

MINISTÈRE DES ENSEIGNEMENTS SECONDAIRE,
SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
(M.E.S.S.R.S)

UNIVERSITÉ POLYTECHNIQUE DE
BOBO-DIOULASSO
(U.P.B)

CENTRE NATIONAL DE RECHERCHES
SCIENTIFIQUES ET TECHNOLOGIQUES
C.N.R.S.T.

INSTITUT DU DÉVELOPPEMENT RURAL
(I.D.R)

INSTITUT DE L'ENVIRONNEMENT ET DE
RECHERCHES AGRICOLES
(I.N.E.R.A)



MEMOIRE

Présenté par :
LOMPO Désiré Jean-Pascal
En vue de l'obtention du

DIPLÔME D'ETUDES APPROFONDIES (DEA)
En Gestion Intégrée des Ressources Naturelles (GIRN)
Option : Sciences du sol

IMPACT DES RESIDUS DE PESTICIDES SUR LES MICROORGANISMES DES SOLS DANS LES AGROSYSTEMES COTONNIERS DU BURKINA FASO



Photo : SAVADOGO (2006)



Photo : SOME, (2000) (2006)

Soutenu le : / 06 /2007

COMPOSITION DU JURY :

Président: Michel P. SEDOGO, Agropédologue, Directeur de Recherche/INERA

Membres:

- SOMÉ Antoine, Écologue, Maître de Conférence/IDR/UPB
- Salawu ASIMI, Microbiologiste, Chargé de recherche/INERA
- Ouola TRAORÉ, Agropédologue, Chargé de Recherche/INERA
- Paul W. SAVADOGO, Microbiologiste, Chargé de Recherche/INERA

Juin 2007

DÉDICACE

A :

*LOMPO François-Xavier ;
LOMPO/DADJOARI Adjaratou ;*

*La mémoire de mon père
LOMPO Lamoudi Jean-Pierre ;*

*Et celle de ma mère
OUÔBA Kanhouada.*

TABLE DES MATIÈRES

DEDICACE	I
REMERCIEMENTS	IV
LISTE DES TABLEAUX	VII
LISTE DES FIGURES	VII
LISTE DES CARTES	VII
SIGLES ET ABBREVIATIONS	VIII
RESUME	IX
ABSTRACT	X
INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE 1 : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	3
1.1- GENERALITES SUR LES PESTICIDES	3
1.1.1- Définition et classification des pesticides	3
1.1.1.1- Définition	3
1.1.1.2- Classification des pesticides	4
1.1.2- Utilisation des pesticides en agriculture au Burkina Faso	4
1.1.2.1- Programme de protection phytosanitaire du coton en vigueur au Burkina Faso	5
1.1.2.2- Pesticides utilisés par les producteurs : origines et qualité	6
1.1.3- Devenir des pesticides dans le sol	8
1.2- GENERALITES SUR LES ORGANISMES VIVANTS DU SOL	10
1.2.1- Composition des organismes vivants du sol	10
1.2.2- Importance des organismes vivants du sol	10
1.2.3- Aperçu sur les méthodes d'études des microorganismes du sol : indicateurs biologiques et méthodes de détermination	10
1.2.3.1- Les indicateurs biologiques	10
1.2.3.2- Méthodes de détermination de quelques indicateurs biologiques	11
1.2.4- Facteurs influençant les microorganismes et leurs activités	12
1.3- INTERACTIONS ENTRE LES PESTICIDES ET LES MICROORGANISMES DU SOL	13
1.3.1- Biodégradation des pesticides	13
1.3.2- Effets des pesticides sur la biologie des sols	15
CHAPITRE 2 : SITES D'ÉTUDE - MATERIEL ET METHODES	17
2.1- SITES D'ÉTUDE	17
2.1.1- Choix des sites d'études	17
2.1.2- Localisation des sites d'étude	17
2.1.3- Climat	17
2.1.4- Sols	19
2.1.5- Végétation	19
2.2. MATERIEL ET METHODES	20
2.2.1- Matériel	20
2.2.2- Méthodes	20
2.2.2.1- Prélèvement et préparation des échantillons de sol	20
2.2.2.2- Méthodes de caractérisation physico-chimique des sols	21
2.2.2.3- Méthodes d'étude des effets des résidus de pesticides sur la biologie des sols des agrosystèmes cotonniers	21

2.2.2.4- Traitement statistique des données	24
CHAPITRE 3 : RESULTATS ET DISCUSSION	25
3.1- CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DES SOLS	25
3.1.1- Résultats	25
3.1.1.1- Granulométrie	25
3.1.1.2- Matière organique totale	26
3.1.1.3- Rapport C/N	26
3.1.1.4- Azote total	26
3.1.1.5- Phosphore total	26
3.1.1.6- Potassium total	27
3.1.1.7- pH _{eau} et pH _{KCl}	27
3.1.2- Discussion	27
3.2- IMPACT DES RESIDUS DE PESTICIDES SUR L'ACTIVITE RESPIRATOIRE ET LE TMG DES SOLS	28
3.2.1- Résultats	28
3.2.1.1- Evolution de l'activité respiratoire des sols avant et après les applications de pesticides sur le coton	28
3.2.1.2- Evolution du TMG cumulé avant et après les applications de pesticides sur le coton	31
3.2.2- Discussion	32
3.3- IMPACT DES RESIDUS DE PESTICIDES SUR LA BIOMASSE MICROBIENNE ET LE QUOTIENT RESPIRATOIRE DES SOLS	34
3.3.1- Résultats	34
3.3.1.1- Evolution de la Biomasse Microbienne des sols avant et après les applications de pesticides sur le coton	34
3.3.1.2- Evolution du quotient respiratoire des sols avant et après les applications de pesticides sur le coton	35
3.3.2- Discussion	36
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES	38
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	40
ANNEXES	46

REMERCIEMENTS

Le présent travail a été réalisé dans le cadre d'un projet de recherche de l'IN.E.R.A. dénommé FSP/Pesticides. C'est le lieu pour moi de remercier les premiers responsables de l'IN.E.R.A. pour m'avoir accepté comme stagiaire. Je remercie particulièrement SEDOGO P. Michel, Directeur de recherche et coordonnateur du projet FSP/Pesticides, TRAORE Ouola, Chargé de recherche et Chef du « Programme coton » et SAVADOGO W. Paul, Chargé de recherche, pour avoir placé leur confiance en moi pour la conduite de ce travail, pour l'opportunité qu'ils m'ont offert d'entamer des études de troisième cycle universitaire et pour l'encadrement de mes premiers pas dans la recherche agricole. Je remercie également HIEN Victor, Chargé de Recherche, Chef du Département G.R.N./S.P. et Responsable du Labo S.E.P. pour ses conseils et suggestions qui m'ont été très bénéfiques. Mes sincères remerciements aux chercheurs de l'IN.E.R.A. Dr KAMBIRE Hyacinthe, Dr. BONZI Moussa, Dr. SEGDA Zacharie, Dr. ZOUGMORE Robert et Dr. TRAORE Karim pour leurs soutiens multiformes durant l'exécution des travaux et la rédaction du présent mémoire.

C'est également le lieu pour moi de remercier les premiers responsables de l'U.P.B. qui est l'une des institutions partenaires du projet FSP/Pesticides. Je pense surtout aux responsables de l'I.D.R. mon école d'origine et à tous les enseignants. Mes remerciements s'adressent également aux partenaires français en l'occurrence à Sylvie DOUSSET.

Je remercie les chercheurs du Programme coton en particulier SANFO Denis, COULIBALY Bazoumana, TIEMTORE Claude, SOME Hugues pour leurs encouragements et leurs conseils. Mes remerciements s'adressent aussi à Mme SANOU Alidiata Rita, Secrétaire de Direction, à Mme SOME Irène et à LOBOUE Yvonne.

Je dis vivement merci aux premiers responsables de la SO.FI.TEX., de FASO COTON et de la SO.CO.MA. et à leurs personnels pour leur bonne collaboration pour le choix des sites d'étude et des producteurs de coton. Mes remerciements vont particulièrement à : 1) DAKUO Déhou, SOU Sibiri et KOLOGO Francis Lamoussi de la SO.FI.TEX. ; 2) TRAORE Daouda, OUEDRAOGO Mahamadi et SOME Firmin de FASO COTON ; 3) ZOMA Amadou, GADIAGA Kadiatou, TANKOANO Bapougni et KIEMA Hervé de la SO.CO.MA.

Je remercie du fond du cœur le personnel du Labo S.E.P. de Kamboinsé qui m'ont apporté un soutien inestimable lors des analyses physico-chimiques et microbiologiques. Ce sont : GNANKAMBARY Zacharia, OUANDAOGO Noufou, RAMDE Martin, MOYENGA Momini, SAWADOGO Amadé (mon « esclave »), KABORE Jean-Paul, OUEDRAOGO Alain et Mme OUEDRAOGO.

Mes remerciements vont également à Mme PODA, Secrétaire du Département G.R.N./S.P., SANOU Yvonne, Secrétaire du P.I.CO.F.A., et surtout à NARE Alice, Assistante de recherche au Labo S.E.P. de Kamboinsé pour son apport considérable lors des tests microbiologiques.

Je remercie également du fond du cœur tout le personnel de l'IN.E.R.A./ Farako-bâ en particulier SANKARA Stanislas, OUEDRAOGO Souleymane, OUEDRAOGO Mathieu, TRAORE Tiékoura, Mme DIAKITE Mariam et BATIONO Xavier.

Je remercie en outre le personnel de l'IN.E.R.A./Fada en particulier OUEDRAOGO Mahamadi, Chef du C.R.R.E.A. de l'Est, Mme DIALLO Binta, SAGNON Seydou, SIGUE, Mme NAMA, OUANGO Karim, YOBI et TRAORE Adama.

Je suis très sensible aux énormes efforts déployés et aux sacrifices consentis par OUATTARA Sié Amoro dit « Docteur » et ses braves manœuvres, lors des prélèvements et de la préparation des échantillons de sol. Ce travail est également le leur. Mes remerciements vont également aux braves paysans de Tiokouy, Boni, Dossi, Zanawa, Zénian I, Pô, Tiébélé, Pama et Comin-yanga pour avoir bien coopéré.

Je ne saurais oublier mes camarades de classe en particulier Mme COULIBALY Pane Jeanne-d'Arc, KIBA D. Innocent, NAÏTORMBAÏDE Michel, YE Lambiénou et TANKOANO M Honoré, pour leur conseils et suggestions pendant mon stage.

Mes sincères remerciements à mes Amis et frères DOUSSA Souleymane, NATAMA H. Magloire, TANKOANO Kanguissouguiba, Dr. YONLI Djibril, TRAORE Salifou, ZIDA T. Marius, LOMPO August, IOGO Valentin et COULIBALY Oula Euloge pour leurs conseils et suggestions et surtout pour leurs encouragements. Mes sincères remerciements s'adressent aussi à mes amis du « Conténaire » à Bobo-Dioulasso : Bienvenu, Marc, Chico, Papi, Georges, Bob, Casi.

Je n'oublie pas mes amies de toujours Mme LANKOANDE P. Clémentine et Mme ONADJA L. Christiane pour leurs conseils et leurs encouragements.

Ma vive reconnaissance à tous les membres de la famille DIALLO au secteur 5 de Bobo-Dioulasso, pour leurs soutiens multiformes et leurs encouragements tout au long de ce travail. Je pense tout particulièrement à Maman DIALLO Aïssa, Issouf, Fati, Amed, Vié, Aziz. Qu'ils voient en ce travail le fruit de tous les efforts qu'ils ont déployés pour moi.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Programme de protection phytosanitaire du cotonnier en vigueur au Burkina Faso.....	5
Tableau 2 : Pesticides conventionnels recensés dans la zone de cotonnière de Pô en 2006	7
Tableau 3 : Pesticides non conventionnels recensés à Pô en 2006.....	8
Tableau 4 : Rémanence de quelques pesticides dans le sol.....	9
Tableau 5: Programme de traitements insecticides et matières actives appliquées sur le coton en 2006 au niveau des sites de Tiokouy, Tiébélé, Pama et Comin-yanga.....	22
Tableau 6 : Caractéristiques physico-chimiques des sols avant et après les applications de pesticides (horizon 0-20 cm).....	25
Tableau 7 : Production cumulée de CO ₂ avant et après application des pesticides selon sites	30
Tableau 8: Biomasse microbienne des sols avant et après application des pesticides selon les sites	34
Tableau 9: Quotient respiratoire des sols avant et après application des pesticides selon les sites..	35

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Evolution mensuelle des hauteurs d'eau cumulées en 2006 dans les sites d'étude -----	19
Figure 2 : Evolutions de CO ₂ cumulé avant et après application des pesticides à Tiokouy (Figure 2a), à Tiébélé (Figure 2b), à Pama (Figure 2c) et à Comin-yanga (Figure 2d) -----	29
Figure 3: Evolution des TMG cumulés avant et après application des pesticides à Tiokouy (Figure 3a), à Tiébélé (Figure 3b), à Pama (Figure 3c) et à Comin-yanga (Figure 3d) -----	31

LISTE DES CARTES

Carte 1 : Carte du Burkina Faso : localisation des zones cotonnières-----	7
Carte 2 : Localisation des sites de prélèvement des échantillons de sol sur la carte du Burkina Faso. -	18

SIGLES ET ABREVIATIONS

B. M.	: Biomasse microbienne
BU.NA.SOLs	: Bureau National des Sols
C.E.E.	: Communauté Economique Européenne
C.R.R.E.A.	: Centre Régional de Recherches Environnementale et Agricole
D.D.T.	: Dichlorodiphényltrichloroéthane
D.R.E.D.	: Direction Régionale de l'Economie et du Développement
E.T.P	: Evapotranspiration Potentielle
F.S.P.	: Fond de Solidarité Prioritaire
G.I.R.E.	: Gestion Intégrée des Ressources en Eaux
G.R.N./S.P.	: Gestion des Ressources Naturelles/ Systèmes de Production
I.D.R.	: Institut du Développement Rural
IN.E.R.A.	: Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles
IN.R.A.	: Institut National Recherche Agronomique
IN.SAH.	: Institut du Sahel
I.T.A.B.	: Institut Technique d'Agriculture Biologique
LABO. S.E.P.	: Laboratoire Sol-Eau-Plante
M.A.H.R.H.	: Ministère de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques
M .O.	: Matière organique
P.I.CO.F.A.	: Programme Intégré Communautaire en Fertilité Agricole
S.A.PHYTO	: Société Africaine de Produits Phytosanitaires
SO.CO.MA.	: Société Cotonnière du Gourma
SO.FI.TEX.	: Société burkinabé des Fibres et Textiles
T.M.G.	: Taux de Minéralisation Global
U.P.B.	: Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso

RÉSUMÉ

Les pesticides utilisés en agriculture pour la protection des cultures peuvent avoir des effets secondaires néfastes pour l'homme et son environnement. Les impacts sont fonction de plusieurs facteurs dont la nature du pesticide, les pratiques culturales, les conditions climatiques, le type de sol. Au Burkina Faso, plusieurs études ont porté sur les effets secondaires des pesticides mais celles intéressant les effets combinés des pesticides sur la biologie des sols en milieu réel restent limitées. Le travail entrepris a concerné cet aspect en vue d'étudier l'impact des résidus de pesticides sur l'activité respiratoire et la biomasse microbienne des sols dans les zones cotonnières du Burkina Faso. Cette étude a porté sur les sols ferrugineux tropicaux et les sols vertiques tout en tenant compte de l'ancienneté de la culture cotonnière. Les anciens sites ont été Tiokouy et Tiébélé et les nouveaux sites Pama et Comin-yanga. Des échantillons de sols ont été prélevés à une profondeur de 0-20 cm dans des champs de coton avant et après les applications de pesticides. L'activité respiratoire a été mesurée par test respirométrique et la biomasse microbienne par fumigation-incubation.

Les résultats ont montré après l'application des pesticides, une baisse significative de l'activité respiratoire de 38 et 40 % respectivement à Comin-yanga et Tiébélé contrairement à celles de Tiokouy et Pama qui n'ont pas variées significativement. La biomasse microbienne a été significativement réduite de 45 et 46% par rapport au sol de départ, respectivement à Comin-yanga et à Tiébélé. Ces résultats indiquent de possibles effets négatifs des résidus de pesticides sur l'activité respiratoire et la biomasse microbienne, liés au type de sol et non à l'ancienneté de la culture cotonnière. Cependant, les effets observés sur l'activité respiratoire et la biomasse microbienne des sols dans la présente étude ne sont pas uniquement le seul fait des résidus de pesticides. Les facteurs climatiques, le travail du sol et la fertilisation ont probablement influencé les résultats. Une méthodologie plus affinée permettrait de déterminer l'impact réel des pesticides sur ces deux paramètres biologiques.

Mots clés : Burkina Faso; culture cotonnière; pesticides; impact; sol; microorganismes.

ABSTRACT

In agriculture, pesticides are used to combat weeds, diseases, and crop pests and to stock crops production after harvest. They contribute to the improvement of crop yields, particularly cotton which is attacked by numerous pests. Unfortunately, pesticide residues can be harmful to certain not-targeted living organisms including those one living in the soil and playing a major role in soil fertility. This study aim to assess the impact of pesticides residues on soil microorganims under cotton cropping system in Burkina Faso.

It related to the tropical ferruginous soils and the vertic soils by holding of old and new sites of cotton crop production. Tiokouy and Tiébélé are been chosen as old sites of cotton production, Pama and Comin-yanga as new sites. Soil samples were taken at 0-20 cm depth in cotton fields before and after pesticides applications. Microbiological measurements were done directly on soil these soil samples without other treatments of pesticides.

The results showed after the application of the pesticides, a significant fall of the respiratory activity of 38 and 40 % respectively at Comin-yanga and Tiébélé. The microbial biomass was significantly reduced 45 and 46% compared to the starting soil, respectively in Comin-yanga and Tiébélé. These results indicate possible negative effects of pesticides residues on the soil respiratory activity and the microbial biomass, related on the soil type but not on the duration of cotton crop production. However, the effects observed on the soil respiratory activity and the microbial biomass in this study are not only the fact of pesticides residues. Other factors such as the climate, soil work of and fertilization probably influenced the results. More refined methodology would make it possible to measure the real impact of the pesticides on these two biological parameters.

Key words: Burkina Faso; cotton culture; pesticides; impact; soil; micoorganisms.

INTRODUCTION GENERALE

Le Burkina Faso est un pays essentiellement agricole où la culture de coton occupe une place de choix comparativement aux autres cultures. En effet, le coton est la principale culture de rente du pays et constitue près de 65 % des produits exportés (M.A.H.R.H., 2004). La culture du coton a fait l'objet d'une promotion qui a permis d'augmenter considérablement sa production de 189 453 t en 1990 à 630 000 t en 2005 (IN.E.R.A-Programme coton, (Sd)). Cela a été rendu possible grâce à la combinaison de plusieurs facteurs parmi lesquels on a l'utilisation des pesticides pour le désherbage et la lutte contre les insectes nuisibles du cotonnier. Les pesticides contribuent significativement à l'amélioration des rendements, cependant, ils suscitent des inquiétudes quant à de possibles effets négatifs sur la fertilité des sols (Mäder *et al.*, 2002). En effet, après leur épandage, une importante quantité de pesticides se retrouve dans le sol et cela peut porter préjudice aux organismes vivants du sol. Or, l'activité biologique d'un sol est, au même titre que ses propriétés physiques et chimiques, déterminante pour sa productivité (Mäder *et al.*, 2002). La plupart des avantages d'ordres physiques et chimiques du sol sont liés à l'activité biologique car ils résultent principalement de l'action des organismes vivants du sol sur la matière organique (Larouche, 1983 ; Bachelier, 1973 ; Mäder *et al.*, 2002). Afin de mettre en évidence l'impact des pesticides et de leurs métabolites sur le sol, les microorganismes peuvent servir de référence car ils constituent un indicateur fiable de la fertilité des sols (Chaussod *et al.*, 2001 ; Mäder *et al.*, 2002). De nombreuses études dont celles de Behki et Khan (2001), Xu *et al.* (2001), Zayed *et al.* (2001), Vig *et al.* (2001), Hussain *et al.* (2001), Tejada *et al.* (2001), Tayaputch *et al.* (2001) ont été menées dans plusieurs pays au sujet de l'impact des résidus de pesticides sur les microorganismes du sol. Les résultats obtenus à l'issue de ces études sont contradictoires. Parfois, les pesticides inhibent le développement des microorganismes et/ou leurs activités, d'autres fois ils les stimulent.

Au Burkina Faso, la plupart des études réalisées à propos des pesticides ont porté sur l'état de contamination des eaux par les pesticides (GIRE, 2001 ; Illa, 2004 ; Tapsoba et Bonzi-Coulibaly, 2006), la biodégradation des pesticides (Nacoulma, 1994; Savadogo, 1996 et 2001; Savadogo *et al.*, 1999 et 2007; Topan, 2005), la qualité des céréales, des fruits et des légumes (Nébié *et al.*, 2002) et leurs effets sur la santé humaine (Toé *et al.*, 2000).

Quelques études se sont intéressées aux effets des pesticides sur la biologie des sols mais elles ont été conduites au laboratoire et les molécules de pesticides ont été testées séparément (Topan, 2005 et Coulibaly, 2006). Les effets combinés des pesticides tels qu'ils sont appliqués en milieu réel par les paysans sont peu ou pas connus. C'est dans ce contexte que la présente étude intitulée « *Impact des résidus de pesticides sur les microorganismes des sols dans les agrosystèmes cotonniers du Burkina Faso* » a été initiée. Le but de cette étude était de déterminer l'impact des résidus de pesticides sur la microbiologie des différents sols des zones cotonnières du Burkina Faso.

Le présent mémoire comprend trois chapitres : le premier est consacré à une synthèse bibliographique sur le sujet traité, le deuxième présente la méthodologie adoptée pour atteindre les objectifs fixés et le troisième rend compte des résultats et de la discussion.

CHAPITRE 1 : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

L'histoire de l'utilisation des pesticides à grande échelle a commencé depuis 1763 avec le premier essai conscient de lutte chimique par des arboriculteurs de Montreuil qui ont aspergé les pêchers envahis de pucerons avec du jus de tabac (Fournier, 1988). Cette lutte chimique va connaître un développement au milieu du 19^e siècle, avec des produits d'origine naturelle comme la roténone et le pyrèthre, et d'origine minérale à base de cuivre et d'arsenic (sulfate de cuivre). C'est à l'issue de la seconde guerre mondiale (1946) que l'emploi de produits synthétisés connaîtra une généralisation avec le dichlorodiphényltrichloroéthane (DDT) comme premier pesticide de synthèse (Tomlin, 1994).

1.1- GENERALITES SUR LES PESTICIDES

1.1.1- Définition et classification des pesticides

1.1.1.1- Définition

Les pesticides regroupent un nombre important de molécules destinées à lutter contre de nombreux groupes d'organismes (Bouchon et Lemoine, 2003). Selon Calvet *et al.* (2005), les pesticides comprennent les produits phytopharmaceutiques et les autres produits biocides qui ne sont pas classés comme des produits phytopharmaceutiques et qui ont une action sur des organismes vivants. La Directive de la Communauté Economique Européenne (91/414/CEE) définit les produits phytopharmaceutiques comme étant des substances actives et des préparations contenant une ou plusieurs substances actives qui sont présentées sous la forme dans laquelle elles sont livrées à l'utilisateur et qui sont destinées à :

- protéger les végétaux ou les produits végétaux contre tous les organismes nuisibles ou à prévenir leur action ;
- exercer une action sur les processus vitaux des végétaux, pour autant qu'il ne s'agisse pas de substances nutritives (ex : régulateur de croissance) ;
- assurer la conservation des végétaux ;
- détruire les végétaux indésirables ;
- détruire les parties de végétaux, freiner ou prévenir une croissance indésirable des végétaux.

Concernant les produits biocides, la Directive de la Communauté Economique Européenne (98/8/CEE), les définit comme étant des substances actives destinées à détruire, repousser ou rendre inoffensifs les organismes nuisibles aux cultures, à prévenir leurs actions ou à les combattre par une action chimique ou biologique. Ne sont pas concernés par cette définition les produits spécifiques pour la protection des plantes ou des produits végétaux, quelle que soit l'application.

1.1.1.2- Classification des pesticides

Les pesticides peuvent être classés selon la composition chimique, l'ennemi ciblé (insecticides, herbicides, fongicides, bactéricides, algicides...), la formulation (concentrés émulsionnables, poudres mouillables, solutions aqueuses, granulés) et la toxicité (modérément toxique, hautement toxique, extrêmement toxique). Selon Bouchon et Lemoine (2003), ils sont habituellement classés selon leur composition chimique en plusieurs grandes familles dont les principales sont : les organochlorés, les organophosphorés, les carbamates et les pyréthrinoïdes de synthèse. Les insecticides organochlorés agissent surtout par "contact" et modifient le potentiel électrique des fibres nerveuses des insectes. Les organophosphorés et les carbamates agiraient plutôt sur la transmission de l'influx nerveux. Les pyréthrinoïdes de synthèse remplacent depuis peu les organochlorés trop toxiques. Ces produits présenteraient des propriétés cancérogènes et allergènes, surtout en cas de contamination des denrées alimentaires. Tous ces produits ont la propriété d'être toxiques par contact, par ingestion et/ou par inhalation (Tomlin, 1994).

1.1.2- Utilisation des pesticides en agriculture au Burkina Faso

Les pesticides importés par le Burkina Faso sont surtout utilisés en agriculture pour la protection des cultures contre les ravageurs, la lutte contre les mauvaises herbes et la conservation des produits de récolte. Leur utilisation a connu une forte augmentation compte tenu principalement de l'extension considérable des superficies cultivées en coton (INERA, 2004). D'après les renseignements de la SAPHYTO, la quantité de pesticides importés par le Burkina Faso en 2005 dépassait 2 000 000 litres. Une grande partie des pesticides importés est destinée à la culture cotonnière qui consommerait à elle seule plus de la moitié. Le reste est destiné à la lutte antiacridienne et à la protection phytosanitaire de la canne à sucre, des cultures maraîchères et du riz (INERA, 2004).

1.1.2.1- Programme de protection phytosanitaire du coton en vigueur au Burkina Faso

Le cotonnier est une plante sujette aux attaques de nombreux insectes. A tous les stades de développement, il existe des insectes susceptibles de détruire la plante entière ou d'empêcher la production du coton. En effet, au stade plantule, on peut assister à des attaques de chenilles, de coléoptères et/ou de piqueurs suceurs (mouche blanche, pucerons, thrips...) pouvant entraîner la mort des jeunes plants. Au stade plante, on a les ravageurs du feuillage (insectes broyeur) tels que les chenilles de lépidoptères, les sauterelles, les hémiptères, les pucerons, les cicadelles, les acariens qui peuvent entraîner une défoliation complète de la plante et voire sa mort. En période de floraison, la production peut être compromise par les insectes responsables de la mort des boutons floraux et/ou de la chute des capsules. Ce sont les mirides, les mylabres, les cétoines, les hémiptères (*Helicoverpa armigera*) et les lépidoptères (*Diparopsis watersi*) (INERA, 1994).

Pour lutter contre cette diversité d'insectes, l'IN.E.R.A. a mis au point un programme de protection phytosanitaire du cotonnier appelé programme fenêtre et vulgarisé dans toutes les zones cotonnières du pays. Une présentation synthétique de ce programme est donnée dans le tableau 1.

Tableau 1 : Programme de protection phytosanitaire du cotonnier en vigueur au Burkina Faso

Fenêtre	Traitements	Matière (s) active (s) appliquée (s)	Doses (g/ha)	Date d'application
1 ^{re} fenêtre	1 ^{er} traitement	Profenofos (500g/l)	250	30 J.A.S
	2 ^{ème} traitement	Profenofos (500g/l)	250	14 jours après le 1 ^{er} traitement
2 ^e fenêtre	3 ^{ème} traitement	Endosulfan (35 g/l) + Cypermethrine (36g/l)	17,5 + 18	14 jours après le 2 ^e traitement
	4 ^{ème} traitement	Endosulfan (35 g/l) + Cypermethrine (36 g/l)	17,5 + 18	14 jours après le 3 ^e traitement
3 ^e fenêtre	5 ^{ème} traitement	Acetamipride (16 g/l) + Cypermethrine (36 g/l)	8 + 18	14 jours après le 4 ^e traitement
	6 ^{ème} traitement	Acetamipride (16 g/l) + Cypermethrine (36 g/l)	8 + 18	14 jours après le 5 ^e traitement

Source : INERA, 2004.

Le programme comprend six traitements insecticides répartis en trois fenêtres. Pour chaque fenêtre deux traitements insecticides sont effectués, avec la (les) même (s) matière (s) active (s). Le 1^{er} traitement a lieu trente (30) jours après le semis du coton puis, un traitement est effectué chaque deux (2) semaines jusqu'à la fin du programme. Les quantités de pesticides appliquées dépendent de la matière active considérée (Tableau 1).

A chaque campagne agricole quatre (4) familles chimiques de pesticides peuvent être utilisés pour protéger le cotonnier contre ses ravageurs : les organophosphorés tel que le profenofos, les organochlorés (endosulfan), les néonicotinoïdes (acétamipride) et les pyrèthri-noïdes (cyperméthrine). Les carbamates peuvent aussi être utilisés. Les pesticides changent d'une campagne agricole à l'autre en vue de retarder l'apparition de la résistance des insectes aux insecticides. Toujours dans la même optique, les pesticides utilisés peuvent être différents d'une zone cotonnière à l'autre (INERA, 2004).

1.1.2.2- Pesticides utilisés par les producteurs : origines et qualité

Les pesticides conventionnels utilisés en culture cotonnière sont distribués par les trois sociétés cotonnières du Burkina Faso. Ce sont : la SO.FI.TEX. qui couvre les zones Ouest, Nord-Ouest et le Sud-est du pays, FASO COTON qui couvre, les zones centre et Centre - sud et SO.CO.MA. intervenant dans la zone Est (Carte 1).

Au démarrage de chaque campagne agricole, chaque société cotonnière distribue aux producteurs regroupés en GPC, les pesticides conventionnels à utiliser dans sa zone d'intervention au cours de la campagne (INERA, 2004). Les résultats d'enquêtes de l'INERA (2006) ont permis de dresser une liste de pesticides conventionnels utilisés dans la région cotonnière de Pô en 2006 (Tableau 2). Cependant, les producteurs utilisent aussi des pesticides non conventionnels, ce qui indique l'existence d'autres sources de distribution de pesticides. En effet, il existe sur la place du marché, des vendeurs de pesticides parmi lesquels on rencontre des pesticides non conventionnels. Le tableau 3 présente une liste de quelques pesticides non conventionnels recensés à Pô en 2006 (INERA, 2006).

Carte 1 : Carte du Burkina Faso : localisation des zones cotonnières

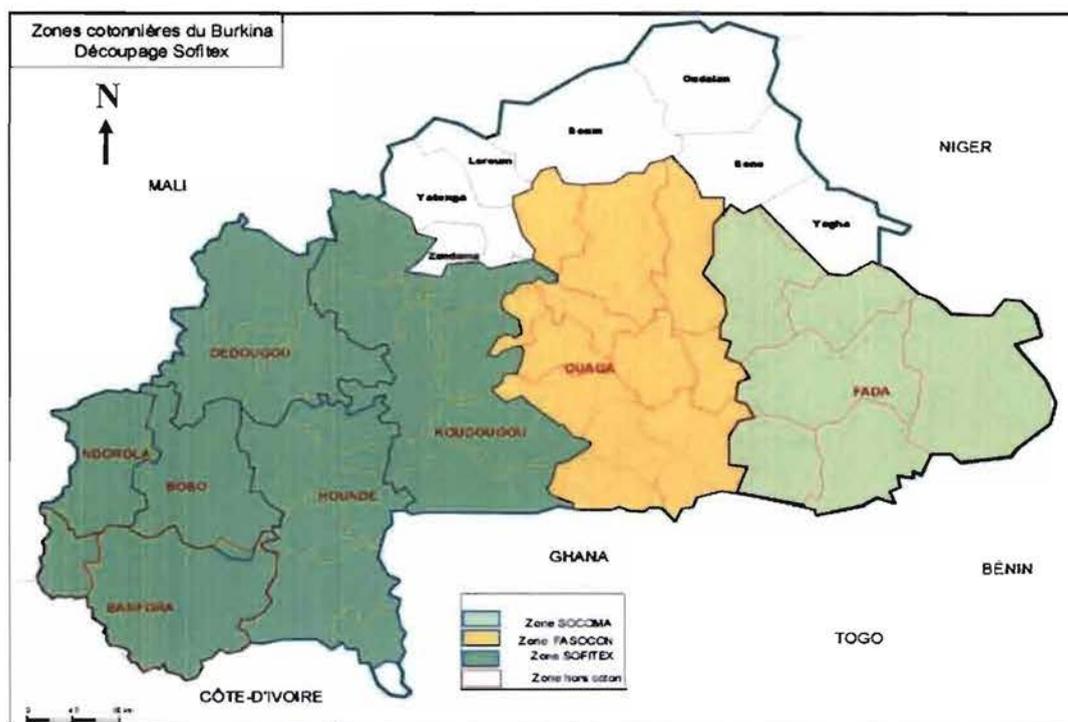


Tableau 2 : Pesticides conventionnels recensés dans la zone de cotonnière de Pô en 2006

Nom commercial	Matières actives	Utilisation
Endocoton 500 E C	Endosulfan	Insecticide
LAMDEX 430 E C	Lambdacyhalothrine + Chlorpyriphos éthyl	Insecticide
Blast 46 E C	Lambdacyhalothrine acétamipride	Insecticide
Protector 30/30 E C	Lambdacyhalothrine + Pyriproxifène	Insecticide
LASER 480 E C	Spinosad	Insecticide
Cotoset 580 E C	Fluométuron Prométryne Glyphosate	Herbicide
Gallan Super	HaloxifopRmethyl	Herbicide
Dominator	Glyphosate	Herbicide
Rocky 386 E C	Endosulfan + cypermethrine	Insecticide
Fanga 500 E C	Profenofos	Insecticide

Source : INERA, 2006

Tableau 3 : Pesticides non conventionnels recensés à Pô en 2006

Nom commercial	Matières actives	Utilisation
Deus EC 12,5 Emulsifiable	Deltamethrin	Insecticide
Herbaxtra	2,4 D Amin salt	Herbicide
Sinatra	Atrazine	Herbicide
Kondem	Non identifié	Herbicide
Call herbe	2,4 D Amin salt	Herbicide
ATRAZ 50 FW	Atrazine	Herbicide
Select 2,4 D amine	Dimethylamine salt	Herbicide
Sarosate	Non identifié	Herbicide
WERKO 2,5 EC	Lambdacyhalothrine	Insecticide

Source : INERA (2006)

Les pesticides non conventionnels utilisés sont essentiellement des herbicides. Les matières actives qu'ils contiennent sont très toxiques et possèdent une grande rémanence dans le sol (Tableau 3).

1.1.3- Devenir des pesticides dans le sol

Une importante quantité des pesticides utilisés contre des organismes vivants nuisibles se retrouve sur le sol. De là, les molécules de pesticides sont entraînées par le ruissellement dans les cours d'eau, et par lixiviation dans le sol et la nappe phréatique. Le comportement global des pesticides dans le sol est complexe car il dépend d'une multitude de processus interconnectés et de la diversité des molécules actives (Colleu et Mignard, 2000; Barussio *et al.*, 1996 et Calvet *et al.*, 2005). Néanmoins, les principaux processus peuvent être scindés en plusieurs étapes (Colleu et Mignard, 2000):

- la mise en solution dans le sol à partir d'une spécialité commerciale ou un produit formulé ;
- l'absorption par la microflore du sol et par les végétaux dans le cas des produits systémiques ;
- l'adsorption sur la phase solide organo-minérale du sol ;

- la biodégradation par la microflore du sol ;
- le transport convectif et/ou diffusif dans la solution du sol ;
- la formation de « résidus liés » plus ou moins stables.

Certains processus tendent à fixer le pesticide ou ses métabolites sur la phase organo-minérale du sol : c'est la rétention du pesticide. D'autres par contre l'entraînent à se concentrer dans la phase liquide du sol : c'est la persistance du produit. Une forte rétention du pesticide par les matières organo-minérales réduit les risques de pollution par les transferts hydriques, tandis que plus un produit est persistant, plus il est mobile et facilement transporté et donc les risques de pollution des eaux sont plus grands. Le tableau 4 présente la rémanence de quelques pesticides dans le sol.

Tableau 4 : Rémanence de quelques pesticides dans le sol

Pesticide	Rémanence
DDT (organochloré)	4-30 ans
Lindane (organochloré)	3-10 ans
Endosulfan (organochloré)	2 mois à 2ans
Carbofuran (carbamate)	6 mois
Parathion (organophosphoré)	3-6 mois
2,4,5-T	3-5 mois
2,4-D	4-6 mois

Source : Boseret (2000).

Les organochlorés (DDT, lindane et endosulfan) sont les pesticides les plus rémanents. Leur rémanence dans le sol peut atteindre 30 ans alors que ceux des organophosphorés (parathion) et des carbamates (carbofuran) ne sont que de six (6) mois (Tableau 4).

1.2- GENERALITES SUR LES ORGANISMES VIVANTS DU SOL

1.2.1- Composition des organismes vivants du sol

Les organismes vivants du sol comprennent la faune (macroorganismes) et la microflore (microorganismes). La faune se compose d'insectes, d'araignées, de myriapodes, de nématodes et d'annélides. Les microorganismes sont constitués par les protozoaires, les algues, les champignons, les actinomycètes et les bactéries. Dans la présente synthèse, nous nous intéresserons uniquement aux microorganismes du sol.

1.2.2- Importance des organismes vivants du sol

Les organismes vivants du sol jouent un rôle capital dans la transformation de la matière organique qui détermine la fertilité du sol. La faune intervient dans la fragmentation des débris végétaux et leur enfouissement naturel dans le sol, et participe à la formation de l'humus. Les microorganismes, participent significativement aux cycles biogéochimiques (cycles du carbone, de l'azote, du phosphore, soufre...), à la détermination de l'équilibre biologique des sols et aux activités symbiotiques (Columa, 1977 ; Soulas, 1999).

1.2.3- Aperçu sur les méthodes d'études des microorganismes du sol : indicateurs biologiques et méthodes de détermination

1.2.3.1- Les indicateurs biologiques

Les indicateurs potentiellement utilisables pour effectuer les mesures biologiques peuvent être regroupés de la façon suivante (ITAB, 2002) :

- la biomasse microbienne et les métabolites : ils permettent d'apprécier les compartiments actifs de la matière organique. La biomasse microbienne du sol est à la fois un compartiment transformateur de la matière organique du sol et de stockage d'éléments comme l'azote. C'est également un indicateur précoce des modifications de la qualité des sols. La quantité de biomasse microbienne et son activité vont être fonction de la quantité de matière organique et notamment de sa fraction libre. Elles vont aussi être fonction de sa qualité exprimée par le rapport C/N (plus ce rapport est faible et plus la dégradabilité est rapide), et fonction des conditions pédoclimatiques du sol (un pH acide est moins favorable à l'activité microbienne) (Nguyen The *et al.*, 2004) ;

- la minéralisation du carbone (respiration) et de l'azote qui renseigne sur l'activité globale de la microflore du sol. Une faible minéralisation traduit une mauvaise intégration de la matière organique dans le sol.

Peu d'énergie est transmise vers le sol ; il y a peu d'activité biologique, peu de fertilisation et un risque de migration des éléments (Nguyen The *et al.*, 2004) ;

- les activités enzymatiques du sol (activités de la déshydrogénase, nitrogénase, cellulases, phosphatases);
- les populations particulières d'intérêt agronomique ou utilisables comme bio-indicateurs : exemple les mycorhizes ;
- l'activité des lombriciens qui renseigne sur le fonctionnement macrobiologique du sol.

Plusieurs mesures biologiques peuvent être effectuées, mais leur intérêt pratique dépend en premier lieu de l'objectif agronomique poursuivi. Il est donc important de définir l'usage agronomique des mesures avant d'opérer un choix des mesures à faire pour juger des propriétés biologiques des sols cultivés. Les paramètres biologiques du sol peuvent permettre de s'assurer du bon fonctionnement biologique des sols, de voir si les pratiques agricoles sont bénéfiques et d'essayer de quantifier les effets des pratiques en terme de fertilité. Selon Soulas (1999), les indices biologiques les plus utilisés pour déterminer les effets secondaires des substances xénobiotiques sur les microorganismes du sol sont les caractéristiques de taille et d'activité des microorganismes. Ces caractéristiques sont liées au fonctionnement biologique des sols et sont considérées comme les meilleurs indices pour l'évaluation des impacts écotoxicologiques.

1.2.3.2- Méthodes de détermination de quelques indicateurs biologiques

1.2.3.2.1- Méthodes de détermination de la biomasse microbienne

Les méthodes de détermination de la biomasse microbienne des sols sont multiples (Fardoux *et al.*, 2000). Les plus couramment utilisées sont la fumigation-extraction de Vance *et al.* (1987), modifiée par Amato et Ladd (1988) et la fumigation-incubation de Jenkinson et Powlson (1976). Ce sont deux méthodes qui utilisent un agent biocidal, le chloroforme qui tue les microorganismes du sol. Par la technique de fumigation-extraction la biomasse microbienne est estimée à partir de la quantité de carbone ou d'azote extraits (Chaussod *et al.*, 1992 ; El-ghamry *et al.*, 2000 ; Fardoux *et al.*, 2000 et Bilgo *et al.*, 2006). La fumigation-incubation permet d'estimer la biomasse microbienne à partir du gaz carbonique (CO₂) dégagé (Chaussod *et al.*, 1986 ; Fardoux *et al.*, 2000 ; INSAH, 2004 ; Niane-Badiane *et al.*, 2006 et Traoré *et al.*, 2007).

1.2.3.2.- Méthode de détermination de la respiration microbienne

La méthode la plus ancienne et la plus simple pour évaluer l'activité globale de la microflore du sol consiste à mesurer la minéralisation du carbone et de l'azote en conditions contrôlées, proche de l'optimum biologique. Dans la pratique, les échantillons de sol sont généralement incubés pendant un certain temps à 28°C et à une teneur en eau voisine de la capacité au champ pour permettre aux microorganismes de reprendre leurs activités (ITAB, 2002 ; Sedogo, 1993 ; Lompo, 1993 ; INSAH, 2004 ; Topan, 2005 ; Coulibaly, 2006 ; Zombré, 2006 et Traoré *et al.*, 2007).

1.2.4- Facteurs influençant les microorganismes et leurs activités

Les mesures biologiques dépendent de nombreux paramètres notamment du climat, du type de sol et de la conduite agronomique (ITAB, 2002).

L'humidité du sol conditionne l'activité des microorganismes telluriques. Une étude conduite par Fardoux *et al.* (2000) montre que les échantillons de sol humidifiés à 5% de leur capacité au champ ont une biomasse microbienne très faible et presque nulle comparativement aux échantillons humidifiés à 100% et à 300%.

Les caractéristiques physico-chimiques influencent fortement les propriétés biologiques des sols. Des relations étroites ont été mises en évidence entre les caractéristiques physico-chimiques et biologiques des sols. En effet, la composition de la microflore et la taille de la biomasse microbienne des sols sont très variables et dépendent de la nature des sols, du pH, de la teneur en carbone organique et en minéraux argileux. Une corrélation positive a été mise en évidence entre la matière organique et la respiration du sol d'une part, et d'autre part entre la matière organique et la biomasse microbienne (Chaussod *et al.*, 1986 ; Traoré *et al.*, 2007). Chaussod *et al.* (1986) ont trouvé que la biomasse microbienne était en moyenne de 0,2 g C.kg⁻¹ dans les sols sableux pauvres en matières organiques et pouvait atteindre 0,9 g C.kg⁻¹ dans les sols riches (teneurs en C supérieures à 40 g kg⁻¹). Campbell (1978), Sedogo (1993) et Gamouh *et al.* (2005), ont travaillé sur l'influence des teneurs en matière organique du sol sur son activité respiratoire. Les résultats ont révélé que plus la teneur en matière organique est faible, plus la minéralisation est importante.

Le pH influence la taille de la biomasse et la diversité des populations microbiennes. Plus le sol est acide, moins la biomasse microbienne est importante (ITAB, 2002).

La texture fine du sol ($< 5 \mu\text{m}$) aurait un effet protecteur sur la biomasse microbienne, due à la plus forte proportion de micropores par rapport à un sol sableux et par la limitation du développement des prédateurs de microorganismes (ITAB, 2002). Les travaux de Traoré *et al.* (2007) ont en effet révélé l'existence d'une corrélation positive ($r = 0,40$) entre la teneur en argiles et la biomasse microbienne d'une part, et une corrélation négative ($r = - 0,77$) entre la teneur en argiles et la respiration du sol d'autre part. Ils ont montré que la respiration était plutôt positivement corrélée ($r = 0,62$) à la teneur en sables.

La mise en culture des terres entraîne une modification des populations microbiennes et de leurs activités (Chaussod *et al.*, 1992 et 2001 ; INSAH, 2004 et Bilgo *et al.*, 2006).

Les travaux de Chaussod *et al.* (2001) sur un sol ferrugineux tropical au Vénézuéla ont révélé que la biomasse microbienne était d'environ deux fois plus élevée dans les parcelles sous prairie que dans celles qui sont cultivées. Au Burkina Faso, les mêmes observations ont été faites sur le même type de sol par Bilgo *et al.* (2006) lors de l'étude des propriétés chimique et biologique d'un sol de jachère à court terme. Ces auteurs ont par ailleurs noté que la respiration des sols et l'activité de l'enzyme β -glucosidase étaient plus élevées sur les jachères que sur les sols cultivés.

En référence à tout ce qui précède, il est clair que l'analyse des résultats concernant des mesures biologiques doit tenir compte du climat, du type de sol et des pratiques culturales. Les mesures biologiques doivent donc s'accompagner de la détermination des principales caractéristiques des échantillons de sols correspondants : granulométrie, pH, CEC, teneur en matière organique, éléments totaux.

1.3- INTERACTIONS ENTRE LES PESTICIDES ET LES MICROORGANISMES DU SOL

1.3.1- Biodégradation des pesticides

La dégradation biotique des pesticides dans le sol et dans les eaux, est réalisée par la microflore présente dans ces milieux et consiste en des transformations chimiques dues à leurs systèmes enzymatiques. Dans les sols, les champignons, les algues, les protozoaires et les bactéries sont impliqués dans la dégradation des pesticides, mais les bactéries et les champignons sont en majorité responsables de cette dégradation. Les réactions de dégradation des pesticides peuvent se dérouler à l'intérieur et/ou à l'extérieur des microorganismes.

Dans tous les cas, ces réactions sont catalysées par des enzymes et cela nécessite que les pesticides soient dissouts dans la phase liquide du sol. Selon Columa (1977), et Calvet *et al.* (2005), trois mécanismes sont considérés comme étant directement à l'origine de la dégradation microbienne des pesticides : ce sont le métabolisme direct, le cométabolisme et la conjugaison. Le métabolisme direct consiste en une utilisation des pesticides comme source d'énergie par les microorganismes. En effet, ils ont besoin d'éléments nutritifs (C, N, P, S, éléments traces) d'eau et d'énergie pour croître et maintenir leur activité. Il existe une multitude de pesticides qui peuvent servir de sources d'éléments nutritifs et d'énergie pour les microorganismes. Certains microorganismes, notamment des bactéries, sont capables d'assurer la minéralisation complète des molécules de pesticide. D'autres par contre ne peuvent effectuer qu'une partie des transformations, ce qui nécessite l'intervention de plusieurs espèces pour obtenir la minéralisation complète des molécules de pesticides. Les réactions de métabolismes conduisent à leur destruction complète avec formation de molécules inorganiques que sont le dioxyde de carbone, l'ammoniac, l'eau et les anions sulfates et phosphates (Colleu et Mignard, 2000; Calvet *et al.*, 2005). Le cométabolisme est un processus au cours duquel des microorganismes assurent leur maintenance et leur multiplication au dépend d'un substrat organique tout en dégradant des pesticides sans que ceux-ci soient une source d'énergie et d'éléments nutritifs (Dalton et Stirling, 1982 ; Bollag et Liu, 1990, tous cités par Calvet *et al.*, 2005). De nombreux microorganismes peuvent participer à ce processus de dégradation qui est très fréquent dans le sol (Calvet *et al.*, 2005). Les microorganismes particulièrement impliqués dans le cométabolisme sont les champignons en raison de l'abondance de leur système enzymatique à large spectre d'activité. La dégradation complète des pesticides et la production de métabolites par ce processus requiert la participation de plusieurs souches. Les métabolites formés ont des propriétés différentes de celles du pesticide initial, en particulier celles relatives à leur transport et leur toxicité. Ils sont souvent plus polaires et donc plus solubles dans l'eau et parfois plus toxiques (Calvet *et al.*, 2005).

La conjugaison est un processus au cours duquel des pesticides interagissent entre eux ou avec d'autres molécules présentes dans la solution du sol, les réactions chimiques étant catalysées par des enzymes exocellulaires (Bollag et liu, 1990 cités par Calvet *et al.*, 2005). Elle conduit à l'union de deux molécules par méthylation ou par acétylation. Lorsque la conjugaison réunit plus de deux molécules on parle de condensation.

La biodégradation des pesticides utilisés en agriculture a fait l'objet de nombreuses études. Les résultats indiquent qu'elle dépend de plusieurs facteurs dont les types de microorganismes en présence, la nature du pesticide, le pH, la température, la nature et la composition chimique du sol (Nacoulma, 1994 ; Savadogo, 1996 et 2001 ; Savadogo *et al.*, 1999, 2006 et 2007; Andrea *et al.*, 2001 ; Behki et Khan, 2001 ; Tejada *et al.*, 2001 ; Topan, 2005 et Coulibaly, 2006). Les travaux de Savadogo *et al.* (2006) ont montré en milieu contrôlé une dégradation plus rapide de l'endosulfan dans les sols riches en matière organique et en argiles.

1.3.2- Effets des pesticides sur la biologie des sols

Les pesticides sont prioritairement utilisés pour détruire ou repousser des insectes nuisibles aux cultures et récoltes et/ou pour détruire les adventices. Leur emploi superficiel sur les mauvaises herbes ou sur les cultures n'épargne pas le sol qui en reçoit une bonne part. Les organismes vivants des sols sont donc inévitablement en contact avec les pesticides.

Ainsi, ces pesticides ou leurs produits de dégradation peuvent avoir une action directe ou indirecte sur les organismes vivants du sol (Columa, 1977; Calvet *et al.*, 2005).

Les pesticides peuvent être toxiques pour les microorganismes des sols. Dans ce cas, l'activité microbienne est ralentie et on assiste à une sélection des microorganismes résistants aux pesticides ou pouvant l'utiliser comme source de carbone. Cela se traduit par des réajustements microbiens pouvant être associés à des modifications de caractéristiques physiologiques de la microflore des sols et peut être aussi à une diminution de la diversité des microorganismes (Columa, 1977 ; Barriuso *et al.*, 1996 et Savadogo *et al.*, 2007).

Une étude d'impact de l'utilisation prolongée de pesticides dans un agrosystème cotonnier, menée par Hussain *et al.* (2001), a révélé que l'endosulfan, le profenofos + alphasécytrine et le methamidophos diminuaient la population bactérienne. La même observation a été faite par Mäder *et al.* (2002) sur un sol cultivé en pomme de terre traitée par du dinoseb et du glufosinate. Concernant la population totale de champignons, le diméthoate entraînait une diminution de la population de champignons alors que l'endosulfan, le monocrotophos, le profenofos et le methamidophos la stimulaient. Tejada *et al.* (2001) ont investigué sur les effets du profenofos sur les microorganismes des sols d'un champ de coton expérimental et de champs paysans. Les résultats ont montré que le profenofos a un effet minime sur les populations de bactéries et de champignons dans les champs de coton.

Le methamidophos, le monocrotophos et l'endosulfan seul ou avec le diméthoate inhibent la respiration du sol mais augmentent la biomasse microbienne. Il en est de même avec le profenofos avec la cyperméthrine ou l'éthion et le bifenthrine avec l'acetamipride ou avec la carbosulfan+chlorpyrifos. Mais plusieurs semaines après l'usage des pesticides, aucun effet n'est noté (Hussain *et al.*, 2001).

Au Burkina Faso, des études au laboratoire ont été menées au sujet de l'impact des pesticides sur les microorganismes du sol. Selon Topan (2005) et Coulibaly (2006), la dose de pesticides 3ppm voisine de celle conseillée aux producteurs de coton est sans effet sur l'activité respiratoire des sols à court terme. Les travaux de Coulibaly (2006), ont par ailleurs indiqué que l'endosulfan, à la dose 3 ppm recommandée aux producteurs, n'a pas d'impact sur la population de la microflore tellurique et le pH des sols après 15 jours d'incubation. Cependant, la dose 6 ppm stimule l'activité respiratoire des sols au cours des 5 premiers jours de l'incubation et modifie le pH_{KCl} de ces sols. Elle n'affecte ni le pH_{eau} ni la population de la microflore aérobie après 15 jours d'incubation.

CHAPITRE 2 : SITES D'ÉTUDE - MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1- SITES D'ETUDE

2.1.1- Choix des sites d'études

Le critère considéré pour le choix des sites est le type de sol et l'ancienneté de la culture cotonnière. Il existe au Burkina Faso des zones où la culture cotonnière est pratiquée depuis les années 1960 et des zones où sa pratique est encore récente (moins de 10 ans). Pour la présente étude, quatre (4) sites de production ont été retenus dont deux anciens et deux nouveaux. Les anciens sites de production cotonnière retenus sont : Tiokouy et Tiébélé situés respectivement dans la zone cotonnière de Dédougou et de Pô. Les nouveaux sites retenus sont Pama et Comin-Yanga situés dans la zone cotonnière de Fada N'Gourma.

2.1.2- Localisation des sites d'étude

- Le site de Tiokouy est dans la province du Mouhoun situé à l'Nord-Ouest du Burkina Faso. Il est situé à 45 km de Dédougou chef lieu de la province du Mouhoun. Ses coordonnées géographiques sont : Longitude : 3° 14' 24'' W et Latitude: 12° 18' 00''N ;
- Tiébélé est situé dans la province du Nahouri dans la partie Sud du pays. Ce site est à 50 km à l'Est de Pô. Ses coordonnées géographiques sont les suivantes : Longitude : 0° 58' 12'' W et latitude 11° 5' 24'' N ;
- Le site de Pama est situé à 105 km au Sud-Est de Fada N'Gourma dans l'Est du Pays. Ses coordonnées géographiques sont : Longitude : 0° 42' 00''E et la Latitude est de 11° 13' 12''N ;
- Comin-yanga est situé à 50 km au Sud de Fada N'Gourma et ses coordonnées géographiques sont : Longitude 0° 10'12 '' E et latitude 11° 40'' 12''N.

La carte 2 illustre la position des sites sur la carte du Burkina Faso.

2.1.3- Climat

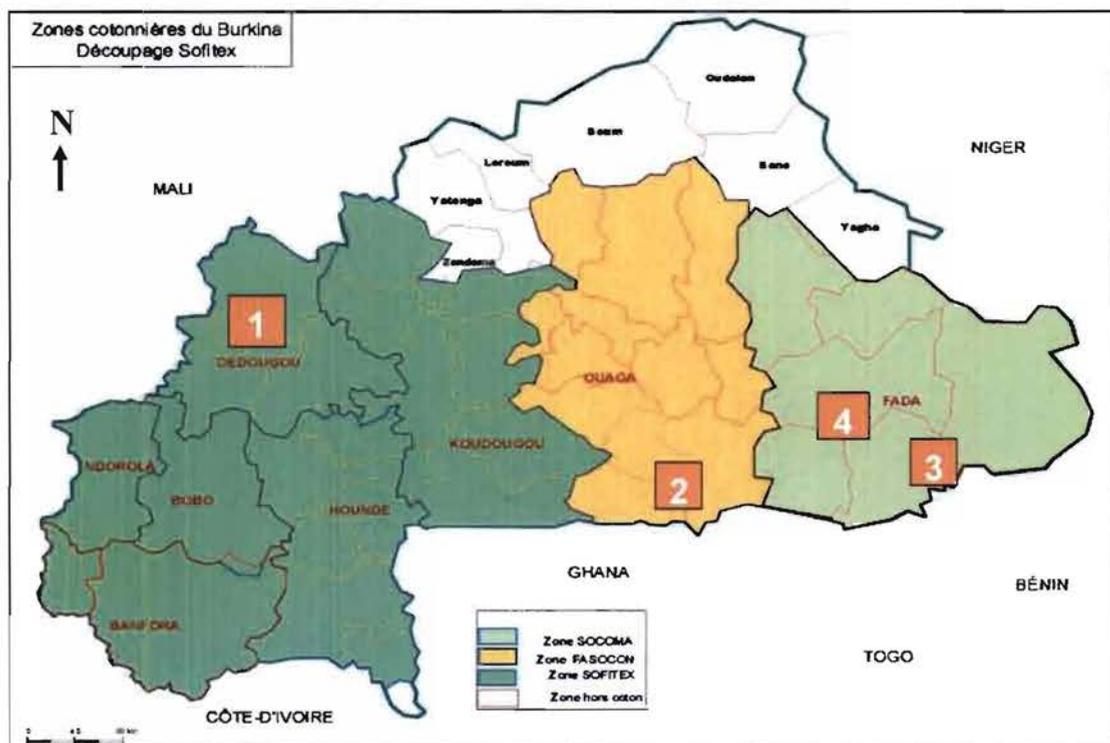
Les sites de Tiokouy, Pama et Comin-yanga se situent dans la zone soudano-sahélienne qui est caractérisée par l'alternance de deux (02) saisons : une saison sèche d'octobre à avril et une saison pluvieuse de mai à septembre. La pluviométrie est inégalement répartie dans le temps et dans l'espace et sa moyenne annuelle est comprise entre 600 et 900 mm.

Les amplitudes thermiques diurnes et annuelles sont moins importantes que dans la partie nord, avec des ETP modérées. Les températures maximales s'observent au mois d'avril où elles atteignent 32°C tandis que les minimales atteignent 21 à 23 °C au mois de janvier.

Quant à Tiébélé, le climat est celui de la zone soudanienne méridionale, caractérisée par une saison sèche de novembre en février, et une saison pluvieuse de mars à octobre. Les pluies sont généralement abondantes mais mal réparties dans le temps et dans l'espace. Les mois de juillet et d'août enregistrent généralement la moitié des précipitations de la période hivernale.

Les évolutions mensuelles des hauteurs d'eau tombée pour l'année 2006 dans les quatre (4) sites sont illustrées par la figure 1.

Carte 2 : Localisation des sites de prélèvement des échantillons de sol sur la carte du Burkina Faso.



Source -

Légende :

- 1 = Site de Tiokouy
- 2 = Site de Tiébélé

- 3 = Site de Pama
- 4 = Site de Comin-yanga

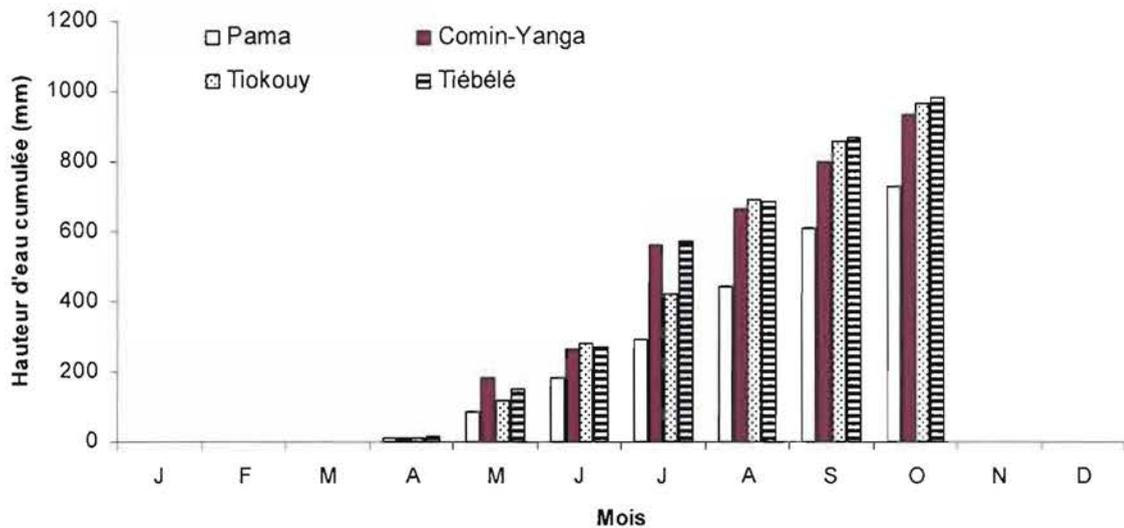


Figure 1 : Evolution mensuelle des hauteurs d'eau cumulées en 2006 dans les sites d'étude

2.1.4- Sols

Les sols de Tiokouy sont principalement des sols ferrugineux tropicaux. On y trouve aussi des sols bruns eutrophes tropicaux peu lessivés et des sols hydromorphes peu humifères.

Les sols de Tiébélé appartiennent essentiellement aux classes des vertisols et des sols hydromorphes dû à sa localisation dans une vallée (DRED, 2004).

Les sols rencontrés à Pama, sont majoritairement des sols ferrugineux tropicaux et des sols hydromorphes.

A Comin-yanga, les sols sont essentiellement des sols hydromorphes et des sols vertiques.

2.1.5- Végétation

La végétation de Tiokouy est principalement constituée de forêts claires, de savanes boisées et arbustives.

A Tiébélé, on a une savane boisée avec deux principales formations végétales: une savane arbustive et les galeries forestières rencontrées dans les bas fonds, les vallées et sur les pentes surélevées des zones d'inondation longeant les cours d'eau. Les espèces ligneuses dominantes sont constituées de : *Acacia sieberiana*, *Acacia polyacantha*, *Anogeissus leiocarpus*, *Cola laurifolia*, *Kaya senegalensis*, *Daniela oliveri*, *Panicum panaculatum*, *Pterocarpus santalinoïdes*, etc. A cette végétation ligneuse est associée une importante végétation herbacée composée de graminées.

La végétation à Pama et Comin-yanga, est composée de deux grands domaines : la savane arborée et la savane arbustive. Les formations végétales sont caractérisées par de nombreuses espèces ligneuses auxquelles est associée une importante végétation herbacée composée de graminées. Pama regorge d'importantes réserves forestières et fauniques (Guinko, 1984).

2-2. MATERIEL ET METHODES

2.2.1- Matériel

Le matériel d'étude est constitué d'échantillons de sol prélevés en zone cotonnière au Burkina Faso. Les sols ferrugineux tropicaux et les sols vertiques ont été retenus pour cette étude, car ils sont les plus exploités pour la culture du coton. Les sols ferrugineux tropicaux sont les plus répandus au Burkina Faso avec une proportion de 36% des sols. Les sols vertiques occupent seulement 6% des sols du pays mais ce sont des sols fertiles, et de ce fait ils sont beaucoup convoités par les producteurs de coton.

Ces deux types de sol présentent des caractéristiques physiques et chimiques différentes et de ce fait, il nous a paru intéressant d'étudier leurs influences sur le devenir et l'impact des pesticides dans le contexte agricole du Burkina Faso. En effet, les sols ferrugineux tropicaux se caractérisent surtout par leur faible teneur en argiles, en matière organique, en azote et en bases échangeables, leur faible capacité d'échange cationique, leur pH fortement à faiblement acide. Quant aux sols vertiques, ils possèdent essentiellement de fortes teneurs en argiles gonflantes, une bonne capacité de rétention en eau, une richesse minérale élevée. (BU.NA.SOLs, 1985).

2.2.2- Méthodes

2.2.2.1- Prélèvement et préparation des échantillons de sol

Les échantillons de sol ont été prélevés dans les champs de coton à une profondeur de 0-20 cm. Les prélèvements ont été effectués en tenant compte de la toposéquence (haut de pente, versant ou mi-pente et bas de pente). A chaque niveau de pente, trois échantillons de sol ont été prélevés puis mélangés pour constituer un échantillon composite. Les échantillons de sols ont été séchés à l'air libre et à l'ombre pendant trois jours puis tamisés à 2 mm.

2.2.2.2- Méthodes de caractérisation physico-chimique des sols

La caractérisation physique a consisté à faire une granulométrie trois (3) fractions en utilisant la méthode internationale adaptée à la pipette Robinson.

La matière organique est détruite par utilisation de l'eau oxygénée et les agrégats sont dispersés par l'hexamétaphosphate de sodium.

Le pH_{eau} a été mesuré au pH-mètre par la méthode électrométrique. Le rapport sol/eau était de 1/ 2,5.

Le carbone a été dosé par la méthode de WALKLEY-BLACK et la matière organique a été calculée en multipliant la valeur de la teneur en carbone par un coefficient égal à 1,72.

L'azote et le phosphore totaux ont été déterminés par attaque des échantillons de sol par la méthode KJELDALH suivie de dosages à l'auto-analyseur SKALAR (colorimétrie automatique).

Le potassium total a été dosé à l'aide d'un photomètre à flamme après minéralisation des échantillons de sol avec une solution d'acide sulfurique concentré à chaud et en présence d'un catalyseur.

L'interprétation des résultats concernant les caractéristiques physico-chimiques des sols a été faite selon les normes d'interprétation du BUNASOLs (1990) (Annexe 1).

2.2.2.3- Méthodes d'étude des effets des résidus de pesticides sur la biologique des sols des agrosystèmes cotonniers

Dans chaque site d'étude, des échantillons de sol ont été prélevés dans un champ de coton en juin avant les applications de pesticides et en octobre après les applications de pesticides. Ainsi, deux objets ont été comparés au niveau de chaque site. Ce sont les échantillons de:

- « **Sol avant application des pesticides** » : il s'agit d'échantillons de sol prélevés en début de campagne agricole au mois juin avant le début des applications de pesticides sur le coton.

- « **Sol après application des pesticides** » : ce sont des échantillons de sol prélevés en octobre, trois (3) mois après le début des applications d'insecticides sur le coton, ce qui correspond à la fin des applications d'insecticides. Les applications de pesticides ont été effectuées par les producteurs. Les différentes matières actives appliquées sur le coton au niveau de chaque site sont données dans le tableau 5.

Tableau 5: Programme de traitements insecticides et matières actives appliquées sur le coton en 2006 au niveau des sites de Tiokouy, Tiébélé, Pama et Comin-yanga.

Site	1 ^{re} fenêtre		2 ^e fenêtre		3 ^e fenêtre	
	1 ^{er} traitement	2 ^e traitement	3 ^e traitement	4 ^e traitement	5 ^e traitement	6 ^e traitement
Tiokouy	Profenofos (200 g.ha ⁻¹) + Zétaméthrine (12 g.ha ⁻¹)	Profenofos (200 g.ha ⁻¹) + Zétaméthrine (12 g.ha ⁻¹)	Endosulfan (500 g.ha ⁻¹)	Endosulfan (500 g.ha ⁻¹)	Cyperméthrine (72 g.ha ⁻¹) + Acetamipride (16 g.ha ⁻¹)	-
Tiébélé	Profenofos (500 g.ha ⁻¹)	Profenofos (500 g.ha ⁻¹)	Endosulfan (350 g.ha ⁻¹) + Cyperméthrine (36 g.ha ⁻¹)	Endosulfan (350 g.ha ⁻¹) + Cyperméthrine (36 g.ha ⁻¹)	Cyperméthrine (72 g.ha ⁻¹) + Acetamipride (16 g.ha ⁻¹)	Cyperméthrine (72 g.ha ⁻¹) + Acetamipride (16 g.ha ⁻¹)
Pama	Profenofos (500 g.ha ⁻¹)	Profenofos (500 g.ha ⁻¹)	Endosulfan (350 g.ha ⁻¹) + Cyperméthrine (36g.ha ⁻¹)	Endosulfan (350 g.ha ⁻¹) + Cyperméthrine (36 g.ha ⁻¹)	Cyperméthrine (72 g.ha ⁻¹) + Acetamipride (16 g.ha ⁻¹)	Cyperméthrine (72 g.ha ⁻¹) + Acetamipride (16 g.ha ⁻¹)
Comin-yanga	Profenofos (500 g.ha ⁻¹)	Profenofos (500 g.ha ⁻¹)	Endosulfan (350 g.ha ⁻¹) + Cyperméthrine (36 g.ha ⁻¹)	Endosulfan (350 g.ha ⁻¹) + Cyperméthrine (36 g.ha ⁻¹)	Cyperméthrine (82 g.ha ⁻¹) + Acetamipride (16 g.ha ⁻¹)	Cyperméthrine (72 g.ha ⁻¹) + Acetamipride (16 g.ha ⁻¹)

A Tiokouy, le 6^{ème} traitement n'a pas été appliqué par le producteur. Ce dernier a estimé que le sixième traitement n'était pas nécessaire parce que le seuil de tolérance n'avait pas été atteint. Par ailleurs, les matières actives utilisées dans ce site diffèrent de celles des autres sites.

L'impact des produits phytosanitaires sur les microorganismes vivants du sol peut être estimée à partir de la connaissance de leur activité (respiratoire, enzymatique, ...), leur quantité (biomasse microbienne) ou leur diversité. Un paramètre non moins important est le quotient respiratoire qCO_2 (Quotient métabolique spécifique ou respiration spécifique) (Soulas, 1999 ; Berner *et al.*, 2004). Les paramètres retenus pour la présente étude sont la respiration et la biomasse microbienne. Ces deux paramètres ont permis de déterminer le Taux de Minéralisation Global (TMG) et le quotient respiratoire qCO_2 .

2.2.2.3.1- Etude de l'activité respiratoire : Test respirométrique

Le test a consisté à mesurer, la quantité de CO_2 dégagé par des échantillons de sols incubés. Les incubations ont duré 14 jours et ont porté sur des prises d'essai de 50 g de terre tamisée à 2mm et humidifiée aux 2/3 de leur capacité maximale de rétention. Trois prises d'essai ont été effectuées sur chaque échantillon. La terre a été placée dans un bocal d'un litre avec deux flacons dont l'un contenait 20 ml de soude (NaOH 0,1N) et l'autre 20 ml d'eau distillée pour humidifier l'enceinte. Le CO_2 piégé par la soude est précipité par 3 ml d'une solution de chlorure de baryum (3%) et dosé par de l'acide chlorhydrique (HCl 0,1N) en présence de la phénophtaléine comme indicateur coloré. Le dosage a été effectué quotidiennement pendant les 7 premiers jours et tous les 2 jours du 8^{ème} au 14^{ème} jour d'incubation. La quantité Q de CO_2 dégagée par jour est obtenue par la formule suivante (Dommergues, 1960):

$$Q \text{ (mg)} = [V_{HCl} \text{ (blancs)} - V_{HCl} \text{ (traitement)}] \times 2,2$$

Avec : V_{HCl} (blancs) et V_{HCl} (traitement) étant respectivement les volumes moyens d'acide chlorhydrique pour le témoin et le traitement; le coefficient 2,2 signifie que à 2,2 mg de CO_2 correspond 1 ml de HCl 0,1N (Dommergues, 1960; Segda, 2006).

2.2.2.3.2- Détermination de la biomasse microbienne

La méthode par fumigation-incubation a été utilisée. Dans un premier temps les échantillons de sol ont été exposés à de la vapeur de chloroforme qui tue les microorganismes et libère les composés organiques contenus dans leurs parois. Ensuite, les échantillons de sol fumigés ont été incubés à 28°C pendant 14 jours et le CO_2 dégagé a été mesurée.

La biomasse microbienne (BM) a été estimée à l'aide de la formule utilisée par Chaussod *et al.* (1986) et Fardoux *et al.* (2000):

$$BM \text{ (mg)} = (F_{0-7} - F_{8-14}) / Kc \text{ où:}$$

F_{0-7} est le CO_2 dégagé entre 0 et 7 jours par les échantillons fumigés ;

F_{8-14} le CO_2 dégagé entre 8 et 14 jours par les échantillons fumigués ;
Kc est égale 0,41 coefficient proposé par Nicolardot (1984) cité par l'INSAH (2004).

2.2.2.3.3- Quotient respiratoire qCO_2 ou respiration spécifique

Le quotient respiratoire est la quantité de carbone minéralisé par gramme de biomasse microbienne et par jour. Elle a été déterminée en utilisant la formule suivante (Chaussod *et al.*, 1992) :

$qCO_2 = C_m(14) / (14 \cdot C-BM)$ où :

- $C_m(14)$ est le carbone minéralisé pendant 14 jours d'incubation
- C-BM est la biomasse microbienne
- 14 est le nombre de jours d'incubation

2.2.2.3.4- Taux de Minéralisation Global (TMG)

Le TMG exprime la vitesse de minéralisation de la matière organique et permet d'estimer l'évolution temporelle des substrats organiques (INSAH, 2004). Il est calculé en utilisant la formule suivante:

$TMG (\%) = (C - CO_2 / C_{total}) \cdot 100$ où :

- C- CO_2 est la quantité de CO_2 dégagé ;
- C_{total} le carbone total du sol.

2.2.2.4- Traitement statistique des données

Les données recueillies ont été saisies à l'aide du logiciel Excel. Les analyses de variance (ANOVA) ont été effectuées à l'aide du logiciel XLSTAT 6.1.9 et le test de Fisher a été utilisé pour la comparaison des moyennes.

CHAPITRE 3 : RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1- CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DES SOLS

3.1.1- Résultats

Les caractéristiques physico-chimiques des sols sont données dans le tableau 4.

Tableau 6 : Caractéristiques physico-chimiques des sols avant et après les applications de pesticides (horizon 0-20 cm)

Caractéristiques physico-chimiques	Tiokouy		Tiébélé		Pama		Comin-yanga	
	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après
Argiles (g kg ⁻¹)	108	108	440	440	220	220	470	470
Limons (g kg ⁻¹)	453	453	363	363	220	220	438	438
Sables (g kg ⁻¹)	440	440	197	197	561	561	88	88
Matière organique (g kg ⁻¹)	11	10	20	17	16	12	17	16
C/N	14,2	13,8	13,9	13,5	22,1	16,8	12,0	14,1
Azote total (g kg ⁻¹)	5	4	8	7	4	4	8	7
Phosphore total (g kg ⁻¹)	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,4	0,4
Potassium total (g kg ⁻¹)	1,1	1,0	3,3	2,8	1,3	1,5	2,7	2,5
pH _{eau}	5,7	5,6	6,7	6,4	6	6,4	6,2	6,0
pH _{KCl}	4,8	4,7	5,5	4,7	4,7	4,5	5,3	5,2

3.1.1.1- Granulométrie

Le sol expérimental de Tiokouy a une texture limono-sableuse avec 453 g kg⁻¹ de limons et 440 g kg⁻¹ de sables. Celui de Pama a une texture sableuse avec 561 g kg⁻¹ de sables et 220 g kg⁻¹ de limons. Les sols expérimentaux de Tiébélé et de Comin-yanga ont une texture argilo-limoneuse ; leurs teneurs respectives en argiles sont de 440 et 470 g kg⁻¹ et les teneurs respectives en limons de 363 et 438 g kg⁻¹. Le sol expérimental de Comin-yanga est plus riche en argiles que celui de Tiébélé qui en est plus riche que celui de Pama. Le sol expérimental de Tiokouy est le plus pauvre en argiles. En effet, les teneurs en argiles sont de 470, 440, 220 et 108 g kg⁻¹ respectivement pour Comin-yanga, Tiébélé, Pama et Tiokouy (Tableau 6).

3.1.1.2- Matière organique totale

Dans tous les sites, on note une baisse du taux de matière organique totale après l'application des pesticides. Les baisses sont d'une unité à Tiokouy et à Comin-yanga où les taux sont passés respectivement de 11 à 10 g kg⁻¹ et de 17 à 16 g kg⁻¹. Elles sont de 3 et 4 unités respectivement pour Tiébélé et Pama. A Tiébélé, le taux de matière organique total a été réduit de 20 à 17 g kg⁻¹ et à Pama de 16 à 12 g kg⁻¹.

Le sol expérimental de Tiébélé a la teneur en matière organique totale la plus élevée. Il est suivi successivement par ceux de Comin-yanga, Pama et Tiokouy (Tableau 6).

3.1.1.3- Rapport C/N

Au niveau de tous les sites on constate une baisse du rapport C/N excepté le site de Comin-yanga où on note une hausse. A Tiokouy, Tiébélé et Pama, les valeurs du C/N ont varié respectivement de 14,2 à 13,8 ; de 13,9 à 13,5 et de 22,1 à 16,8. A Comin-yanga, le C/N a augmenté de 12 à 14,1.

Avant l'application des pesticides les C/N des sites se classaient dans l'ordre suivant : Comin-yanga < Tiébélé < Tiokouy < Pama soit 12 < 13,9 < 14,2 < 22,1. Ce classement a changé après l'application des pesticides pour donner : Tiébélé < Tiokouy < Comin-yanga < Pama, correspondant à : 13,5 < 13,8 < 14,1 < 16,8 (Tableau 6).

3.1.1.4- Azote total

Après l'application des pesticides, la teneur en azote total a baissé d'une unité dans tous les sites sauf à Pama où elle est restée constante (4 g kg⁻¹). L'azote total a varié de 5 g kg⁻¹ à 4 g kg⁻¹ à Tiokouy et de 8 g kg⁻¹ à 7 g kg⁻¹ à Tiébélé et Comin-yanga.

Les teneurs en azote total de Tiébélé et de Comin-yanga sont équivalentes avant et après l'application des pesticides (8 g kg⁻¹ et 7 g kg⁻¹). Elles sont supérieures à celles de Tiokouy et Pama qui sont relativement très voisines (Tableau 6).

3.1.1.5- Phosphore total

Dans tous les sites, les teneurs en phosphore total sont identiques avant et après l'application des pesticides. On note pour les sites de Tiokouy et Pama, la même valeur de phosphore total (0,1 g kg⁻¹) qui est inférieure à celle Tiébélé (0,2 g kg⁻¹) qui, à son tour est inférieure à celle de Comin-yanga (0,4 g kg⁻¹) (Tableau 6).

3.1.1.6- Potassium total

On observe après l'application des pesticides, une légère baisse des teneurs en potassium total dans tous les sites sauf à Pama où on a une légère hausse. En effet, avant l'application des pesticides, le potassium total était de 1,1 ; 3,3 et 2,7 g kg⁻¹ respectivement pour Tiokouy, Tiébélé et Comin-yanga ; et après l'application des pesticides les teneurs étaient respectivement de 1,0 ; 2,8 et 2,5 g kg⁻¹ (Tableau 6).

3.1.1.7- pH_{eau} et pH_{KCl}

Dans tous les sites, les variations du pH_{eau} et du pH_{KCl} ne sont pas sensibles. On constate à Tiokouy, Tiébélé et Comin-yanga une baisse du pH_{eau} non sensible après l'application des pesticides. A Pama, on a plutôt une augmentation de 6 à 6,4. Le pH_{eau} a varié de 5,7 à 5,6 ; de 6,7 à 6,4 et de 6,2 à 6,0 respectivement à Tiokouy, Tiébélé et Comin-yanga. Pour ce qui est du pH_{KCl}, on note une légère baisse de 0,1 à 0,2 unités dans tous les sites sauf à Tiébélé où la baisse est sensible 0,8 unités (Tableau 6).

3.1.2- Discussion

Dans tous les sites, on note une baisse générale des paramètres chimiques au niveau du sol après l'application des pesticides. Ce résultat indique l'effet négatif de la mise en culture sur les sols déjà observé par plusieurs auteurs (Chaussod *et al.*, 1992 ; Bilgo, 2005 et Bilgo *et al.*, 2006). Il pourrait également signifier que les résidus de pesticides ont eu un effet négatif sur les caractéristiques chimiques des sols. Les travaux de Vig *et al.* (2001) sur les effets de l'utilisation répétée des pesticides sur les propriétés des sols des champs de coton, ont abouti à des résultats semblables. Leurs travaux ont concerné cinq (5) molécules de pesticides que sont le diméthoate, le monocrotophos, la deltaméthrine, l'endosulfan et la cyperméthrine. Les résultats ont montré 21 jours après la première application, une réduction des taux de matière organique, de la capacité d'échange cationique, de l'azote assimilable et du phosphore assimilable, mais des valeurs de pH inchangées.

Les résultats concernant le pH_{eau} ont été également observés en milieu contrôlé par Coulibaly (2006) qui a indiqué que l'endosulfan, à la dose 3 ppm n'a pas d'impact sur le pH des sols après 15 jours d'incubation. Cependant, la dose 6 ppm augmente le pH_{KCl} des sols mais n'affecte pas le pH_{eau}.

Les variations observées dans les anciens sites de production cotonnière sont les mêmes que celles de la nouvelle zone, indiquant ainsi qu'elles ne sont pas liées à l'ancienneté de la culture cotonnière.

Finalement, on retiendra que les résidus de pesticides pourraient avoir eu un effet négatif sur les caractéristiques physico-chimiques des sols mais qu'ils ne sont pas les seuls responsables de ces effets.

comme l'impact des pesticides ? pour quel test ? cette hypothèse

3.2- IMPACT DES RESIDUS DE PESTICIDES SUR L'ACTIVITE RESPIRATOIRE ET LE TMG DES SOLS

3.2.1- Résultats

3.2.1.1- Evolution de l'activité respiratoire des sols avant et après les applications de pesticides sur le coton

Les évolutions de CO₂ cumulé selon les traitements au niveau des quatre sites sont illustrées par la figure 2.

- Selon l'ancienneté de la culture cotonnière

Pour les anciens sites Tiokouy et Tiébélé, tout comme pour le nouveau site Comin-yanga, la plus faible évolution du CO₂ cumulé est notée au niveau du traitement « sol après application des pesticides » (Figure 2).

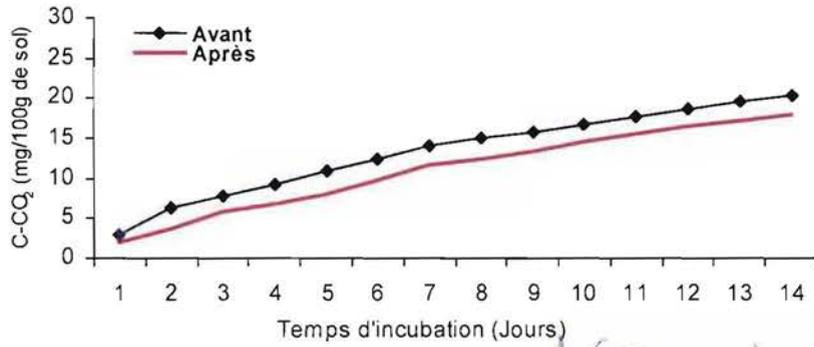
Les différences d'évolution entre les deux traitements sont plus marquées à Tiébélé (Figure 2b) et à Comin-yanga (Figure 2d) qui sont respectivement un ancien site et un nouveau site.

Ces résultats indiqueraient que l'ancienneté de la culture cotonnière n'a pas influencé l'évolution de l'activité respiratoire.

- Selon le type de sol

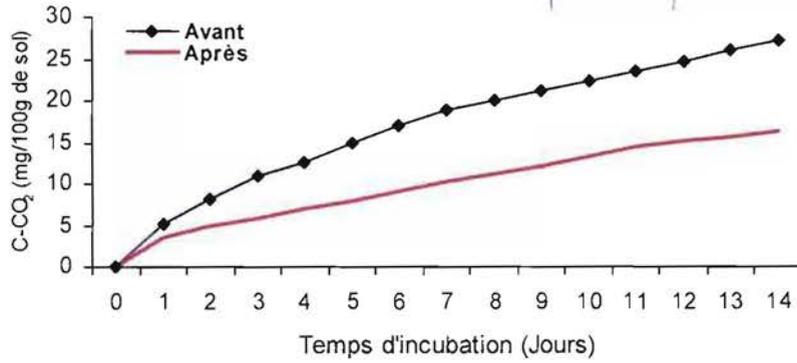
Les résultats montrent pour le « sol après application des pesticides » une faible évolution de l'activité respiratoire plus sensible à Tiébélé et à Comin-yanga où les sols expérimentaux sont vertiques. Par contre, à Tiokouy et à Pama où les sols sont ferrugineux tropicaux, on note de faibles différences entre les deux traitements. Cela signifierait que les résultats obtenus sont fonction du type de sol.

Les résultats des productions cumulées de CO₂ au bout des 14 jours d'incubation (Tableau 7), illustrent bien ces observations. Les valeurs cumulatives de CO₂ dégagé pendant quatorze jours d'incubation sont données en annexe 2.

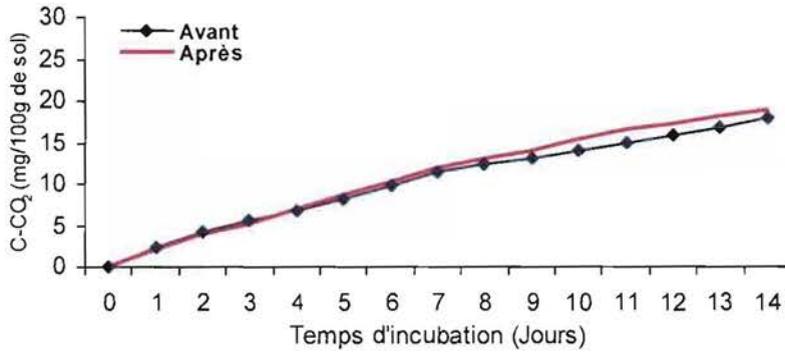


2a: Site de Tiokouy

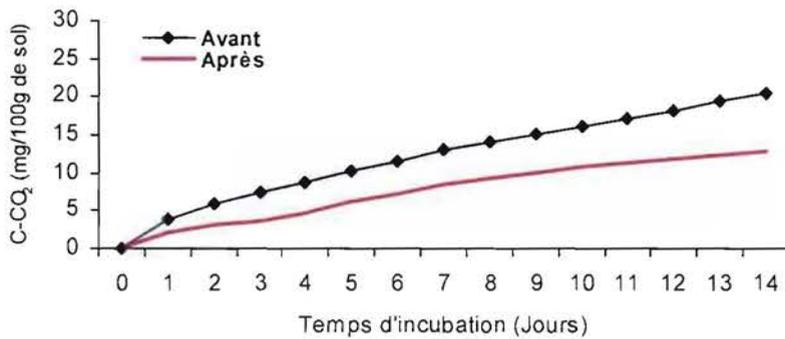
(Type de sol?)



2b: Site de Tiébélé



2c: Site de Pama



2d: Site de Comin-yanga

Figure 2 : Evolutions de CO₂ cumulé avant et après application des pesticides à Tiokouy (Figure 2a), à Tiébélé (Figure 2b), à Pama (Figure 2c) et à Comin-yanga (Figure 2d)

65

Tableau 7 : Production cumulée de CO₂ avant et après application des pesticides selon sites

Traitements	C- CO ₂ cumulé (mg/100g de sol)			
	Tiokouy	Tiébélé	Pama	Comin-yanga
Sol avant application des pesticides	20,4 ^a ±2,35	27,1 ^a ±1,87	17,8 ^a ±0,66	20,4 ^a ±1,98
Sol après application des pesticides	18,0 ^a ±0,34	16,3 ^b ±1,59	18,9 ^a ±2,10	12,7 ^b ±0,67
ddl	1	1	1	1
Probabilité	0,153	0,002	0,435	0,003
Signification (5%)	NS	S	NS	S
CV (%)	10	28	8	27

Test de Fisher ; Seuil 5% ; les valeurs sont des moyennes de 3 répétitions ;
 Les valeurs suivies d'une même lettre dans la même colonne ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% de probabilité ; S = significatif ; NS = non significatif ; CV = coefficient de variation

A Tiébélé et Comin-yanga qui sont respectivement ancien site et nouveau site, on note des différences significatives de production cumulée de CO₂ entre les deux traitements. En effet, à Tiébélé, la production cumulée de CO₂ du sol après application des pesticides est passée de 27,1 à 16,3 mg CO₂/100g de sol soit une réduction de 40 % par rapport au sol de départ. A Comin-yanga, elle est passée de 20,4 à 12,7 mg CO₂/100g de sol soit une réduction de 38 %.

Ces observations indiqueraient que l'ancienneté de la culture cotonnière n'influence pas les effets observés sur l'activité respiratoire des sols. Elles montrent du même coup que le type de sol influence les effets observés car à Tiébélé et Comin-yanga les sols d'étude sont des vertisols alors qu'à Tiokouy et Pama ils sont ferrugineux tropicaux.

3.2.1.2- Evolution du TMG cumulé avant et après les applications de pesticides sur le coton

Les résultats sont illustrés par la Figure 3.

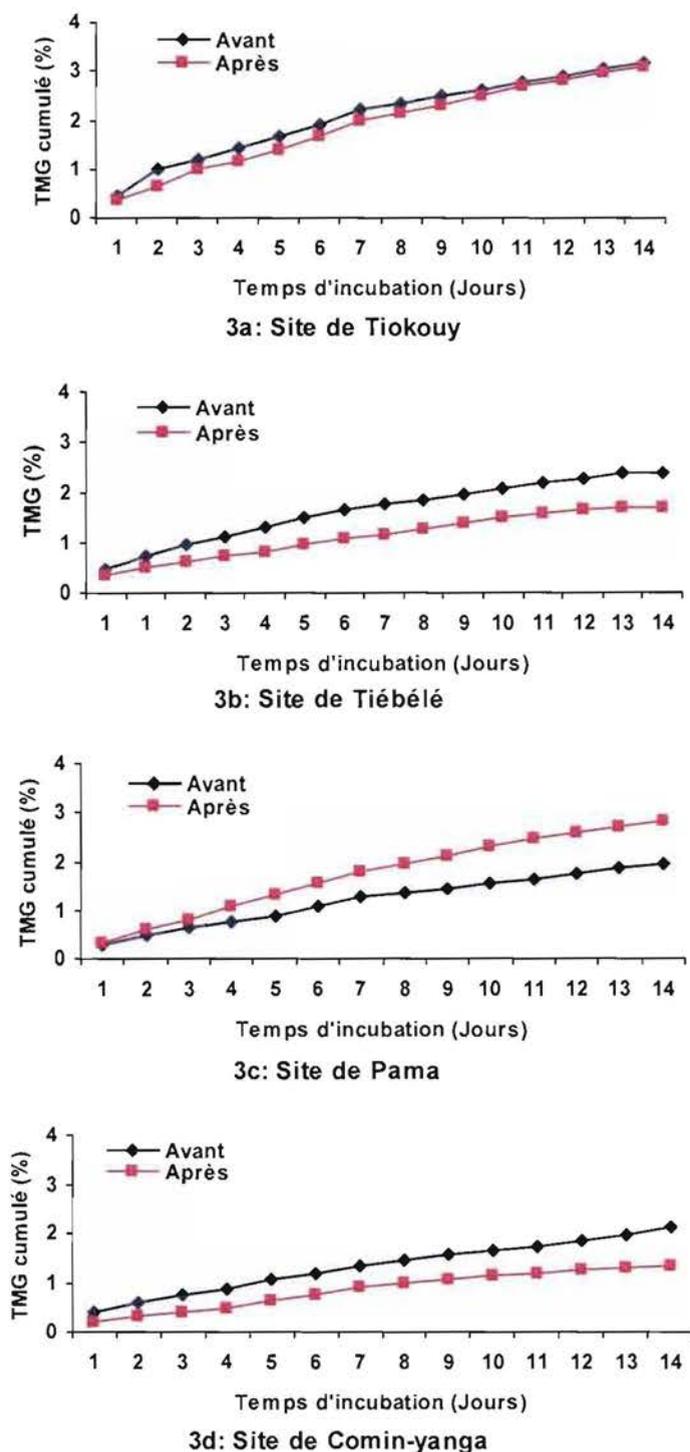


Figure 3: Evolution des TMG cumulés avant et après application des pesticides à Tiokouy (Figure 3a), à Tiébélé (Figure 3b), à Pama (Figure 3c) et à Comin-yanga (Figure 3d)

A Tiébélé (ancien site) et à Comin-yanga (nouveau site), les TMG cumulés sont plus élevés au niveau du « sol avant application des pesticides » et dans une moindre mesure à Tiokouy qui est un ancien site (Figure 3). Au niveau du site de Pama, c'est le « sol après application des pesticides » qui a les TMG cumulés les plus élevés. L'ancienneté de la culture ne semble pas influencé les résultats observés. Ces observations montrent une influence du type de sol sur le TMG des sols car Tiébélé et Comin-yanga ont des sols vertiques.

3.2.2- Discussion

Accords // Au niveau des sites de Tiokouy, Tiébélé et Comin-yanga, l'évolution du CO₂ cumulé du sol avant l'application des pesticides est la plus grande indiquant une baisse de l'activité respiratoire du sol après l'application des pesticides. Cela signifierait que les résidus de pesticides ont eu un effet inhibiteur sur l'activité respiratoire des sols de ces trois sites. Des résultats similaires ont été observés par Behki et Khan (2001) et Tejada et al. (2001). Les travaux de Behki et Khan (2001) conduits également en milieu paysan, ont révélé que l'activité respiratoire d'un sol ayant reçu de l'atrazine et du carbofuran subit une réduction de 18% par rapport au sol de départ. Selon Gamouh et al. (2005), les pesticides peuvent être toxiques pour les microorganismes du sol. Dans ce cas, l'activité microbienne est ralentie et on assiste à une sélection des microorganismes les mieux adaptés aux pesticides ou pouvant l'utiliser comme source de carbone. Cela se traduit par des réajustements microbiens pouvant être associés à des modifications de caractéristiques physiologiques de la microflore des sols et pouvant conduire à une diminution de la diversité des microorganismes.

Les différences constatées entre les deux traitements semblent aussi être liées à leurs conséquences sur les teneurs en matière organique du sol. En effet, le traitement « sol avant l'application des pesticides » a le taux de matière organique le plus élevé ce qui aurait augmenter son activité respiratoire. Des résultats similaires ont été observés par Chaussod et al. (1992), Sedogo (1993), Bilgo et al. (2005) et Traoré et al. (2007) ont également observé une activité respiratoire plus élevée sur des échantillons de sol plus riches en matière organique. Gamouh et al. (2005) lors d'une étude des effets comparés et interactifs des pesticides et des facteurs physiques (Congélation, chauffage, séchage) sur la minéralisation de substrats carbonés dans le sol, ont noté que la minéralisation des substrats dépendait en premier lieu de la concentration du substrat et non la nature physique ou chimique du stress. Traoré et al. (2007) ont effectivement trouvé une corrélation linéaire ($r = 0,71$) entre la respiration du sol et la matière organique du sol.

Les réductions de CO₂ cumulé notées à Tiébébé et Comin-yanga sont significatives contrairement à celle de Tiokouy. Ces observations indiquent que les résultats obtenus ne sont pas liés à l'ancienneté de la culture cotonnière, car Tiébébé est un ancien site et Comin-yanga un nouveau site. Ces réductions semblent être influencées par le type de sol en particulier par la teneur en matière organique du sol et le C/N. En effet, au niveau de Tiébébé et Comin-yanga, les sols expérimentaux sont des sols vertiques, alors qu'à Tiokouy le sol expérimental est ferrugineux tropical. Selon Colleu et Mignard (2000), le type de sol influence la rétention et la persistance des pesticides. Les sols riches en éléments fins et en matière organique retiennent plus les pesticides et réduisent ainsi leur transfert par les eaux, ce qui pourrait augmenter l'exposition des microorganismes aux pesticides. Ce serait ce phénomène qui s'est produit à Tiébébé et à Comin-yanga étant donné que leurs sols sont plus pourvus en éléments fins et en matière organique.

Par ailleurs, les résultats obtenus pourraient s'expliquer par le fait qu'il y ait eu moins d'applications de pesticides à Tiokouy. En effet, il y a eu six (6) traitements insecticides à Tiébébé et à Comin-yanga contre cinq (5) à Tiokouy (Tableau 3). De ce fait, la quantité de résidus de pesticides dans le sol de Tiokouy aurait été insuffisante pour influencer significativement la respiration du sol. Les travaux de Topan (2005) et Coulibaly (2006) ont en effet révélé que l'impact des pesticides sur l'activité respiratoire du sol était aussi fonction de la quantité du pesticide dans le sol.

Le résultat obtenu pourrait aussi s'expliquer par le fait que les matières actives utilisées à Tiokouy diffèrent de celles utilisées à Tiébébé et Comin-yanga (Tableau 5). En effet, l'impact des pesticides sur les microorganismes du sol dépend aussi de la nature des matières actives utilisées (Gamouh et al., 2005 ; Topan, 2005).

Les résultats sur les TMG cumulés de Tiokouy, Tiébébé et Comin-yanga montrent un faible TMG au niveau du traitement « sol après application des pesticides » alors que ce sol a le plus faible taux de matière organique. Selon les observations de Campbell (1978) confirmées par Sedogo (1993) et Gamouh et al. (2005), plus le taux de matière organique est faible, plus la minéralisation est importante. Les résultats obtenus montrent que les différences observées entre les traitements ne seraient pas liées aux taux de matière organique qu'ils contiennent mais plutôt à une inhibition de la minéralisation au niveau du traitement « sol après application des pesticides ». Les pesticides auraient vraisemblablement inhibé la minéralisation de la matière organique du sol après l'application des pesticides.

A Pama, on n'a pas observé une réduction de l'activité respiratoire après l'application des pesticides mais plutôt une légère augmentation. Cela signifierait que les résidus de pesticides ont tendance à stimuler l'activité respiratoire à Pama plutôt qu'à la réduire. Les résultats des TMG cumulés observés au niveau du site de Pama semblent confirmer cette hypothèse. En effet, le TMG le plus élevé a été noté avec le sol après l'application des pesticides qui possède le taux de matière organique le plus bas. Cette observation est en parfait accord avec celles de Campbell (1978), Sedogo (1993) et Gamouh *et al.* (2005).

Les effets constatés sur l'activité respiratoire du sol pourraient être dus à d'autres facteurs tels que le travail du sol et la fertilisation. En effet, les sols expérimentaux étant cultivés en coton, ils ont été labourés et fertilisés. Le labour et la fertilisation pourraient avoir influencé l'activité respiratoire du sol (Subhani *et al.*, 2000 ; Behki et Khan, 2001 ; Berner *et al.*, 2004).

On retiendra que les résidus de pesticides ont inhibé l'activité respiratoire des sols. Cependant, les effets observés ne sont pas uniquement imputables aux résidus de pesticides car d'autres facteurs tels que le labour et la fertilisation ont pu intervenir.

Les résultats obtenus ne sont pas liés à l'ancienneté de la culture cotonnière. Par contre, ils dépendent du type de sol, des teneurs en argiles et en matière organique et du rapport C/N qui semblent influencer l'impact des résidus de pesticides sur l'activité respiratoire des sols.

3.3- IMPACT DES RESIDUS DE PESTICIDES SUR LA BIOMASSE MICROBIENNE ET LE QUOTIENT RESPIRATOIRE DES SOLS

3.3.1- Résultats

3.3.1.1- Evolution de la Biomasse Microbienne des sols avant et après les applications de pesticides sur le coton

Les résultats sont résumés dans le tableau 8. Les données brutes sont présentées en annexe 3.

Tableau 8: Biomasse microbienne des sols avant et après application des pesticides

Traitements	Biomasse microbienne (mg C/100g de sol)			
	Tiokouy	Tiébébé	Pama	Comin-yanga
Avant application	42,61 ^a ±6,44	130,61 ^a ±16,24	62,64 ^a ±5,91	108,43 ^a ±7,30
Après application	36,16 ^a ±9,17	70,87 ^b ±10,74	49,76 ^a ±11,77	60,13 ^b ±11,77
ddl	1	1	1	1
Probabilité	0,38	0,006	0,17	0,001
Signification (5%)	NS	S	NS	S
CV (%)	20	35	19	32

Test de Fisher, seuil 5% ; les valeurs sont des moyennes de 3 répétitions ;

Les valeurs suivies d'une même lettre dans la même colonne ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% de probabilité ; S = significatif ; NS = non significatif ; CV = coefficient de variation

- Selon l'ancienneté de la culture cotonnière

A Tiébélé (ancien site) et à Comin-yanga (nouveau site), on constate après l'application des pesticides, une réduction significative de biomasse microbienne de 130,61 à 70,87 mg C/100g de sol et de 108,43 à 60,13 mg C/100g de sol respectivement. Ce qui correspond à des réductions de 46 et 45% de biomasse microbienne au niveau du sol après application des pesticides respectivement à Tiébélé et Comin-yanga. A Tiokouy (ancien site) et Pama (nouveau site) les réductions de biomasse microbienne ne sont pas significatives (Tableau 8).

Ces observations indiquent que l'ancienneté de la culture cotonnière n'influence pas les réductions de biomasse constatées.

- Selon le type de sol

Les réductions significatives de biomasse microbienne sont enregistrées à Tiébélé et Comin-yanga où les sols d'études sont vertiques. A Tiokouy et à Pama où les sols d'étude sont ferrugineux tropicaux, les réductions ne sont pas significatives (Tableau 8). Cela signifierait que le type de sol influence les résultats observés.

3.3.1.2- Evolution du quotient respiratoire des sols avant et après les applications de pesticides sur le coton

Les résultats sont présentés dans le tableau 9.

Tableau 9: Quotient respiratoire des sols avant et après application des pesticides

Traitements	qCO ₂ (mg C-CO ₂ g ⁻¹ C-Biom. Microb. J ⁻¹)			
	Tiokouy	Tiébélé	Pama	Comin-yanga
Avant application	41,5a ±10,5	15,0a ±1,7	20,5b ±2,5	13,4a ±0,9
Après application	31,1a ±7,5	16,6a ±2,3	27,7a ±3,6	15,3a ±2,7
ddl	1	1	1	1
Probabilité	0,23	0,38	0,04	0,32
Signification (5%)	NS	NS	S	NS
CV(%)	27	13	20	14

Test de Fisher, seuil 5% ; les valeurs sont des moyennes de 3 répétitions ;

Les valeurs suivies d'une même lettre dans la même colonne ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% de probabilité ; S = significatif ; NS = non significatif ; CV = coefficient de variation

Pour les sites de Tiébélé (ancien site), Pama et Comin-yanga (nouveaux sites), on note une augmentation des valeurs de qCO₂ après l'application des pesticides. Avant l'application des pesticides, les valeurs de qCO₂ étaient de 15 ; 20,5 et 13,4 mg C-CO₂ g⁻¹ C-Biom. Microb. J⁻¹ respectivement à Tiébélé, Pama et Comin-yanga.

Après l'application des pesticides elles sont passées respectivement à 16,6; 27,7 et 15,3 mg C-CO₂ g⁻¹ C-Biom. Microb. J⁻¹. L'augmentation est significative à Pama uniquement.

A Tiokouy, après l'application des pesticides, on a constaté plutôt une baisse de la valeur du qCO₂ de 41,5 à 31,1 mg C-CO₂ g⁻¹ C-Biom. Microb. J⁻¹ (Tableau 9).

Ces observations ne révèlent ni une influence de l'ancienneté de la culture cotonnière ni une influence du type de sol sur les résultats obtenus.

3.3.2- Discussion

Dans l'ensemble des sites d'étude, les résultats montrent une baisse de biomasse microbienne après l'application des pesticides. Cette baisse varie de 15 à 46 % selon les sites. Les pesticides pourraient être responsables de cette diminution de la biomasse microbienne. Des résultats similaires ont été observés par El-Ghamry et al. (2000), Hussain et al. (2001) et Mäder et al. (2002). Les travaux de Mäder et al. (2002) ont révélé une réduction de 20 à 50% de la biomasse microbienne d'un sol cultivé en pomme de terre traitée par deux pesticides, le dinoseb (Super Kabrol) et le glufosinate (Basta). Ces observations avaient été faites 21 jours après la dernière application de pesticides.

La réduction de biomasse pour tous les sites, donc pour les anciens sites (Tiokouy et Tiébélé) comme pour les nouveaux sites (Pama et Comin-yanga), indiquerait que l'ancienneté de la culture cotonnière n'a pas eu d'influence sur les résultats observés. Cette hypothèse est renforcée par le fait que les réductions ne sont pas significatives à Tiokouy et à Pama qui sont respectivement un ancien et un nouveau sites, alors qu'elles le sont à Tiébélé et Comin-yanga qui sont un ancien et un nouveau sites respectivement. Ces réductions semblent être liées au type de sol. En effet, à Tiokouy et à Pama, les sols expérimentaux sont ferrugineux tropicaux alors qu'à Tiébélé et à Comin-yanga ils sont vertiques.

Entre les sites, la biomasse microbienne (B. M.) croit dans le sens : B. M. de Tiokouy < B. M. de Pama < B. M. de Comin-yanga < B. M. de Tiébélé. Cela serait lié aux teneurs en argiles des sols qui évoluent dans l'ordre : teneur en argiles de Tiokouy < teneur en argiles de Pama < teneur en argiles de Tiébélé < teneur en argiles de Comin-yanga, mais lié aussi et surtout aux teneurs en matière organique des sols.

En effet, les teneurs en matière organique évoluent dans le sens : taux de matière organique de Tiokouy < taux de matière organique de Pama < taux de matière organique de Comin-yanga < taux de matière organique de Tiébélé.

Les travaux de Traoré et al. (2007) ont en effet révélé l'existence d'une corrélation positive ($r = 0,40$) entre la teneur en argiles et la biomasse microbienne. Selon ITAB (2002) la texture fine du sol ($< 5 \mu\text{m}$) aurait un effet de protection sur la biomasse microbienne, due à la plus forte proportion de micropores par rapport à un sol sableux et par la limitation du développement des prédateurs de microorganismes. Les résultats obtenus sont en accord avec les observations de Chaussod et al. (1986) qui ont mis en évidence une corrélation positive entre la matière organique et la biomasse microbienne. Ils ont trouvé que la biomasse microbienne était en moyenne de 200 mg C.kg^{-1} dans les sols sableux pauvres en matière organique et pouvait atteindre 900 mg C.kg^{-1} dans les sols riches en matière organique.

Pour ce qui concerne le quotient respiratoire des sols, on note à Tiébélé, Pama et Comin-yanga, une augmentation des valeurs de $q\text{CO}_2$ après l'application des pesticides. Les résidus de pesticides pourraient être à l'origine de ces augmentations qui sont selon Insam (1990) cité par Traoré et al. (2007), synonymes d'une baisse de l'efficacité de l'utilisation de la matière organique par les microorganismes du sol.

A Tiokouy, on a constaté plutôt une baisse du $q\text{CO}_2$ après l'application des pesticides, synonyme d'une amélioration de l'efficacité d'utilisation de la matière organique. Les pesticides auraient donc eu un effet positif à Tiokouy.

Les valeurs de $q\text{CO}_2$ augmentent dans l'ordre : $q\text{CO}_2$ de Comin-yanga $<$ $q\text{CO}_2$ de Tiébélé $<$ $q\text{CO}_2$ de Pama $<$ $q\text{CO}_2$ de Tiokouy. Ces résultats seraient liés aux teneurs en argiles des sols qui varient dans l'ordre : teneur en argiles de Comin-yanga $>$ teneur en argiles de Tiébélé $>$ teneur en argiles de Pama $>$ teneur en argiles de Tiokouy. Ils sont en accord avec les résultats de Traoré et al. (2007) qui ont montré que le $q\text{CO}_2$ était négativement corrélé ($r = - 0,46$) à la teneur en argiles du sol.

CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES

La problématique de l'impact des pesticides sur les microorganismes du sol a été abordée dans cette étude. L'objectif global était de déterminer en milieu réel et à court terme, l'impact des résidus de pesticides sur la biologie des sols en zone cotonnière au Burkina Faso.

Les résultats du test respirométrique et le calcul des TMG ont révélé une baisse de l'activité respiratoire du sol après l'application des pesticides à Tiokouy, Tiébélé et Comin-yanga. Cette baisse est non significative à Tiokouy où le sol est ferrugineux tropical mais significative à Tiébélé et Comin-yanga où on a des sols vertiques. A Pama, on a plutôt observé une augmentation non significative de l'activité respiratoire après l'application des pesticides. Ces résultats révèlent des effets liés au type de sol et non à l'ancienneté de la culture cotonnière.

Concernant la biomasse microbienne des sols, les résultats montrent au niveau de tous les sites une réduction de biomasse microbienne après l'application des pesticides. Cette réduction est non significative et est de 15 et 21% successivement pour Tiokouy et Pama où les sols sont ferrugineux tropicaux. Elle est par contre significative et est de 45 et 46% respectivement pour Comin-yanga et Tiébélé où les sols sont vertiques. En somme, la réduction de biomasse microbienne constatée après l'application des pesticides varie de 15 à 46 % indépendamment de l'ancienneté de la culture cotonnière mais selon le type de sol.

Le calcul du quotient respiratoire a permis de se rendre compte d'une baisse de l'efficience d'utilisation de la matière organique par les microorganismes du sol dans les sites de Tiébélé, Pama et Comin-yanga. A Tiokouy, on note plutôt une amélioration de l'efficacité d'utilisation de la matière organique. Ces résultats dépendent des teneurs en argiles et des taux de matière organique.

Ces premiers résultats semblent donc indiquer que le type de sol et les teneurs en argiles et en matière organique et le C/N influencent l'impact des résidus de pesticides sur l'activité respiratoire et la biomasse microbienne des sols. Au regard des difficultés de détermination de l'influence réelle des pesticides dans les variations de l'activité respiratoire et la biomasse microbienne des sols, dues principalement à la multiplicité des facteurs perturbateurs de ces deux paramètres microbiologiques, il est suggéré le dosage des résidus de pesticides dans les échantillons de sol utilisés pour la présente étude et un affinement de la méthodologie. *Coum*

Cela permettrait une meilleure interprétation des effets observés sur la respiration et la biomasse microbienne des sols.

En milieu paysan, le suivi de certains paramètres tels que les matières actives utilisées, le nombre d'applications et les doses appliquées est difficile. Or Ces facteurs sont susceptibles d'influencer le devenir des pesticides dans le sol et partant, leur impact sur les microorganismes du sol. Nous suggérons que l'étude soit conduite en milieu contrôlé (en station), cela permettrait de maîtriser ces paramètres afin de faciliter l'interprétation des résultats.

L'étude s'est limitée à l'évaluation de l'impact des résidus sur uniquement deux (2) paramètres biologiques du sol, l'activité respiratoire et la biomasse microbienne qui d'ailleurs ne concernent que la microfaune du sol. Afin de permettre une meilleure connaissance de l'impact des pesticides sur la biologie du sol, d'autres paramètres microbiologiques et la macrofaune doivent être pris en compte pour la suite des activités du projet. On devrait par exemple s'intéresser à l'impact des pesticides sur:

- la diversité microbienne et les activités enzymatiques ;
- la macrofaune tellurique (lombrics, les termites...) qui joue également un rôle important dans le recyclage de la matière organique.

Enfin, cette étude a concerné uniquement les effets à court terme. Dans l'objectif d'une agriculture productive, durable et soucieuse de l'environnement, des études à long terme de l'impact des pesticides sur les la biologie des sols doivent être réalisées.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Amato M., et Ladd J. N., 1988.** Essay for microbial biomass based on ninhydrin. Réactive nitrogen in extracts of fumigated soils. *Soil. biol. And Biochem.* 20 : 107-114.
- Andrea M. M., Peres T. B., Luchini L. C., Marcondes M. A., Pettinelli Jr A., Nakagawa L. E., 2001.** Impact of long term applications of cotton pesticides on soil biological properties, dissipation of [¹⁴C]-methyl parathion and persistence of multi-pesticide residues. In: "Impact of long term pesticides usage on soil properties using radiotracer techniques". *Proceeding of final research coordination meeting. Organized by the Joint FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture and held in Hangzhou, Zhejiang, China, 24-28 May 1999:* 15-36.
- Bachelier G., 1973.** Activité biologique des sols et techniques simples qui en permettent l'évaluation. *Cah. ORSTOM, série Pédol., vol. XI, 1:* 65-77.
- Barriuso E., Calvet R., Schiavon M. et Soulas G., 1996.** Les pesticides et les polluants organiques des sols. *Forum « le sol, un patrimoine menacé? » numéro spécial :* 279-295.
- Behki R. et Khan S. U., 2001.** Impact of repeated long term application of atrazine on soil properties and bound residues formation. In: "impact of long term pesticides usage on soil properties using radiotracer techniques". *Proceeding of final research coordination meeting. Organized by the joint FAO/iaea division of nuclear techniques in food and agriculture and held in hangzhou, zhejiang, china, 24-28 may 1999:* 37-42.
- Berner A., Bieri M., Galli U., Fuchs J. G., Mayer J., Schleiss, 2004.** Influences des composts et des digestats sur l'environnement, la fertilité des sols et la santé des plantes-Survol de la bibliographie actuelle. *Forschung Institut für biologischen Landbau, FiBL-Report, Frick, Schweiz ISBN 3-906081-52-4. <http://orgprints.org/2631/>, 17 p.*
- Bilgo A., 2005.** Statut organo-minéral et biologique des sols dans les systèmes cultures-jachère naturelle de courte durée ou améliorée à *Andropogon gayanus* en zone sud-soudanienne du Burkina Faso. *Thèse de Doctorat. Univ. de Ouagadougou,* 188 p.
- Bilgo A., Masse D., Sall S., Serpentier G., Chotte, J-L. et Hien V., 2006.** Chemical and microbial properties of semiarid tropical soils of short-term fallows in Burkina Faso, West Africa. *Biol. Fertil. Soils* DOI 10.1007/s00374-006-0107-4.
- Boseret J-PH., 2000.** Pollution des sols : les pesticides [http : // www.w.w.geocities.com/boss_be_99/pesticides.htm](http://www.w.w.geocities.com/boss_be_99/pesticides.htm)
- Bouchon C. et Lemoine S., 2003.** Niveau de contamination par les pesticides des chaînes trophiques des milieux marins côtiers de la Guadeloupe et recherche de biomarqueurs de génotoxicité. *Rapport final, DRE/Guadeloupe,* 71 p.
- BUNASOLS, 1985.** État de connaissance de la fertilité des sols du Burkina Faso. *Document technique,* 50 p.

BUNASOLS, 1990. Manuel d'évaluation des terres. *Document technique* : 110-118.

Calvet R., 2003 a. Le sol, propriétés et fonctions. Tome 1 : Constitution et structure, phénomènes aux interfaces. *Éditions France Agricole*, 456 p.

Calvet R., 2003 b. Le sol, propriétés et fonctions. Tome 2 : Phénomènes physiques et chimiques; applications agronomiques et environnementales. *Éditions France Agricole*, 511 p.

Calvet R., Barriuso E., Bedos C., Benoit C., Charnay M.-P. et Coquet Y., 2005. Les pesticides dans le sol : conséquences agronomiques et environnementales. *Éditions France Agricole*, 637 p.

Campbell C. A., 1978. Soil organic carbon, nitrogen and fertility in soil organic matter. *Developments in soil science*, 8: 173-265.

Chaussod R., Nicolardot B. et Catroux G., 1986. Mesure en routine de la biomasse microbienne des sols par la méthode de fumigation au chloroforme. *Science du sol*, 2 : 201-211.

Chaussod R., Zuvia M., Breuil M.-C., Hetier J.-M., 1992. Biomasse microbienne et statut organique des sols tropicaux: exemple d'un sol Vénézuélien des Llanos sous différents systèmes de culture. *Cah.Orstom, sér. Pédol.*, vol. XXVII (1), 1992: 59-67.

Chaussod R., Bodet J.-M., Caron M. et Irène Félix I., 2001. Travail du sol et activités microbiologiques. *INRA - 2001 - <http://www.inra.fr/>*

Colleu S. et Mignard E., 2000. La lutte contre la pollution des sols par les pesticides : limiter les apports, réduire les fuites. *INRA*, 5p.

Columa, 1977. Les herbicides et le sol. *ACTA*, 143 p.

Coulibaly K., 2006. Contribution à l'étude des effets de l'endosulfan sur les paramètres biologiques de trois types de sol en zone cotonnière du Burkina Faso. *Mémoire d'Ingénieur du Développement Rural, Option Agronomie, Univ. Polytech. de Bobo Dioulasso, Burkina Faso*, 53 p.

Dommergues Y., 1960. La notion de coefficient de minéralisation du carbone dans les sols. Un exemple d'utilisation des techniques biologiques dans la caractérisation des types pédologiques. *Agron. Trop*, 15 (1) : 55-60.

D.R.E.D., 2004. Monographie du Nahouri. 126 p.

El-ghamry A. M., Changyong H., Jiangming X., Zhengmiao X. and Subhani A., 2000. Combined effects of Chlorsulfuron and Bensulfuron-methyl herbicides on the size of Microbial Biomass in a loamy sand soil. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 3 (5) 2000: 731-734.

F.A.O., 1996. Élimination de grandes quantités de pesticides périmés dans les pays en voie de développement. *Collection F.A.O* : 46 p.

Fardoux J., Fernandes P., Niane-Badiane A., Chotte J.-L., 2000. Effet du séchage d'échantillons d'un sol ferrugineux tropical sur la détermination de la biomasse microbienne- Comparaison de deux méthodes biocidales de référence. *Étude et gestion des sols*, 7, 4, 2000: 385-394.

Fournier J., 1988. Chimie des pesticides. *Cultures et Techniques*, 347 pages.

Gamouh A., Bensalah M., Abaadi N., Ziad A., Coste C., Fournier J-C., 2005. Effets comparés et interactifs des pesticides et facteurs physiques sur la minéralisation de substrats carbonés dans le sol. *Bulletin de l'Institut Scientifique, section Sciences de la Vie*, N°26-27, 2004-2005 : 35-38.

G.I.R.E., 2001. L'impact des engrais et des pesticides sur les ressources en eau au Burkina Faso. *Version définitive*, 35 p.

Guinko S., 1984. Végétation de la haute Volta. *Thèse de Doctorat es-Sciences Naturelles, Aménagement et Ressources Naturelles, Univ. de Bordeaux II*, 396 p.

Hussain A., Rafique Asi M., Iqbal Z., Chaudhry J. A., 2001. Impact of heavy repeated long term pesticides applications on soil properties in a cotton agroecosystem. In: "*Impact of long term pesticides usage on soil properties using radiotracer techniques*". *Proceeding of final research coordination meeting. Organized by the Joint FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture and held in Hangzhou, Zhejiang, China, 24-28 May 1999*: 141-156.

Illa C., 2004. Etat de la contamination des sols et des eaux par les pesticides en zone cotonnière : la Boucle du Mouhoun (Burkina Faso). *Mémoire de DESS, Option Technologie de l'Environnement, Univ. de Ouagadougou, Burkina Faso*, 52 p.

INERA, 1994. Rapport annuel. *Programme coton*, 196 p.

INERA, 2004. Rapport annuel 2003. *Programme coton*, 187 p.

INERA, 2006. Rapport d'avancement. *Projet FSP/Pesticides*, 50 p.

INSAH, 2004. Rapport annuel du Pôle GRN/SP 2000. Synthèse des activités des programmes thématiques régionaux, 83 p.

ITAB, 2002. Activités biologiques et fertilité des sols : Intérêts et limites des méthodes analytiques disponibles, 25 p.

Jenkinson D. S. et Powlson D. S., 1976. The effect of biocidal treatments on metabolism in soil. A method for measuring soil biomass. *Soil. Biol. Biochem.*, 8 : 209-213.

Larouche A.-R., 1983. La matière organiques et ses décomposeurs, l'équipe par excellence en jardinage. *Projets pour une Agriculture Écologique, Collège Macdonald, Université McGill, Ste-Anne-de-Bellevue, Québec, Canada*, 5 p.

Lompo F., 1993. Contribution à la valorisation des phosphates naturels du Burkina Faso : étude des effets de l'interaction phosphates naturels-matières organiques. *Thèse Docteur-Ingénieur. Univ. Natio. de Côte d'Ivoire*, 249 p.

Mäder P., Peng S. et Fliessbach A., 2002. Effets des produits phytosanitaires sur les micro-organismes du sol. *VBB-Bulletin*, 6 : 6-7.

M.A.H.R.H., 2004. La production du coton de la campagne 2003-2004. *Direction de la statistique agricole*, 1-3.

Nébié R. C., Yaméogo T. R., Sié S. F., 2002. Résidus de pesticides dans quelques produits alimentaires de grande consommation au Burkina Faso. *Bulletin d'information de la SOACHIM* N°4 : 68-78.

Nacoulma J., 1994. Contribution à l'étude de la biodégradation des polluants phénoliques par les microorganismes du sol. *Mémoire DEA, Option Biochimie et Microbiologie Appliquée; Univ. de Ouagadougou, Burkina Faso*, 40 p.

Nguyen The N., Fauconnier T., Salducci X., 2004. L'activité biologique des sols : Illustration sur l'Eucalyptus. *Informations-Forêt* (4), 2004, 6 p.

Niane-Badiane A., Ganry F. et Jacquin F., 2006. Etude de la biomasse microbienne dans les sols ferrugineux tropicaux de la zone Centre Nord du Sénégal. *Poster- Symposium N°11 ; Numéro d'enregistrement Scientifique* 83 : 1 p.

Savadogo P. W., 1996. Biodégradation des pesticides et polluants industriels utilisés dans l'agriculture. *Mémoire de D.E.A, Univ. de Ouagadougou, Burkina Faso*, 79 p.

Savadogo P. W. 2001. Etude de la biodégradation des pesticides utilisés en agriculture au Burkina Faso : cas particulier du Decis, de l'Ultracide et du Sumithion. *Thèse de Doctorat en Microbiologie- Univ. Ouagadougou, Burkina Faso*, 101 p.

Savadogo P.W., 2005. Pesticides et Microflore du sol de la zone maraîchère des Niayes de Dakar. *Rapport de stage Post-doctoral de perfectionnement à la recherche*, 25 p.

Savadogo P. W., Ouattara C.A.T., Ouattara A. S., Traoré A. S., 1999. Biodégradation anaérobie d'un pyréthrinioïde de synthèse et d'insecticides organochlorés par les cultures bactériennes mixtes non définies. *Revue Sciences et Techniques du CNRST, Sciences Naturelles*, vol. 23 : 15-24.

Savadogo P. W., Traoré O., Topan M., Tapsoba K. H., Sedogo P. M., Bonzi-Coulibaly L. Y., 2007. Variation de la teneur en résidus de pesticides dans les sols de la zone cotonnière du Burkina Faso. *Journal Africain des Sciences de l'environnement*, 1, 2007 : 29-39.

Sedogo P. M., 1981. Contribution à l'étude de la valorisation des résidus culturaux en sol ferrugineux et sous climat tropical semi aride (matière organique du sol, nutrition azoté des cultures). *Thèse Docteur-Ingénieur, INPL Nancy*, 135 p.

Sedogo P. M., 1993. Évolution des sols ferrugineux lessivés sous culture: incidence des modes de gestion sur la fertilité. *Thèse Doct., Mention Sciences Naturelles, Univ.Nat., Côte d'Ivoire*, 329 p.

Segda Z., 2006. Gestion de la fertilité du sol pour une production améliorée et durable du riz (*Oryza sativa* L.) au Burkina Faso. Cas de la plaine irriguée de Bagré. *Thèse Doct., Univ. Ouagadougou*, 198 p.

IN.E.R.A.- Programme coton, Sd. Principaux agrégats de la filière coton au Burkina Faso.

Soulas G., 1999. Techniques d'évaluation de l'écotoxicité des substances xénobiotiques vis-à-vis de la microflore des sols. *Ingénieries* 19, 1999 : 57-66.

Subhani A., El-ghamry A. M., Changyong H., and Jiangming X., 2000. Effects of pesticides (herbicides) on soil microbial biomass- A review. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 3- 5, 2000: 705-709.

Tapsoba H. K. et Bonzi-Coulibaly Y. L., 2006. Production cotonnière et pollution des eaux par les pesticides au Burkina Faso. *J. Soc. Ouest-Afr. Chim.* 21, 2006 : 87-93.

Tayaputch N., Pimpan P., Phaikaew Y., Chukiatwatana L., 2001. Impact of long-term pesticides usage on soil activities and ¹⁴C-monocrotophos degradation. In: "*Impact of long term pesticides usage on soil properties using radiotracer techniques*". *Proceeding of final research coordination meeting. Organized by the Joint FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture and held in Hangzhou, Zhejiang, China, 24-28 May 1999*: 165-172.

Tejada A. W., Bayot R. G., Quintana B. B., Austria L. M., Bobiles S. C. et Villanueva A. G. R., 2001. Impact of continued use of profenofos on soil as a consequence of cotton crop protection. In: "*Impact of long term pesticides usage on soil properties using radiotracer techniques*". *Proceeding of final research coordination meeting. Organized by the Joint FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture and held in Hangzhou, Zhejiang, China, 24-28 May 1999*: 165-172.

Toé A. M., Domo Y., Hema S. A. O., Guissou I. P., 2000. Epidémiologie des intoxications aux pesticides et activité Cholinestérasique chez les producteurs de coton de la zone cotonnière de la boucle du Mouhoun. *Etudes et Recherches* 4 -5, 2000 : 39-48.

Tomlin C., 1994. The Pesticides Manuel. 10th Ed., *British Crop Protection Council*. 15 p.

Topan S. M., 2005. Contribution à l'étude de la dégradation des pesticides dans les sols au Burkina Faso. *Mémoire d'Ingénieur du Développement Rural, Option Agronomie, IDR/UPB, Burkina Faso*, 54 p.

Traoré S., Millogo J. R., Thiombiano L., Guinko S., 2007. Carbon and nitrogen enhancement in Cambisols and Vertisols by *Acacia* spp. in eastern Burkina Faso: Relation to soil respiration and microbial biomass. *Applied Soil Ecology*, 35: 660-669.

Vance E. D., Brookes P. C., Jenkinson D. S., 1987. An extraction method for measuring microbial biomass C.. *Soil. Biol. Biochem.*, 19: 703-707.

Vig K., Singh D. K., Agarwal H. C., Dhawan A. K., Dureja P., 2001. Effect of repeated pesticide applications on soil properties in cotton fields: II. Insecticide residues an impact on dehydrogenase and arginine deaminase activities. In: *"Impact of long term pesticides usage on soil properties using radiotracer techniques"*. Proceeding of final research coordination meeting. Organized by the Joint FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture and held in Hangzhou, Zhejiang, China, 24-28 May 1999: 119-128.

Xu B., Zhang Y., Chen M., Zhu N., Ming H., 2001. Impact of repeated insecticide application on soil microbial activity. In: *"Impact of long term pesticides usage on soil properties using radiotracer techniques"*. Proceeding of final research coordination meeting. Organized by the Joint FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture and held in Hangzhou, Zhejiang, China, 24-28 May 1999: 43-49.

Xu B., Xiaohua H., Zhang Y., 2001. A study of the fate of methamidophos in soil. In: *"Impact of long term pesticides usage on soil properties using radiotracer techniques"*. Proceeding of final research coordination meeting. Organized by the Joint FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture and held in Hangzhou, Zhejiang, China, 24-28 May 1999: 51-55.

Zayed S. M. A. D., Farghaly M., Soliman S. M., Taha H., 2001. Effect of repeated applications of pesticides used on cotton on soil properties. In: *"Impact of long term pesticides usage on soil properties using radiotracer techniques"*. Proceeding of final research coordination meeting. Organized by the Joint FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture and held in Hangzhou, Zhejiang, China, 24-28 May 1999: 63-74.

Zombré P. N., 2006. Variation de l'activité biologique dans les zipella (sols nus) en zone subsahélienne du Burkina Faso et impact de la technique du zaï (techniques des poquets). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 2006 **10** (2) : 139 – 148.

Annexes 2 : Valeurs cumulatives de CO2 dégagé pendant 14 jours d'incubation (mg/100g de sol)

	Tiokouy		Tiébélé		Comin-yanga		Pama	
	Avant application	Après application						
J1	2,86	2,05	5,06	3,45	3,74	1,91	2,42	2,13
J2	6,31	3,74	8,21	4,84	5,87	3,01	4,25	3,96
J3	7,63	5,87	10,93	5,87	7,33	3,59	5,65	5,21
J4	9,24	6,67	12,61	6,89	8,58	4,62	6,82	7,04
J5	10,8	8,07	14,9	7,85	10,1	6,01	8,07	8,65
J6	12,2	9,61	16,9	9,17	11,4	7,19	9,75	10,3
J7	14,1	11,6	18,8	10,3	13,1	8,43	11,4	12,0
J8	15,0	12,4	19,9	11,2	14,1	9,17	12,2	13,0
J9	15,8	13,3	21,1	12,1	15,1	9,90	13,0	14,0
J10	16,8	14,4	22,3	13,2	16,0	10,6	13,9	15,3
J11	17,7	15,5	23,5	14,4	16,9	11,2	14,9	16,5
J12	18,6	16,4	24,7	15,0	18,1	11,7	15,9	17,3
J13	19,5	17,2	25,9	15,6	19,2	12,2	16,8	18,1
J14	20,4	18,0	27,1	16,3	20,4	12,7	17,8	18,9

Annexe 3 : Calcul Biomasse microbienne

Site	Traitement	F0-7 (mgCO ₂ /100g de sol)	F8-14 (mgCO ₂ /100g de sol)	Biomasse microbienne (mg C/100g de sol)
Tiokouy	Avant application de pesticides	24,0	6,6	42,6
	Avant application de pesticides	21,8	9,6	29,7
	Avant application de pesticides	24,0	9,2	36,2
	Après application de pesticides	24,0	7,0	41,5
	Après application de pesticides	32,4	11,0	52,3
	Après application de pesticides	19,6	5,7	34,0
Tiébélé	Avant application de pesticides	78,1	22,4	136,0
	Avant application de pesticides	80,8	22,0	143,5
	Avant application de pesticides	67,6	21,5	112,4
	Après application de pesticides	42,1	12,7	71,6
	Après application de pesticides	45,1	11,8	81,2
	Après application de pesticides	37,2	12,7	59,8
Comin-yanga	Avant application de pesticides	56,1	12,7	105,9
	Avant application de pesticides	58,8	16,7	102,7
	Avant application de pesticides	61,0	13,2	116,7
	Après application de pesticides	37,7	10,5	66,2
	Après application de pesticides	28,9	7,4	52,3
	Après application de pesticides	35,9	10,5	61,9
Pama	Avant application de pesticides	33,7	10,5	56,6
	Avant application de pesticides	37,7	9,6	68,4
	Avant application de pesticides	34,6	8,8	63,0
	Après application de pesticides	24,5	7,9	40,5
	Après application de pesticides	35,9	10,1	63,0
	Après application de pesticides	27,1	8,3	45,8

Annexes 4 : Photographies



Photo 1 : Illustration d'un Prélèvement de sol avant application des pesticides . e 11 . ce
Le point est après ?



Photo 2 : Séance d'application de pesticides sur le coton



Photo 3 : Illustration d'un Prélèvement de sol après application des pesticides



Photo 4 : Visite de terrain et entretien avec un producteur



Photo 5 : Sortie de prélèvement de sol perturbée par une forte pluie



Photo 6 : Visite de terrain avec les partenaires de l'I.D.R. et de France



Photo 7 : Visite de terrain : capsules en phase d'éclatement

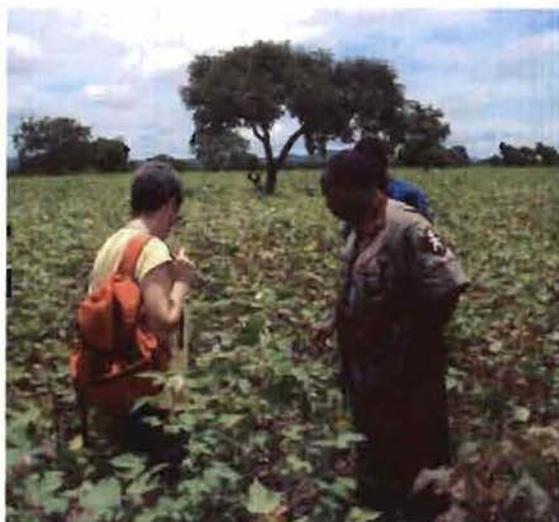


Photo 8 : Visite de terrain des partenaires de l'I.D.R. et de France



Photo 9 : Séchage des échantillons de sol



Photo 10 : Conservation d'une partie des échantillons de sol au congélateur



Photo 11 : Remplacement des flacons contenant la soude



Photo 12 : Incubation des échantillons de sols dans une étuve