DU SOL
EVALUATION DE LA TECHNIQUE D'ECOBUAGE**

1 OBJECTIFS:

L'écobuage permet d'augmenter les rendements des cultures de manière spectaculaire et au moindre coût (comme le montrent les comparaisons de systèmes de culture réalisés par l'ONG-TAFA). Les expérimentations visent à aider à la mise au point de cette technique en cours de diffusion rapide, en fonction des conditions pédoclimatiques, des moyens et contraintes des agriculteurs, à mesurer ses effets et définir ses limites d'utilisation.

2 PROGRAMME:

Les études sont réalisées dans des conditions très différenciées de fertilité de terrain:

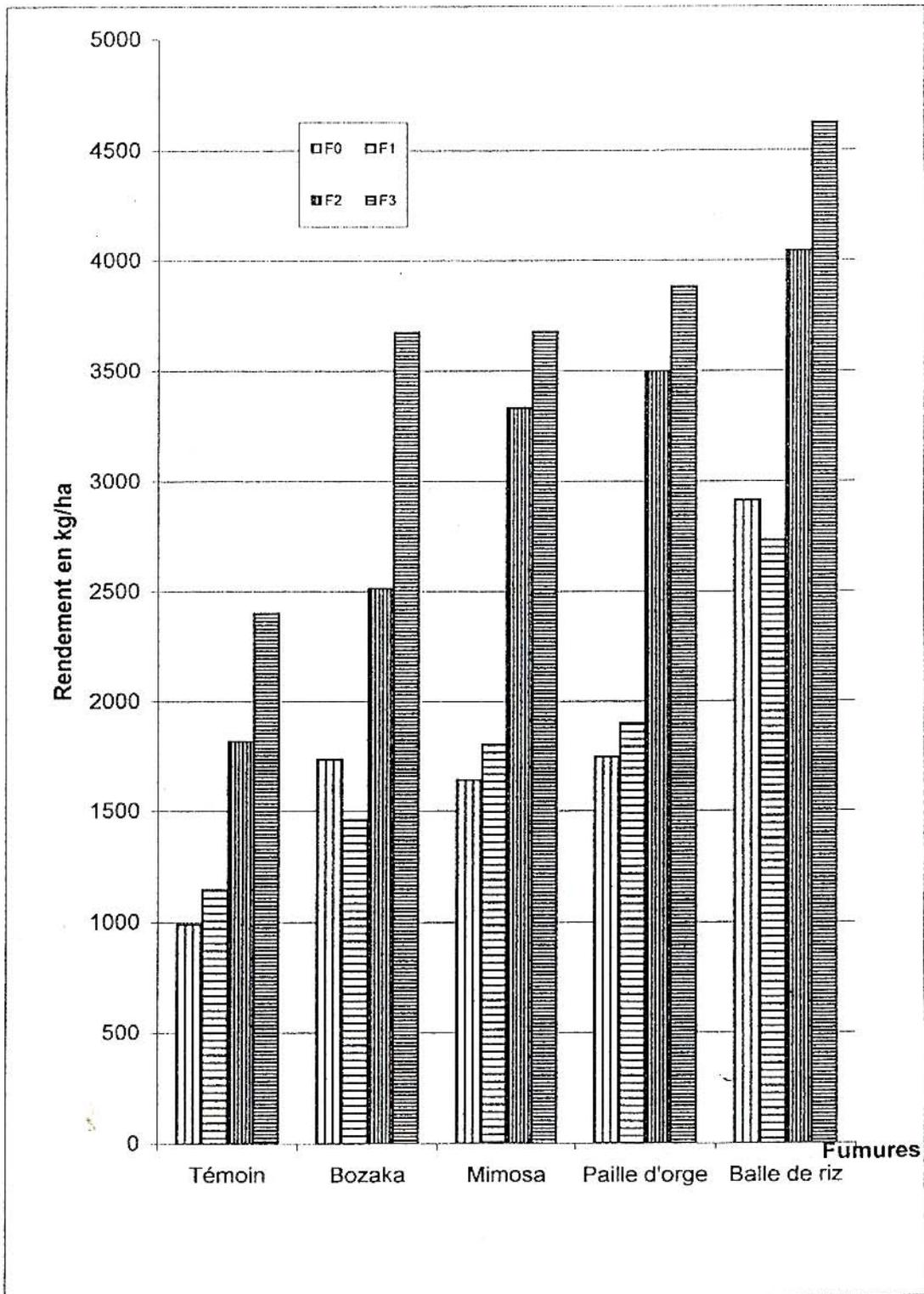
- sol volcanique (Betafo)
- sol ferrallitique sur socle cristallin(Ibity)
- sol ferrallitique sur dépôt lacustre (Andranomanelatra)

Elles portent sur:

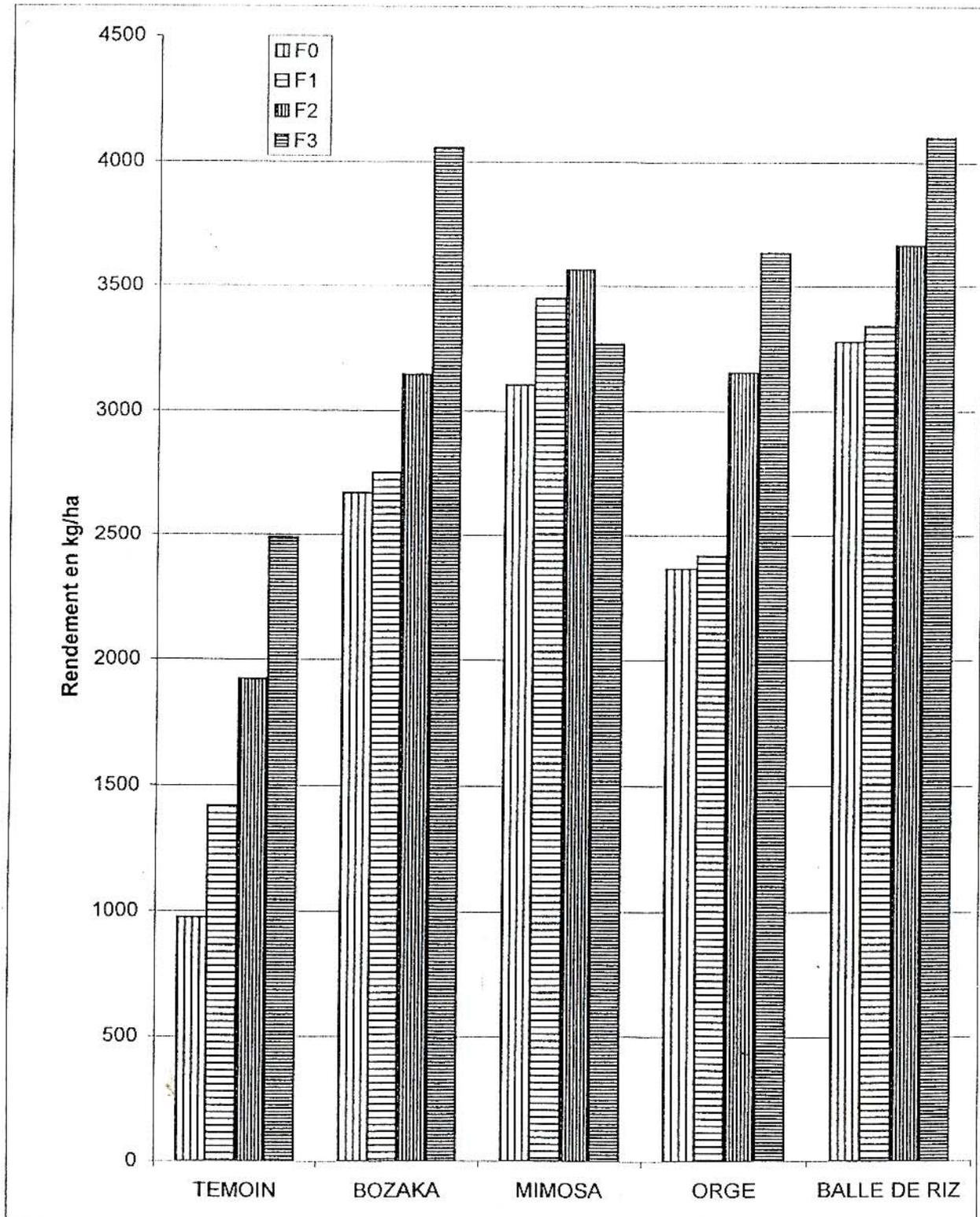
- Comparaison des combustibles disponibles dans différentes zones("bozaka", Aristida sp, "mimosa", Acacia mearnsii, paille d'orge, balle de riz)
- Influence de la fréquence et de l'intensité (qualité de la paille brûlée) de l'écobuage.
- Suivi de l'évolution des propriétés physicochimiques et biologiques: non évalué faute de moyens.

3 RESULTATS:

- L'effet de l'écobuage semble plus marqué en sol volcanique(teneur en matière organique)
- La balle de riz augmente plus sensiblement le rendement du riz que les autres combustibles.
- Un effet résiduel subsiste en deuxième année (évalué sur pomme de terre et soja)



Riz en sol ferrallitique : combustibles pour l'écobuage



Riz en sol volcanique : combustible pour l'écobuage

ANNEXE IV

FICHE DE COMPTAGE

SITE:

MODE:

Date:

N° Parcelle:

TROU	COUCHE	L.COLEO	L.LEPIDO	COLAD	ISOPOD	MYRIAP	VERS	AUTRES
1	Litière							
	00-10cm							
	10-20cm							
	20-30cm							
2	Litière							
	00-10cm							
	10-20cm							
	20-30cm							
3	Litière							
	00-10cm							
	10-20cm							
	20-30cm							

parcelle N°

1	Litière							
	00-10cm							
	10-20cm							
	20-30cm							
2	Litière							
	00-10cm							
	10-20cm							
	20-30cm							
3	Litière							
	00-10cm							
	10-20cm							
	20-30cm							

ANNEXE V

Tableaux des analyses factorielles de la variance des densités des vers blancs

1. Ibity- Labour

	S.C.E.	ddl	CARRES M.	Test F	Proba.
Totale	137053,33	251	546,03		
Traitement	28547,73	3	9515,91	24,93	0,0000
Date	11053,53	6	1842,26	4,83	0,0001
Interaction DxT	11951,66	18	663,98	1,74	0,0343
Résiduelle	85500,40	224	381,70		

2. Ibity- Semis direct

	S.C.E.	ddl	CARRES M.	Test F	Proba.
Totale	88767,16	251	353,65		
Traitement	13694,01	3	4564,67	15,56	0,0000
Date	3763,57	6	627,26	2,14	0,0497
Interaction DxT	5605,82	18	311,43	1,06	0,3926
Résiduelle	65703,77	224	293,32		

3. Betafo- Labour

	S.C.E.	ddl	CARRES M.	Test F	Proba.
Totale	99410,54	251	396,06		
Traitement	31275,65	3	10425,22	42,69	0,0000
Date	7981,55	6	1330,26	5,45	0,0000
Interaction DxT	5447,05	18	302,61	1,24	0,2312
Résiduelle	54706,30	224	244,22		

4. Betafo- Semis direct

	S.C.E.	ddl	CARRES M.	Test F	Proba.
Totale	78929,67	251	314,46		
Traitement	22647,08	3	7549,03	34,99	0,0000
Date	4305,62	6	717,60	3,33	0,0038
Interaction DxT	3644,14	18	202,45	0,94	0,5333
Résiduelle	48332,84	224	215,77		

ANNEXE VI

Tableaux des analyses factorielles de la variance des densités des vers de terre

1. Ibity- Labour

	S.C.E.	ddl	CARRES M.	Test F	Proba.
Totale	40677,32	251	162,06		
Traitement	1535,91	3	511,97	3,11	0,0268
Date	698,23	6	116,37	0,71	0,6460
Interaction DxT	1589,10	18	88,28	0,54	0,9385
Résiduelle	36854,08	224	164,53		

2. Ibity- Semis direct

	S.C.E.	ddl	CARRES M.	Test F	Proba.
Totale	359068,81	251	1430,55		
Traitement	10149,88	3	3383,29	2,84	0,0381
Date	69983,88	6	11663,98	9,80	0,0000
Interaction DxT	12260,41	18	681,13	0,57	0,9173
Résiduelle	266674,66	224	1190,51		

3. Betafo- Labour

	S.C.E.	ddl	CARRES M.	Test F	Proba.
Totale	55957,82	251	222,94		
Traitement	1590,02	3	530,01	2,37	0,0705
Date	2551,88	6	425,31	1,90	0,0814
Interaction DxT	1643,45	18	91,30	0,41	0,9852
Résiduelle	50172,47	224	223,98		

4. Betafo- Semis direct

	S.C.E.	ddl	CARRES M.	Test F	Proba.
Totale	468264,16	251	1865,59		
Traitement	48686,72	3	16228,91	11,93	0,0000
Date	54598,25	6	9099,71	6,69	0,0000
Interaction DxT	60363,56	18	3353,53	2,47	0,0012
Résiduelle	304615,63	224	1359,89		

ANNEXE VII

Tableaux des analyses de la variance des densités des myriapodes

1. Ibity- Labour

	S.C.E.	ddl	CARRES M.	Test F	Proba.
Totale	10356,18	251			
Traitement	211,68	3	70,56	1,80	0,1456
Date	700,24	6	116,71	2,98	0,0081
Interaction DxT	680,18	18	37,79	0,97	0,5006
Résiduelle	8764,08	224	39,13		

2. Ibity- Semis direct

	S.C.E.	ddl	CARRES M.	Test F	Proba.
Totale	38073,99	251	151,69		
Traitement	208,67	3	69,56	0,48	0,6996
Date	3635,65	6	605,94	4,19	0,0006
Interaction DxT	1869,99	18	103,89	0,72	0,7904
Résiduelle	32359,38	224	144,46		

3. Betafo- Labour

	S.C.E.	ddl	CARRES M.	Test F	Proba.
Totale	13563,46	251	54,04		
Traitement	505,62	3	168,54	3,15	0,0254
Date	304,97	6	50,83	0,95	0,4599
Interaction DxT	786,53	18	43,70	0,82	0,6788
Résiduelle	11966,34	224	53,42		

4. Betafo- Semis direct

	S.C.E.	ddl	CARRES M.	Test F	Proba.
Totale	76447,52	251	304,57		
Traitement	516,97	3	172,32	0,64	0,5922
Date	14430,73	6	2405,12	8,97	0,0000
Interaction DxT	1445,12	18	80,28	0,30	0,9900
Résiduelle	60054,70	224	268,10		

ANNEXE VIII

Tableaux des analyses de la variance des densités des coléoptères adultes

1. Ibity- Labour

	S.C.E.	ddl	CARRES M.	Test F	Proba.
Totale	12436,32	251	49,55		
Traitement	57,20	3	19,07	0,41	0,7501
Date	1461,05	6	243,51	5,23	0,0001
Interaction DxT	481,01	18	26,72	0,57	0,9164
Résiduelle	10437,06	224	46,59		

2. Ibity- Semis direct

	S.C.E.	ddl	CARRES M.	Test F	Proba.
Totale	5958,09	251	23,74		
Traitement	11,04	3	3,68	0,16	0,9219
Date	178,57	6	29,76	1,30	0,2555
Interaction DxT	656,10	18	36,45	1,60	0,0620
Résiduelle	5112,38	224	22,82		

3. Betafo- Labour

	S.C.E.	ddl	CARRES M.	Test F	Proba.
Totale	5372,21	251	21,40		
Traitement	59,19	3	19,73	0,97	0,4085
Date	379,22	6	63,20	3,11	0,0061
Interaction DxT	383,23	18	21,29	1,05	0,4074
Résiduelle	4550,58	224	20,32		

4. Betafo- Semis direct

	S.C.E.	ddl	CARRES M.	Test F	Proba.
Totale	25496,18	251	101,58		
Traitement	4,30	3	1,43	0,01	0,9900
Date	2177,37	6	362,90	3,74	0,0015
Interaction DxT	1583,66	18	87,98	0,91	0,5712
Résiduelle	21730,85	224	97,01		

ANNEXE IX

Tableaux des analyses de la variance des pourcentages des nodules actives

1. Ibity- Labour

	S.C.E.	ddl	CARRES M.	Test F	Proba.	E.T.	C.V.
Totale	8883,5	39					
Traitement	527,8	3	175,93	0,76	0,109		
Résiduelle	8355,7	36	229,32			15,14	24,4%

2. Ibity- Semis direct

	S.C.E.	ddl	CARRES M.	Test F	Proba.	E.T.	C.V.
Totale	5596,9	39					
Traitement	198,27	3	66,09	0,44	0,189		
Résiduelle	5398,6	36	149,96			12,24	21,4%

3. Betafo- Labour

	S.C.E.	ddl	CARRES M.	Test F	Proba.	E.T.	C.V.
Totale	4582,4	39					
Traitement	509,8	3	169,86	1,50	0,055		
Résiduelle	4072,6	36	113,12			10,63	20,8%

4. Betafo- Semis direct

	S.C.E.	ddl	CARRES M.	Test F	Proba.	E.T.	C.V.
Totale	6374,9	39					
Traitement	253,5	3	84,5	0,49	0,170		
Résiduelle	6121,4	36	170,0			13,03	22,4%

ANNEXE X

Effets des fongicides seuls sur les rendements

1. Densité des plantes

	S.C.E.	ddl	CARRES M.	Test F	Proba.	E.T.	C.V.
Totale	232623,91	39	5964,72				
Traitement	18828,16	4	4707,04	1,36	0,2734		
Blocs	116685,51	7	16669,36	4,81	0,0012		
Résiduelle	97110,24	28	3468,22			58,89	10,4%

2. Nombre de gousses

	S.C.E.	ddl	CARRES M.	Test F	Proba.	E.T.	C.V.
Totale	9349404,00	39	239728,31				
Traitement	312630,00	4	78157,50	0,27	0,8926		
Blocs	1016713,00	7	145244,72	0,51	0,8221		
Résiduelle	8020061,00	28	286430,75			535,19	16,0%

3. Rendement en graines

	S.C.E.	ddl	CARRES M.	Test F	Proba.	E.T.	C.V.
Totale	825968,94	39	21178,69				
Traitement	30420,56	4	7605,14	0,32	0,8640		
Blocs	125722,50	7	17960,36	0,75	0,6332		
Résiduelle	669825,88	28	23922,35			154,67	4,8%