

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

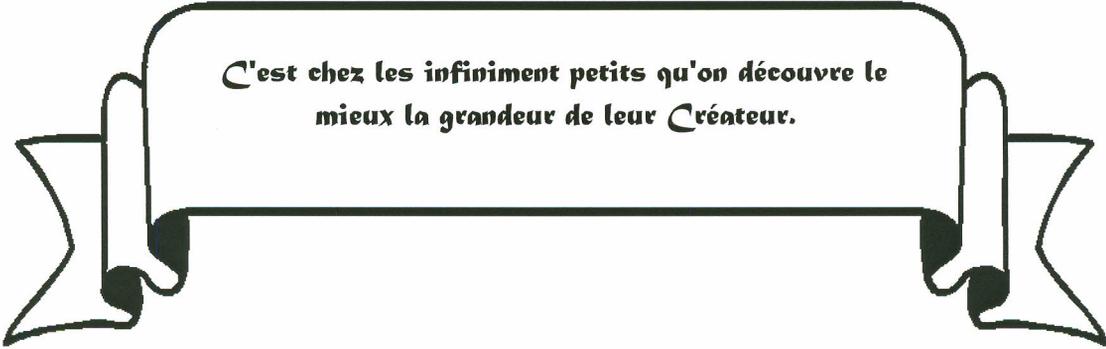
Mémoire d'ingénieur en agronomie
Spécialisation AGRICULTURE



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 FOFFA-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 FOFFA 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. LES PRINCIPAUX ROLES DU LABOUR----- 4

2. LES INCONVENIENTS ----- 4

3. TENDANCE ACTUELLE----- 4

B- LE SEMIS DIRECT ----- 5

1. HISTORIQUE----- 5

2. LE PRINCIPE DE BASE DU SEMIS DIRECT----- 6

21. *Semis direct sur résidus* ----- 6

211. Des plantes productrices de biomasse----- 8

212. Des plantes aux multiples fonctions ----- 8

213. L'installation des différentes cultures ----- 10

22. *Semis direct sur couverture vive* ----- 10

3. LES AVANTAGES DU SEMIS DIRECT----- 10

31. *Préservation du principal facteur de production: le sol* ----- 10

32. *Optimisation du temps, de l'usage des intrants, de l'énergie*----- 11

33. *Restauration et maintient de la fertilité des sols* ----- 11

34. *Maîtrise des adventices et des insectes nuisibles* ----- 11

35. *Productions moyennes élevées et plus stables* ----- 12

4. LIMITES ET CONTRAINTES DU SEMIS DIRECT ----- 12

**C- LES EFFETS DU MODE DE GESTION DU SOL SUR LES PROPRIETES
BIOLOGIQUES, PHYSICO-CHIMIQUES ET HYDRODYNAMIQUES DU MILIEU ----- 13**

1. Influences du labour----- 13

11. *Dégradation des propriétés biologiques* ----- 13

12. *Effets sur les caractéristiques chimiques* ----- 13

13. IMPACTS SUR LES PROPRIETES PHYSIQUES----- 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>
<i>2.1 Efficacité dans la lutte contre les vers blancs-----</i>	<i>57</i>
<i>2.2 Influences sur les vers de terre-----</i>	<i>60</i>
<i>2.3 Influences sur les myriapodes-----</i>	<i>62</i>
<i>2.4 Influences sur les coléoptères adultes-----</i>	<i>63</i>
<i>2.5 Conclusions-----</i>	<i>65</i>
B- LES PROFILS CULTURAUX-----	66
<u>1. INFLUENCES DU MODE DE GESTION DES SOLS-----</u>	<u>66</u>
<i>1.1 Sols ferrallitiques-----</i>	<i>66</i>
1.11 En labour-----	66
1.12 En semis direct-----	66
<i>1.2 Sols volcaniques-----</i>	<i>68</i>
1.21 En labour-----	68
1.22 En semis direct-----	68

2. <u>EFFETS DES TRAITEMENTS SUR LA NODULATION</u> -----	70
3. <u>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 terrioles, 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-mésosfaune, 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:

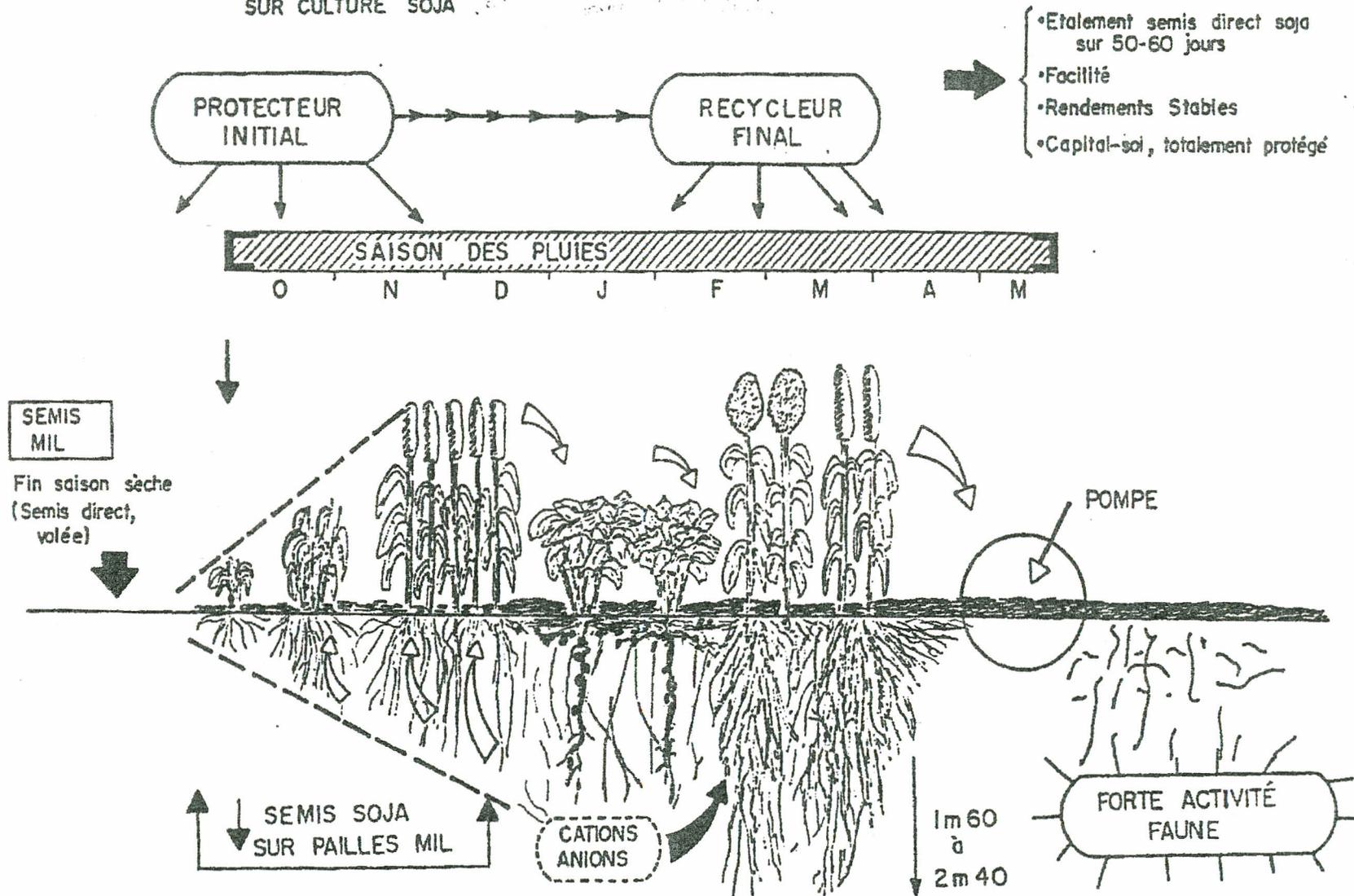
- protéger complètement le sol contre l'érosion, aussi bien en saison de pluie qu'en saison sèche;
- amortir les amplitudes de température et d'humidité;
- fournir à la culture principale les éléments minéraux par la minéralisation de leur propre biomasse;
- recycler vers la surface les éléments fertilisants 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.

SYSTEME "MAINTENEUR DE FERTILITE"

SUR CULTURE SOJA



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 maintient 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 III: LA MACROECONOMIE INDIVIDUELLE DU SOIL

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 dermoptères 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.

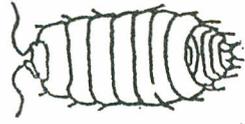
Ensuite, le passage des nématodes dans le tractus digestif des vers par ingestion passive pourrait altérer leurs aptitudes parasitaires (BOYER, 1998).

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)



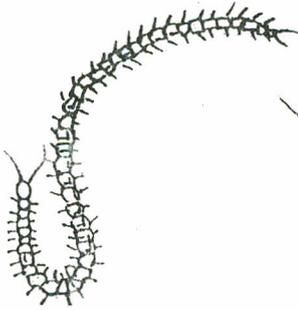
Isopode



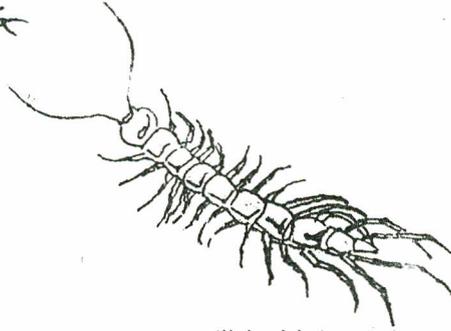
Larve de coléoptère



Larve de diptère



(géophile)



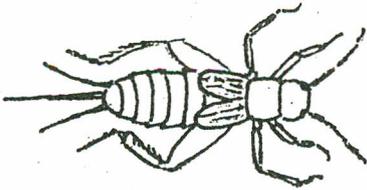
(lithobie)

Chilopode



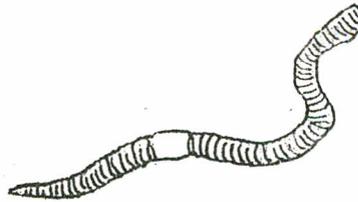
Diplopode

Myriapodes

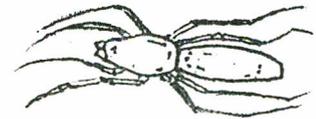


(petit grillon)

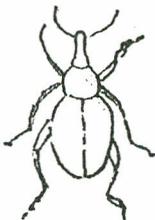
Orthoptère



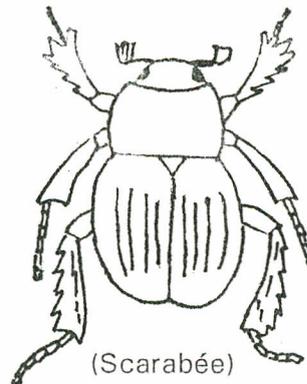
Ver de terre



Acarien

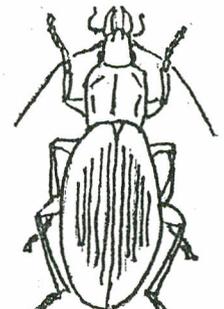


(Charançon)



(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 dermaptères

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, pyréthriinoïdes). 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 quartzuse est souvent présente de façon discontinue. On la trouve entre 0,5 et 4 m de profondeur.



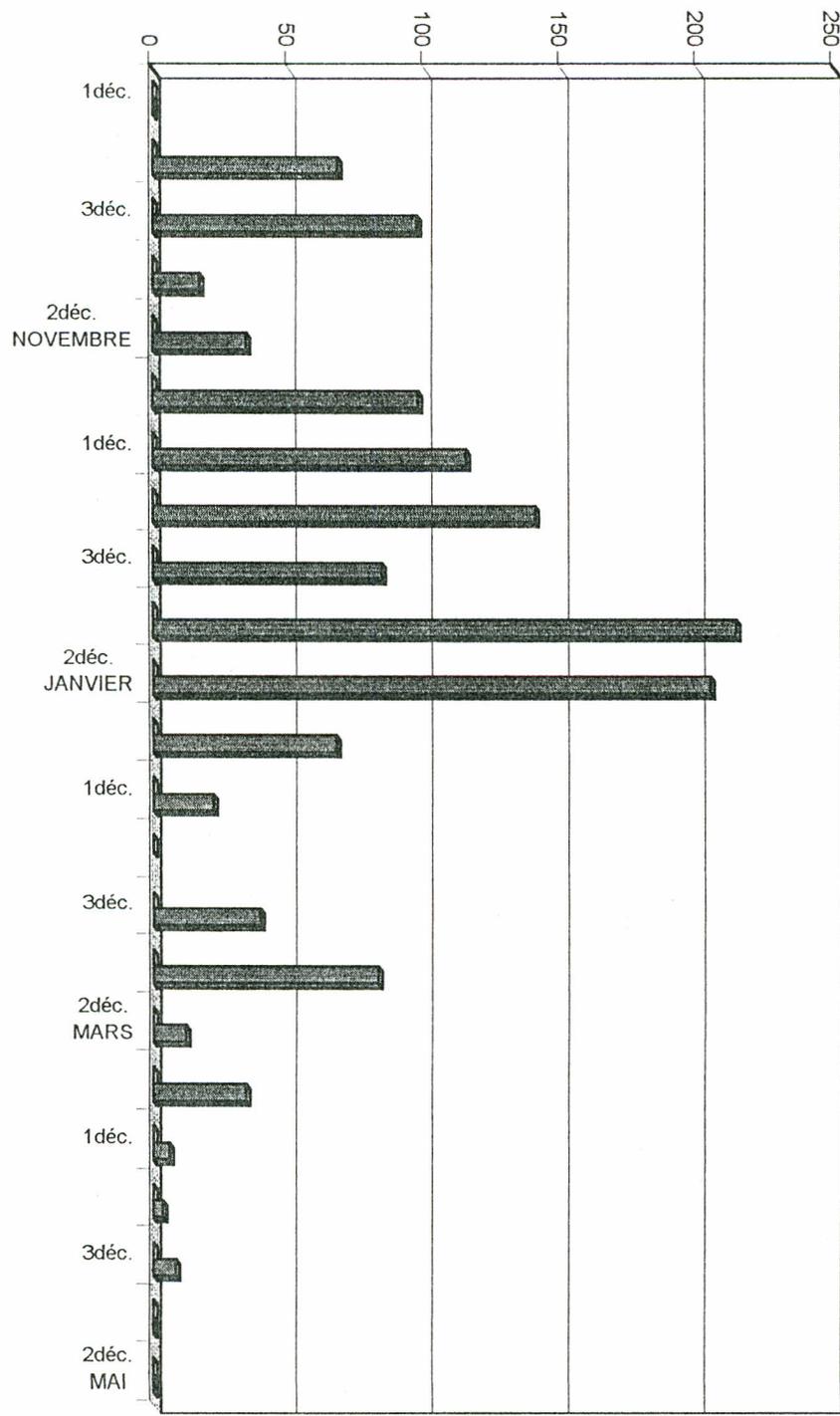
Carte 1: Localisation géographique des sites d'essais

Echelle au 1/500000ème

- Ville
- ▣ Station d'experimentation
- * Sites TAFE

PLUVIOMETRIE (98_99) SRR/Antsirabe

Pluie (mm)



Périodes décadales