

Table des matières

Remerciements	iv
Liste des tableaux	v
Liste des figures	vi
Sigles et abréviations	vii
Résumé	viii
Abstract	ix
Introduction Générale	1
Chapitre 1 : Synthèse bibliographique	4
1.1. Devenir des pesticides dans le sol	4
1.1.1. La dégradation	4
1.1.2. La rétention	4
1.1.3. Les phénomènes de transport des pesticides	5
1.2. Indicateurs biologiques du sol et de toxicité	6
1.2.1. Indicateurs biologiques du sol	6
1.2.2. Indicateurs biologiques de toxicité	8
1.3. Biologie du sol	9
1.3.1. Organismes vivants des sols	9
1.3.2. Facteurs influençant la biologie des sols	10
Chapitre 2 : Site, matériel et méthodes d'étude	13
2.1. Présentation du site : La station de Saria	13
2.2. Matériel	15
2.2.1. Eaux de ruissellement	15
2.2.2. Sol	15
2.2.3. Pesticides utilisés	16
2.2.4. Les œufs de crevette (<i>Artemia salina</i>)	17
2.3. Méthodes	17
2.3.1. Dispositif expérimental	17
2.3.2. Echantillonnage des sols et des eaux	19
2.3.2.1. Echantillonnage des sols	19
2.3.2.2. Echantillonnage des eaux	20
2.4. Analyses au laboratoire	21
2.4.1. Méthodes de caractérisation physico-chimique des sols	21

2.4.2. Etude de l'impact des résidus de pesticides et de différents types de fumures sur l'activité respiratoire des sols	21
2.4.3. Etude de l'impact des résidus de pesticides et de différents types de fumures sur la biomasse microbienne des sols.....	21
2.4.4. Détermination de la respiration spécifique (RS) ou quotient respiratoire.....	22
2.4.5. Etude de la toxicité des eaux de ruissellement	22
2.4.6. Traitement statistique des données	23
Chapitre 3 : Résultats et discussion	24
3.1. Résultats	24
3.1.1. Effet des modes de gestions de la fumure sur les paramètres chimiques, l'activité respiratoire, la biomasse microbienne et quotient respiratoire des sols.....	24
3.1.1.1. Effet sur les paramètres chimiques des sols	24
3.1.1.2. Effet sur l'activité respiratoire des sols	27
3.1.1.3. Effet sur la biomasse microbienne et le quotient respiratoire des sols.....	31
3.1.2. Effet des pesticides sur l'activité respiratoire, la biomasse microbienne et le quotient respiratoire des sols.....	34
3.1.2.1. Effet sur l'activité respiratoire	34
3.1.2.2. Effet sur la biomasse microbienne et le quotient respiratoire.....	34
3.1.3. Effet interactif des modes de gestion de la fumure et de l'application des pesticides sur l'évolution de l'activité respiratoire, la biomasse microbienne et le quotient respiratoire des sols	38
3.1.3.1. Effet sur l'évolution de l'activité respiratoire des sols.....	38
3.1.3.2. Effet sur l'évolution de la biomasse microbienne des sols.....	38
3.1.3.3. Effet sur l'évolution du quotient respiratoire des sols.....	39
3.1.4. Toxicité des échantillons d'eau de ruissellement vis-à-vis des larves de crevette	42
3.2. Discussion.....	43
3.2.1. Effet des modes de gestions de la fumure sur les paramètres chimiques, la respiration, la biomasse microbienne et le quotient respiratoire des sols	43
3.2.2. Effet des pesticides sur la respiration, la biomasse microbienne et le quotient respiratoire des sols.....	45
3.2.3. Effet interactif des modes de gestion de la fumure et de l'application des pesticides sur l'évolution de l'activité respiratoire, la biomasse microbienne et le quotient respiratoire des sols	47
3.2.4. Toxicité des échantillons d'eau de ruissellement vis-à-vis des larves de crevette	48

Conclusion générale 50

Bibliographie..... 52



Remerciements

Ce travail a été entièrement réalisé au sein du Laboratoire Sol-Eau-Plante (SEP) de l'Institut de l'environnement et de recherches agricole (IN.E.R.A) du Burkina Faso dans le cadre du projet FSP-pesticides. Avant de l'exposer, je tiens à remercier chaleureusement tous ceux qui m'ont apporté leur soutien.

Je remercie sincèrement les responsables administratifs de l'INERA de m'avoir accepté comme stagiaire. Il s'agit notamment du Directeur Général de l'INERA, du Chef de CREAF / Kamboinsé, du Chef de département GRN / SP et du coordonnateur du Laboratoire SEP.

Ce travail a été effectué sous la tutelle scientifique du Pr. SEDOGO P. Michel. Je lui exprime ma profonde gratitude pour son encadrement, ses conseils avisés, sa grande disponibilité et son écoute constante.

Je remercie singulièrement le Dr. SAVADOGO W. Paul qui a non seulement guidé mes premiers pas sur le chemin de la recherche mais qui m'a toujours encouragé à poursuivre les travaux. Le Dr. SAVADOGO W. Paul s'est beaucoup investi dans le suivi et l'évaluation régulière de ce travail depuis sa conception jusqu'à sa réalisation totale. C'est par son amour pour le travail bien fait et son enthousiasme que la microbiologie des sols m'est devenue accessible.

Durant tout le stage, j'ai reçu des conseils et des suggestions de plusieurs chercheurs du labo SEP à qui j'adresse mes sincères remerciements. Je pense surtout au Dr. BONZI Moussa, qui m'a accueilli à la station de Saria Je le remercie pour sa disponibilité.

Je reste sensible à la collaboration de tout le personnel du Labo SEP (M. OUANDAOGO Noufou, M. RAMDE Martin, M. KABORE Jean-Paul, M. MOYENGA Momouni, M. OUEDRAOGO Alain, SAMA Ousséni, NARE Alice, SANOU Yvonne, madame OUEDRAOGO Antoinette et M. SAKANDE Ali) et du Labo de chimie et physique de Saria (M. SANON Martin, M. COULIBALY Dofinita, M. OUEDRAOGO Adama) qui ont permis la réalisation de ce travail. Je partage ces résultats avec eux et je leur dis également merci.

Je n'oublie pas mes camarades stagiaires (LOMPO Désiré, ZONGO Nogma, POUYA Mathias, SOMA Mariam) qui n'ont manqué de m'apporter leur appui toutes les fois que j'en avais besoin.

Sincères remerciements à tous !

Liste des tableaux

Tableau 1 : Action du DDT sur des groupes fonctionnels de microorganismes..... 12

Tableau 2 : Composition texturale des horizons 0-20 cm et 20-40 cm des sols de Saria 15

Tableau 3 : Caractéristiques physico-chimiques des sols de Saria pour l’horizon 0-20 cm 15

Tableau 4 : Quelques caractéristiques des molécules utilisées 16

Tableau 5 : Date d’application des pesticides sur le cotonnier selon les matières actives et le rang de traitements. 19

Tableau 6 : Effet des modes de gestion de la fumure sur les caractéristiques chimiques des sols..... 25

Tableau 7 : Effet des modes de gestions de la fumure sur le dégagement cumulé de CO₂ (en mg C / 100g de sol) après 14 jours d’incubation des sols. 29

Tableau 8 : Effet des modes de gestion de la fumure sur la biomasse microbienne des sols (en mg C / 100g de sol). 31

Tableau 9 : Effet des modes de gestion de la fumure sur le quotient respiratoire des sols (en mg C-CO₂ g⁻¹ C-biom.Microb. J⁻¹ de sol). 32

Tableau 10 : Effet de l’application des pesticides sur le dégagement cumulé de CO₂ (en mg C / 100g de sol) après 14 jours d’incubation des sols..... 34

Tableau 11 : Effet de l’application des pesticides sur la biomasse microbienne des sols (en mg C / 100 g de sol). 35

Tableau 12 : Effet de l’application des pesticides sur le quotient respiratoire des sols (en mg C-CO₂ g⁻¹ C-biom.Microb. J⁻¹ de sol) 36

Tableau 13: Effet interactif des modes de gestion de la fumure et de l’application des pesticides sur le dégagement cumulé de CO₂ des sols (en mg C / 100 g de sol). 39

Tableau 14 Effet interactif des modes de gestion de la fumure et de l’application des pesticides sur la biomasse microbienne des sols (en mg C / 100 g de sol) 39

Tableau 15: Effet interactif des modes de gestion de la fumure et de l’application des pesticides sur le quotient respiratoire qCO₂ des sols..... 40

Tableau 16 : Taux de mortalité (%) des larves de crevette dans différentes concentrations des eaux de ruissellement collectées. 42

Liste des figures

Figure 1 : Evolution annuelle des hauteurs d’eau cumulée de 1998 à 2007 dans le site d’étude 13

Figure 2 : Evolution mensuelle des hauteurs d’eau cumulées en 2007 dans le site d’étude 14

Figure 4 : Production cumulée de CO₂ dégagé en fonction des traitements et du temps de prélèvement (chaque point est la moyenne de 3 répétitions). 28

Figure 5 : Taux de mortalité (en %) des larves de crevette soumises à différentes concentrations du profénofos (étalon) : (chaque point est la moyenne de 3 répétitions). 41

Sigles et abréviations

CEC : Capacité d'échange cationique

CO₂ : Dioxyde de carbone

DDT : Dichlorodiphényltrichloroéthane

FDA : Fluorescéine diacétate

FIDA : Fonds international pour le développement de l'agriculture

IDR : Institut du développement rural

LC₅₀ : Concentration létale 50

OMS : Organisation mondiale de la santé

ppm : partie par million

PAN : Pesticides action network-africa

SAPHYTO : Société africaine de produits phytosanitaires

SBE : Somme des bases échangeables

Rapport-Gratuit.com

Résumé

Différents facteurs peuvent affecter la qualité biologique des sols. Ce sont principalement, les facteurs associés aux sols (propriétés physiques et chimiques, pH...), les facteurs climatiques (humidité, température, pluie...) et les facteurs anthropiques (travail du sol, apports d'engrais chimiques, de fumures, de pesticides, rotation culturale...).

La présente étude s'est focalisée sur l'évaluation de l'effet des modes de gestion de la fumure et de l'utilisation des pesticides sur l'activité respiratoire et la biomasse microbienne des sols en station expérimentale. Ces deux paramètres biologiques ont été suivis respectivement par les tests respirométriques et par la méthode de fumigation-incubation. Une étude de toxicité des eaux de ruissellement par les larves de crevette a également été effectuée.

Globalement, il ressort de l'étude que l'activité respiratoire et la biomasse microbienne ne sont pas affectées par les pesticides aux doses vulgarisées. Les résultats montrent par contre que la fumure organo-minérale appliquée à forte dose (FMO) produit l'intensité respiratoire la plus importante et qu'elle induit une biomasse microbienne significativement plus élevée que les autres traitements. De même, l'apport de fumure organo-minérale améliore la fertilité chimique du sol.

Les résultats de caractérisation de la toxicité des eaux de ruissellement révèlent que ces eaux ne sont pas toxiques contre les larves de crevette.

Mots clés : Sol ; activité respiratoire ; biomasse microbienne ; pesticide ; impact ; toxicité ; eau.

Abstract

There are different factors that affect soil biological quality. Some of those factors are soil physicochemical properties, climatic factors (organic matter content, moisture, temperature, rain ...) and anthropic factors (soil tillage, fertilization, use of pesticides, crop rotation ...).

The current study was carried out in an experimental station and focused on the impact of pesticides and fertilizers on soil respiratory activity and soil microbial biomass. In addition a study on brine shrimp bioassays to evaluate the toxicity of rain-off water from the field has been carried out.

Results showed that soil respiratory activity and microbial biomass was not affected by pesticides applied to the normal amount.

However, results indicated that both organic and mineral fertilizers enhanced soil respiration activity and soil microbial biomass compared to not treated fields. Brine shrimp bioassay showed that rain-off water from the fields was not toxic.

Keys words : Soil ; respiratory activity ; microbial biomass ; pesticide ; impact ; toxicity ; water.

Introduction générale

L'agriculture demeure un secteur important de l'économie et de la société burkinabé. Elle occupe près de 80 % de la population active et représente 40 % du produit intérieur brut (FIDA, 2007).

Pour augmenter les rendements des cultures, la fertilisation des sols est une première approche qui est suivie par l'utilisation des pesticides chimiques pour lutter contre les ravageurs de ces cultures. Toé *et al.* (1996) révèlent que l'endosulfan est un insecticide organochloré efficace contre *Helicoverpa armigera* qui est un ravageur ayant causé, en 1991, des pertes de récoltes estimées à 50 000 tonnes de coton-graines sur une production finale de 170 000 tonnes.

La vocation première de l'utilisation des pesticides qui est l'augmentation des rendements est souvent poursuivie au détriment de la protection de l'environnement. De nombreux auteurs rapportent la pollution des différents compartiments de l'environnement par ces pesticides.

Concernant la santé des populations, PAN (2000) et Agency for toxic substances and disease Registry (2000) associent aux pesticides le cas de certains cancers, stérilités, malformations congénitales et des troubles neurologiques et de reproduction.

Cissé *et al.* (2003) ont observé au Sénégal, des contaminations par les pesticides supérieures aux normes admises par l'OMS. La concentration totale moyenne des matières actives des pesticides qu'ils ont recherchés dans un puits est de 162,62 µg / l, soit 325 fois la norme admissible (0,5 µg / l). Ils ont observé aussi que la pollution de la nappe phréatique est plus marquée dans le site de Guédiawaye avec une concentration moyenne totale de 51,21 µg / l, soit 102 fois supérieure à la valeur guide.

Tapsoba et Bonzi-Coulibaly (2006) ont observé des valeurs de 0,19 et 0,20 µg / l d'endosulfan dans le barrage de Vy-Kayo (Burkina Faso) respectivement aux mois de Juillet et d'Août (2002-2003).

Le sol constitue un compartiment clé de l'environnement en ce sens qu'il est le lieu de passage obligé du contaminant lors de son transfert vers la nappe phréatique. Il occupe par conséquent une position centrale dans la régulation de la pollution par son double rôle d'épuration et de stockage des polluants (Barriuso *et al.*, 1996a).

Les pesticides dans le sol sont soumis à des processus de dégradation dont la complexité est fonction de la nature du produit chimique. Ces processus dépendent des facteurs abiotiques (Columa, 1977 ; Coulibaly et Smith, 1994 ; Topan, 2005) et biotiques (Martens, 1976 ; Savadogo *et al.*, 1999 ; Savadogo, 2001).

Pour la plupart des molécules utilisées, la biodégradation semble être le phénomène principal conduisant à la décomposition plus ou moins complète des pesticides dans les agrosystèmes (Columa, 1977).

En revanche, les pesticides qui se trouvent dans le sol, peuvent avoir un effet dépressif marqué sur les diverses composantes de sa biologie. Les nombreuses études menées au sujet des effets dépressifs des pesticides sur la biologie sont contradictoires (Vig *et al.*, 2001 ; Allegrini *et al.*, 1973 ; El-Ghamry *et al.*, 2000 ; Sow, 2006 ; Pal *et al.*, 2006).

La plupart des travaux conduits au Burkina Faso autour de la problématique des pesticides, ont été principalement perçus à travers leur présence dans les eaux souterraines et les eaux de surface et dans le sol (Gire, 2001 ; Illa, 2004 ; Topan, 2005 ; Tapsoba et Bonzi-Coulibaly, 2006). Ils ont porté aussi sur la qualité des céréales, des fruits et légumes (Nébié *et al.*, 2002), sur les effets des pesticides sur la santé humaine (Toé *et al.*, 2000) et la biodégradation des pesticides (Nacoulma, 1994 ; Coulibaly K., 2006 ; Savadogo *et al.*, 1999 ; 2006 et 2007).

Dans le cadre du projet « Fonds de solidarité prioritaire » volet pesticides (FSP-pesticides), des études sont menées pour non seulement caractériser les résidus des pesticides dans les sols mais aussi suivre leur impact sur les insectes non cibles et sur les paramètres biologiques et microbiologiques des agrosystèmes.

Le rapport scientifique intermédiaire dudit projet donne la quantité moyenne de pesticides par type et par campagne dans les agrosystèmes cotonniers du Burkina Faso (INERA, 2007). Topan (2005), Ondo (2007) et Coulibaly J. (2007) ont dans le cadre des activités du projet FSP-pesticides suivi l'évolution des résidus de pesticides après leur emploi dans les sols selon l'ancienneté des zones cotonnières et le type de sol.

Son (2007) a investigué sur les effets des pesticides sur les insectes non cibles, particulièrement sur les Chysalides de *Cirina butyrospermi* dans la zone cotonnière de Pô au Burkina Faso.

Topan (2005), Coulibaly K. (2006) et Savadogo *et al.*, (2007) ont recherché les effets des pesticides sur les paramètres biologiques au laboratoire, tandis que Lompo D. (2007) a vérifié leurs effets sur la microflore des sols en milieu paysan.

Toutefois, les données sur l'influence des pesticides sur les organismes vivants du sol méritent d'être confirmées et complétées pour la simple raison que la qualité des sols (surtout la qualité biologique) et leurs évolutions sont à l'origine d'une nouvelle problématique scientifique ; la terre faisant l'objet d'une forte demande sociale.

C'est dans ce contexte que la présente étude s'est déroulée avec pour objectifs :

- d'étudier l'effet des modes de gestion de la fumure sur les paramètres chimiques et biologiques du sol ;
- d'étudier l'effet des modes de gestion de la fumure et de l'utilisation des pesticides sur l'évolution de l'activité biologique;
- de caractériser la toxicité des eaux de ruissellement provenant des parcelles après l'application des pesticides.

Nos travaux ont été menés de sorte à vérifier trois hypothèses : (1) l'apport de fumures organique et minérale accroît la fertilité chimique du sol, (2) les fumures organo-minérales et les résidus de pesticides perturbent l'activité biologique du sol, (3) une partie des pesticides appliqués est drainée par les eaux de ruissellement hors du champ.

Le présent mémoire s'articule autour de trois chapitres :

- le premier chapitre est consacré à la synthèse bibliographique ;
- le second chapitre décrit le site et le matériel d'étude ainsi que la méthodologie adoptée pour atteindre les objectifs fixés ;
- le dernier chapitre donne l'essentiel des résultats obtenus et leur discussion.

Une conclusion générale donne les perspectives issues de notre étude.

Chapitre 1 : Synthèse bibliographique

Les pesticides regroupent un nombre important de molécules destinées à lutter contre de nombreux groupes d'organismes. Dans cette synthèse nous faisons mention du comportement des pesticides dans le sol après leur emploi, et nous donnons un aperçu de leur influence sur les organismes vivants du sol.

1.1. Devenir des pesticides dans le sol

1.1.1. La dégradation

Le processus déterminant le comportement des pesticides après leur application, concernent leur dégradation, leur rétention et leur transport (Barriuso *et al.*, 1996a). La dégradation des pesticides est due à de nombreuses transformations qui peuvent être abiotiques ou biologiques (Columa, 1977 ; Barriuso *et al.*, 1996a). La transformation abiotique est dominée par deux phénomènes majeurs dont le phénomène de la photolyse (caractérisé par les réactions photochimiques) et le phénomène de la catalyse (caractérisé par les réactions d'oxydo-réductions). La dégradation biologique des pesticides est l'œuvre de la microflore tellurique. La majorité des études rapporte que les bactéries et les champignons interviennent dans la dégradation des pesticides (Savadogo *et al.*, 1999 ; Kwon *et al.*, 2002 ; Verma *et al.*, 2005). Kwon *et al.* (2002) ont montré que la bactérie *K. pneumoniae* KE.1 peut dégrader plus de 93 % de l'endosulfan s'il est appliqué à 93,7 µg / ml.

1.1.2. La rétention

La rétention est un processus qui conditionne la disponibilité des pesticides. Selon Barriuso *et al.* (1996b), elle peut jouer un rôle de protection à l'égard de la dégradation biologique.

La rétention implique le processus d'absorption par les végétaux ou par la microflore du sol, le processus d'adsorption et de désorption.

Dans le sol, la rétention des pesticides est classiquement caractérisée à l'aide de coefficients de partage ou de distribution (K_d) du pesticide entre les phases solide et liquide (Barriuso *et al.*, 1996b). Calvet *et al.* (1980) ont montré que la teneur en matière organique du sol est le paramètre le mieux corrélé avec le coefficient d'adsorption. Les résultats des travaux de Barriuso *et al.* (1996a) ont révélé que le fait de doubler la teneur en matière organique d'un sol par addition du compost, cela se traduit par l'augmentation du coefficient d'adsorption de l'atrazine de 0,64 à 1,71 L / kg. Les processus intervenant dans la rétention des pesticides sont sans doute essentiels dans l'appréciation des risques de transport vers les eaux de surface et les eaux souterraines.

1.1.3. Les phénomènes de transport des pesticides

Trois types de déplacements sont couramment définis pour un pesticide appliqué sur le sol (Columa, 1977) : la volatilisation, le lessivage et le ruissellement.

- **La volatilisation** : Elle est définie comme étant le passage d'une substance du sol, de l'eau ou des végétaux vers l'atmosphère (Columa, 1977). Elle dépend des mouvements de l'air et de la température. La volatilisation est un phénomène qui a été assez peu étudié. Toutefois, dans Columa (1977), il a été montré que des pertes liées à la volatilisation au bout de 48 heures, à 25° C, atteignaient 85 % pour l'atrazine et 60 % pour le linuron.

La principale propriété physico-chimique qui rend compte du degré de volatilisation d'une molécule est sa pression de vapeur. Plus elle est forte, plus la volatilisation de la molécule est élevée.

- **Le lessivage** : Les déplacements des molécules dans le sol sont dus à la diffusion moléculaire et à la convection. La nature chimique de la molécule et les propriétés physico-chimiques des sols sont les principaux facteurs qui dictent le processus de lessivage.

Les études de lessivage permettent de quantifier le risque de contamination des eaux souterraines. Flury (1996) cité par Ondo (2007) a montré que les pertes par lessivage sont estimées en général à moins de 1 % de la quantité de produit appliqué, mais elles peuvent atteindre 5 %.

Les travaux de Vig *et al.* (2006) ont révélé que l'endosulfan appliqué à une dose agronomique de 750 g / ha sur un sol limono-sableux, est lessivé à 25 % en 90 jours.

- **Le ruissellement** : il se produit lorsque les précipitations dépassent les capacités de rétention et d'infiltration du sol (Colleu et Mignard, 2000). Dans le cas d'une parcelle expérimentale entièrement isolée, c'est la quantité d'eau qui s'échappe au bas de la parcelle. Le ruissellement est en grande partie responsable de l'érosion des sols (Zougmore, 1991) et de l'entraînement des pesticides en surface (Columa, 1977). Les résultats de Larson *et al.* (1997) donnés par Ondo (2007) révèlent des pertes de pesticides par ruissellement de 2 % de la quantité appliquée avec des cas extrêmes de 8 %. Silburn *et al.* (2002) indiquent que la couverture végétale limiterait les pertes d'endosulfan dans les champs de coton. Les résultats de leurs travaux révèlent qu'avec 65 mm de pluie, les pertes par ruissellement de l'endosulfan varient entre 2,5 à 5,3 %. Kennedy *et al.* (2001) ont trouvé que pour une application de 750 g / ha de l'endosulfan, la concentration des résidus ruisselés peut varier de 0,33 à 6 % selon le temps d'irrigation ou l'intensité de l'orage.

La pente est un facteur clé dans le processus de ruissellement (Zougmore, 1991). Avec une pente de 3 %, les pertes observées avec le dicamba et le piclorame varient de 3 à 5 % de la quantité apportée (Columa, 1977). Les molécules de pesticides contenues dans l'eau ruisselante sont entraînées vers les eaux de surface (barrage, cours d'eau etc.). La conséquence est la pollution des écosystèmes aquatiques dont leur toxicité peut être déterminée par l'utilisation de certains indicateurs biologiques.

1.2. Indicateurs biologiques du sol et de toxicité

Un indicateur biologique ou bio-indicateur est un organisme ou une communauté de vie qui réagit par diverses modifications (physiologique, comportementale...) à la présence d'une substance toxique ou à une modification du milieu : mortalité, raréfaction, pullulation... ([http : // www.observeoire.environnement.org.contact](http://www.observeoire.environnement.org.contact)).

1. 2.1. Indicateurs biologiques du sol

Selon Chaussod (1996), un bon indicateur doit :

- pouvoir rendre compte des évolutions qui présentent potentiellement un impact sur le fonctionnement du sol ;
- être sensible pour déceler rapidement des déséquilibres avant que cela n'entraîne des effets irréversibles ;
- pouvoir être utilisé pour des mesures de routine, si possible de façon économique.

Dans cet ordre d'idée, les indicateurs biologiques potentiellement utilisables pour les agrosystèmes peuvent être regroupés comme suit :

- **Les populations de lombriciens** : Elles représentent un indicateur intéressant par l'ensemble des mesures qu'elles permettent d'effectuer. L'abondance (nombre d'individus par m²), la biomasse lombricienne (poids frais par m²), la structure de la population (proportion de juvéniles) et le nombre d'espèces différentes sont les mesures qui peuvent être effectuées (Chaussod, 1996).
- **Les activités enzymatiques** : dans le sol, de très nombreuses activités enzymatiques peuvent être décelées : les hydrolases, les oxydo-réductases, les cellulases, les uréases, les phosphatases, la fluorescéine diacétate (FDA), (Pal *et al.*, 2006 ; Sow, 2006 ; Bilgo *et al.*, 2006). Ces enzymes produites par la microflore tellurique ont une durée de vie

et une activité qui varient très largement selon les paramètres physico-chimiques. Les travaux de Quiquampoix *et al.* (1993) cités par Chaussod (1996), ont montré que la phosphatase a une persistance dans le sol qui dépend de la qualité et de la nature des colloïdes minéraux et organiques présents, du pH, de la force ionique. En raison de la très grande diversité spécifique enzymatique, il est illusoire de déterminer la fertilité d'un sol par la mesure de l'activité d'une seule enzyme (Chaussod, 1996). Toutefois, l'utilisation d'un test comme l'hydrolyse de la FDA est moins critiquable car son activité concerne plusieurs groupes d'enzymes : les estérases non spécifiques, les protéases et les lipases (Adam et Duncan, 2001).

- **Les populations microbiennes :** la fertilité biologique des sols a longtemps été caractérisée par le dénombrement des microorganismes totaux du sol (Columa, 1977 ; Chaussod, 1996). Cette numération de la microflore totale va s'accompagner par le dénombrement des groupements fonctionnels (Allegrini *et al.*, 1973; Kwon *et al.*, 2002 ; Awasthi *et al.*, 2003 ; Zombré, 2006) correspondant aux organismes capables de pousser sur un substrat particulier ou d'effectuer une transformation donnée (protéolytique, fixateur d'azote). Des travaux de recherche se sont intéressés à des populations microbiennes d'intérêt agronomique. C'est le cas des bactéries fixatrices d'azote en symbiose avec les légumineuses, des champignons mycorhiziens (kjoller et Rosendahl, 2000; Assimi *et al.*, 2000b).

Les germes dégradants les xénobiotiques ont fait l'objet de nombreuses investigations (Martens, 1976 ; Kwon *et al.*, 2002 ; Awasthi *et al.*, 2003 ; Verma *et al.*, 2005). Kwon *et al.* (2002) ont identifié une bactérie (*Klebsiella pneumonia* KE-1) qui est capable de métaboliser l'endosulfan. Les investigations de Awasthi *et al.* (2003) ont révélé que des cellules bactériennes (*Tubifex tubifex* Mûler) métabolisent 90 à 95 % des isomères de l'endosulfan.

- **La biomasse microbienne :** ce concept fait référence à la fraction vivante de la matière organique, l'ensemble des microorganismes étant considéré comme un tout (Fardoux *et al.*, 2000). Deux méthodes d'évaluation de la biomasse microbienne couramment utilisées font intervenir un agent biocidale, le chloroforme, qui tue la quasi-totalité des microorganismes présents dans le sol. Le carbone des microorganismes tués est quantifié soit par une incubation (Assimi *et al.*, 2000a ; Fardoux *et al.*, 2000 ; Lompo D., 2007), soit par une extraction (Vance *et al.*, 1987).

La biomasse microbienne est l'une des mesures biologiques praticables en routine et interprétables dans une majorité de situations. Selon Chaussod (1996), c'est le meilleur exemple d'indicateur qui peut aider à gérer des problèmes relatifs au statut organique des sols ou à certaines pollutions.

- **L'activité respiratoire** : les mesures respirométriques du dégagement du gaz carbonique (CO₂) et de l'absorption d'oxygène permettent d'apprécier globalement l'activité de la microflore du sol. De nombreux travaux de recherche (Bachelier, 1973 ; Sedogo, 1981 et 1993 ; Lompo F., 1993 ; Savadogo *et al.*, 2006 ; Sow, 2006 ; Segda, 2006) conduits en milieu contrôlé, relient directement l'activité respiratoire des sols à la minéralisation de la matière organique par les microorganismes.

Dans la présente étude, nous nous sommes intéressés aux deux derniers indicateurs biologiques (biomasse microbienne et l'activité respiratoire).

1.2.2. Indicateurs biologiques de toxicité

Les tests couramment réalisés mettent en présence des êtres vivants (animaux ou végétaux) et la substance chimique à étudier. La durée du test varie généralement entre 24 et 96 heures, selon l'espèce animale ou végétale utilisée et le composé chimique étudié (Adam et Vasel, 1998).

Une synthèse faite par Adam et Vasel (1998) liste certaines espèces utilisées pour les tests de toxicité. Ce sont entre autres :

- Les lentilles d'eau qui sont des plantes aquatiques à croissance très rapide et particulièrement sensibles aux composés qui se concentrent à l'interface air-eau ;
- Les microalgues : ces plantes sont utilisées pour les tests de toxicité du fait qu'elles sont facilement cultivables et possèdent un taux de croissance très élevé, ce qui permet de réaliser les tests en un laps de temps et de déterminer les quantités de chlorophylle qui sont comparées à un témoin ;
- Les daphnies ou microcrustacés d'eau douce : c'est le test d'immobilisation de ces animaux qui est couramment utilisé ;
- Les poissons : les espèces telles que les saumons et les truites sont les plus utilisées pour les tests de toxicité. Les poissons sont mis en contact avec des composés chimiques à différentes concentrations durant 96 heures. A la fin du test, le nombre de

poissons morts est déterminé et les LC_{50} (concentration à partir de laquelle 50 % des individus soumis au test sont morts) sont calculées ;

- Les bactéries luminescentes et nitrifiantes sont aussi utilisées pour mesurer la toxicité des substances chimiques.

Plusieurs auteurs ont utilisé les larves de crevette (*Artemia salina*) pour mesurer la toxicité des composés chimiques (Meyer *et al.*, 1982 ; Solis *et al.*, 1993 ; Gamaniel *et al.*, 1995).

Meyers *et al.* (1982) ont déterminé les concentrations létales (LC_{50}) des matières actives des extraits 41 espèces végétales. Soli *et al.* (1993) ont utilisé ce test pour déterminer la toxicité de certains comprimés et stupéfiants tels que le cycloheximide ($LC_{50} = 104,6 \pm 1 \mu M$), la chloroquine diphosphate ($LC_{50} > 1000 \mu M$), la quinine ($LC_{50} > 1000 \mu M$), la caféine ($LC_{50} > 1000 \mu M$), la nicotine ($LC_{50} > 1000 \mu M$). Le test de toxicité par les larves de *Artemia salina* utilisé lors de cette étude, présente de nombreux avantages (rapidité, faible coût, simple d'emploi) et s'avère être le moyen le plus efficace pour évaluer rapidement la toxicité des retenues d'eau susceptibles d'être polluées par les pesticides dans les zones cotonnières.

1.3. Biologie du sol

La fertilité des sols est présentée comme étant formée de trois composantes qui agissent en interaction. Il s'agit de la fertilité chimique (pH, teneur en composés minéraux, en matière organique), de la fertilité physique (texture, structure) et de la fertilité biologique (Bachelier, 1973 ; Chaussod, 1996 ; Zombré, 2006). De nombreux travaux de recherche ont établi un lien étroit entre la décomposition de la matière organique, la stimulation de l'activité biologique et la fertilité du sol en terme de production végétale (Bachelier, 1973 ; Columa, 1977 ; Sedogo, 1993). L'intérêt de connaître l'activité biologique des sols se justifie par le rôle de la vie dans la définition et le maintien des équilibres pédologiques et plus particulièrement le maintien de leurs caractéristiques physico-chimiques. Pour ce faire, il convient de connaître d'abord les organismes vivants des sols, ensuite les indicateurs biologiques qui permettent d'apprécier la qualité biologique des sols et enfin de connaître les facteurs susceptibles de perturber cette qualité biologique.

1.3.1. Organismes vivants des sols

Le sol abrite un nombre important et varié d'organismes vivants (Bachelier, 1973 ; Columa, 1977). La faune (macroorganismes) et la microflore sont les deux grands groupes qui constituent ces organismes vivants. La faune se compose de nématodes, d'Annélides

(lombriciens) et d'Arthropodes (crustacés, insectes). Chaussod (1996) indique que pour 1m^2 on peut dénombrer en moyenne 10 à 10^3 lombriciens, 10^6 à 10^8 nématodes, 10^3 à 10^4 arthropodes. Le rôle fonctionnel de ces organismes macroscopiques est de participer au cycle de la matière organique, depuis la dégradation et l'émiettement des résidus végétaux et animaux jusqu'au transport et au mélange intime de ces résidus avec la composante minérale du sol et sa microflore (Bachelier, 1973 ; Pal *et al.*, 2006). Ils concourent aussi à une meilleure circulation des fluides (air et eau) dans le sol.

La microflore tellurique regroupe les bactéries, les champignons, les actinomycètes et les algues. Columa (1977) rapporte que la couche arabe d'un sol cultivé contient de 10^8 à 10^9 germes vivants par gramme de sol. Chaussod (1996) donne des valeurs moyennes (par gramme de sol) comprises entre 10^2 à 10^4 pour les algues, 10^8 à 10^9 pour les bactéries et 10^4 à 10^6 pour les champignons. La microflore accroît le potentiel enzymatique des sols, assure plus ou moins complètement les cycles biogéochimiques de nombreux éléments minéraux (azote, carbone, soufre, phosphore) et conditionne la synthèse et la dégradation de nombreuses substances (Bachelier, 1973 ; Sedogo, 1993 ; Savadogo *et al.*, 1999 ; Sow, 2006).

La faune et la microflore sont étroitement interdépendantes au sein des écosystèmes pédologiques, mais dans le cadre de cette étude, nous allons nous intéresser à la population microbienne et notamment à son activité globale.

1.3.2. Facteurs influençant la biologie des sols

Les grandes composantes de la biologie des sols sont sous la dépendance des facteurs pédoclimatiques (type de sol et climat) et des facteurs agronomiques (Chaussod, 1996 ; Zombré, 2006). Il existe, bien entendu, des interactions entre ces facteurs. Dans cette synthèse, nous donnerons un aperçu de l'effet des facteurs agronomiques notamment la gestion organique et la fertilisation du sol et les traitements phytosanitaires.

La matière organique constitue une source d'énergie pour la microflore tellurique (Chaussod *et al.*, 1992 ; Sedogo, 1993 ; Zombré, 2006). Par conséquent, toute influence sur le statut organique du sol a des répercussions sur la microflore du sol et ses activités.

Assimi *et al.* (2000a) ont conduit des travaux sur les parcelles de l'essai entretien de la fertilité mis en place à Saria (Burkina Faso) en 1960. Les résultats obtenus par ces auteurs font apparaître un effet inhibiteur (20,3 %) de la fumure minérale forte plus 40t / ha / 2 ans de fumier sur l'intensité de la mycorhization des plantes de niébé, comparativement au témoin sans engrais (47,9 %), à la fumure minérale faible avec restitution de paille (45,3 %), à la fumure minérale faible plus 5t / ha / 2 ans de fumier (36,3 %), à la fumure minérale faible

(35,5 %) et à la fumure minérale forte (37,7 %). Ces mêmes auteurs ont fait des observations contraires au cours de la même étude sur la population du rhizobium. Ils notent un nombre significativement plus élevé de nodules par plante pour la fumure minérale forte plus 40t / ha / 2 ans de fumier (68,4), suivi de la fumure minérale faible plus 5t / ha / 2 ans de fumier (67,5). Des valeurs significativement faibles sont enregistrées avec la fumure minérale forte et faible (respectivement 18,5 et 20,8 nodules par plante) et le témoin sans engrais (13,6 nodules par plante). Les données de ces travaux montrent les effets variables d'une fumure sur des groupes microbiens : la stimulation de certains et l'inhibition d'autres.

Selon Zombré (2006), le compost à 3 tonnes / ha et le paillage améliorent l'activité biologique des sols ferrugineux et brunifiés comparativement aux témoins.

Chaussod *et al.* (2001) rapportent des résultats comparables, à partir de mesures effectuées sur un sol ferrugineux tropical de Venezuela. Ils notent que le niveau de la biomasse microbienne est deux fois plus élevé dans les parcelles sous prairie (146 ± 7 mg C / kg de sol sec) que dans les parcelles cultivées en maïs (84 ± 3 mg C / kg de sol sec).

D'autres travaux de recherche ont mis en évidence une modification des populations microbiennes et de leurs activités suite à l'application des produits phytosanitaires (Columa, 1977 ; Barriuso *et al.*, 1996a ; El-Ghamry *et al.*, 2000 ; Subhani *et al.*, 2000 ; Calvet *et al.*, 2005 ; Savadogo *et al.*, 2006 ; Pal *et al.*, 2006 ; Sow, 2006 ; Coulibaly K., 2006 ; Lompo D., 2007). Les résultats croisés, indiquent qu'il y a des effets variables sur les paramètres microbiologiques du sol suite à l'application simple ou répétée des pesticides.

Pal *et al.* (2006) rapportent une absence d'effet du carbofuran sur la biomasse microbienne. Toutefois, une application répétée de cette molécule entraîne une réduction significative de la biomasse microbienne du sol. Ces auteurs indiquent que la simazine ne cause pas d'effet détectable sur la microflore, mais qu'une application répétée entraîne une baisse significative de la biomasse principalement fongique du sol.

Subhani *et al.* (2006) indiquent que le methamidophos aux doses de 0,5 ; 2,5 ; 5 et 10 μ g / g de sol inhibe la croissance des bactéries, des actinomycètes et des azotobacters, alors qu'il stimule la croissance des champignons. Ils ont aussi montré que le même pesticide stimule l'activité respiratoire des sols et que l'effet est important quand la dose du pesticide augmente. El-Ghamry *et al.* (2006) ont étudié l'effet combiné du chlorsulfuron et du bensulfuron-méthyl sur la biomasse microbienne. Les résultats indiquent que la combinaison de ces deux herbicides a un effet significatif sur la biomasse microbienne durant les 15 premiers jours d'incubation. La combinaison de ces deux herbicides à la dose de 0,01 μ g / g de sol chacun induit une diminution de la biomasse microbienne après le 25^{ème} jour d'incubation.

Sow (2006) a étudié l'effet de trois pesticides (endosulfan, cyperméthrine et malathion) à la dose de 15 ppm chacun sur l'activité de la déshydrogénase et celle de la fluorescéine diacétate (FDA) pendant 30 jours d'incubation. Il constate que la cyperméthrine induit une augmentation de l'activité de la déshydrogénase à partir du 10^{ème} jour de l'incubation, tandis que le malathion induit une forte diminution de cette activité dès le début de l'incubation. Concernant l'activité de la FDA, l'auteur note une augmentation de l'activité pendant la période d'incubation 5-10 jours et une diminution progressive par la suite jusqu'à la fin de l'incubation. La cyperméthrine reste le pesticide qui induit une activité significativement plus élevée que le sol sans pesticide. Elle est suivie par l'endosulfan. Une forte diminution de l'activité FDA comparativement aux autres pesticides est enregistrée avec le malathion.

Kjoller et Rosendahl (2000) ont trouvé une inhibition de l'activité de la phosphatase alcaline des champignons mycorhiziens par le benomyl à la dose recommandée au champs (1 µg / g de sol). Ils ont observé les mêmes tendances avec le propiconazole à la faible dose de 0,21 µg / g de sol sur les ectomycorhizes. Toutefois, l'activité des endomycorhizes n'est pas affectée après l'application du propiconazol aux doses de 0,21 et 21 ug / g de sol.

Les expérimentations de Allegrini *et al.* (1973) révèlent que le DDT à la dose de 0,5 ppm n'influence pas significativement des groupes fonctionnels de microorganismes (tableau 1) après une semaine de traitement.

Tableau 1 : Action du DDT sur des groupes fonctionnels de microorganismes

	Une semaine avant traitement	Le jour du traitement	Une semaine après traitement
Numération totale sur milieu de culture	2,5 x 10 ¹⁰	7 x 10 ⁹	1,5 x 10 ⁹
Ammonification	4,5 x 10 ⁸	15 x 10 ⁸	4,5 x 10 ⁸
Amylolyse	9,5 x 10 ⁵	4,5 x 10 ⁵	1,5 x 10 ⁵
Protéolyse	25 x 10 ⁴	9,5 x 10 ⁴	30 x 10 ⁴
Minéralisation du soufre organique	11,5 x 10 ⁶	4,5 x 10 ⁶	2,5 x 10 ⁶

Source : Allegrini et al. (1973)

Chapitre 2 : Site, matériel et méthodes d'étude

2.1. Présentation du site : La station de Saria

❖ Situation géographique

La station de recherches environnementales et agricoles de Saria, est située au centre-ouest du Burkina Faso à 80 km au Nord-ouest de Ouagadougou (la capitale), et à 25 km à l’est de Koudougou son chef lieu de province. Ses coordonnées géographiques sont : Latitude, 12°16’N, Longitude : 2°9’W, Altitude : 300 m

❖ Climat

Il est du type nord soudanien avec une saison sèche allant d’octobre à avril et une saison humide de mai à septembre (Sedogo, 1993). La pluviométrie de Saria enregistre des variabilités inter annuelles (Figure 1) et intra annuelles avec une moyenne annuelle de 800 mm. Durant la période d’expérimentation, la pluviométrie mensuelle (figure 2) a variée entre 7 mm en mai et 338 mm en Août. Le site a enregistré 6 mois de pluies dans l’année (Avril-septembre) avec une moyenne de 728,2 mm.

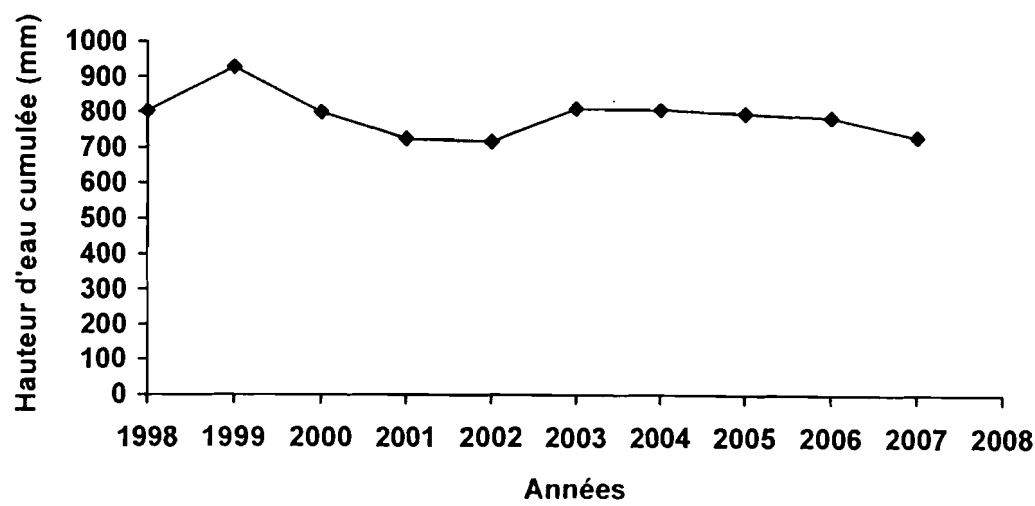


Figure 1 : Evolution annuelle des hauteurs d’eau cumulée de 1998 à 2007 dans le site d’étude

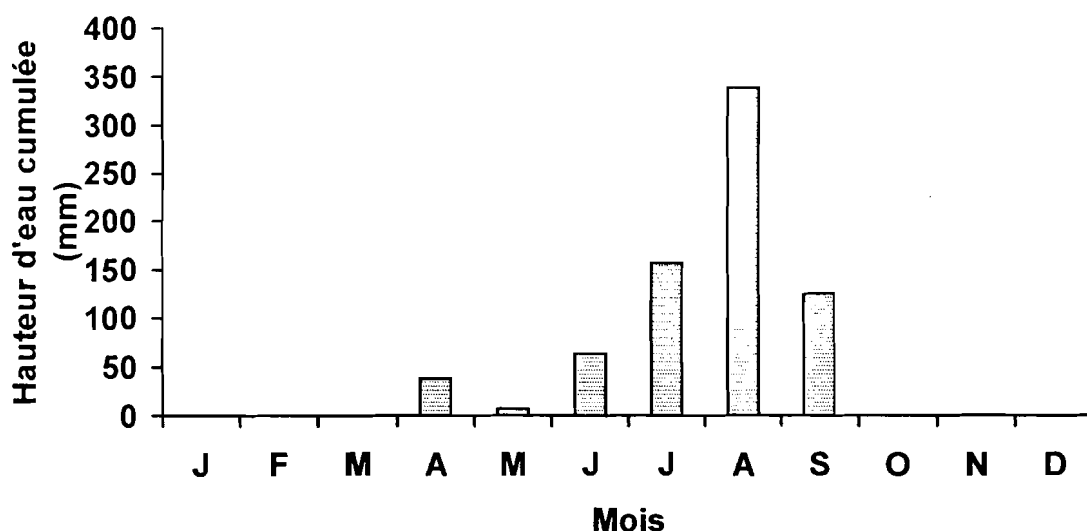


Figure 2 : Evolution mensuelle des hauteurs d'eau cumulées en 2007 dans le site d'étude

La température moyenne annuelle est de 28°C. Dans l'ensemble, les températures subissent beaucoup de variations, d'une part entre le jour et la nuit et d'autre part en fonction des saisons. La figure (3) donne l'évolution mensuelle des températures moyennes sous abri et à 20 cm de profondeur dans le sol.

❖ La végétation

La végétation naturelle est fortement dégradée en raison de la pression démographique. La physionomie du paysage présente l'allure d'un paysage agricole dominé par quelques essences arborées protégées tels que *Vitellaria paradoxa*, *Parkia biglobosa*, *Acacia albida*, *Lannea microcarpa*, *Tamarindus indica*, *Adansonia digitata*. La strate herbacée est composée d'*Andropogon gayanus*, de *Pennisetum sp*, de *Crotaria retusa* et aussi de certaines espèces adventices comme le *Striga senegalensis*.

❖ Sol

Selon la classification des sols utilisée par Jenny (1964) cité par Bonzi (2002), les sols de Saria font partie des sols ferrugineux, lessivés ou non. La caractérisation des argiles par Sedogo (1981) montre une prédominance de la kaolinite et la présence d'illite.

La texture (tableau 2) est sablo-limoncuse en surface et argilo-sableuse en profondeur (Sedogo ; 1993).

Tableau 2 : Composition texturale des horizons 0-20 cm et 20-40 cm des sols de Saria

Horizons	Argiles (%)	Limons fins (%)	Limons grossiers (%)	Sables fins (%)	Sables grossiers (%)
0-20 cm	9	5	22	33	31
20-40 cm	28	5	19	24	24

Source : Sedogo (1993)

Les caractéristiques physico-chimiques des sols de Saria (Bonzi, 2002) pour l’horizon 0-20 cm sont données dans le tableau (3)

Tableau 3 : Caractéristiques physico-chimiques des sols de Saria pour l’horizon 0-20 cm

C total (%)	N total (%)	C/N	K échangeable (cmol.kg ⁻¹)	SBE (cmol.kg ⁻¹)	CEC (cmol.kg ⁻¹)
0,3-0,5	0,3-0,5	10-13	0,5-0,1	1,4-1,6	2-4

Source : Bonzi (2002)

De nombreuses études réalisées sur les sols de la station de Saria révèlent qu’ils sont tous carencés en phosphore et présentent dans certaines conditions des déficiences en azote et en potassium (Sedogo, 1981, Guira, 1988). Ils s’acidifient rapidement sous les effets de la culture continue et des apports essentiellement d’engrais chimique. Les échantillons de sol soumis aux tests biologiques dans le cadre de cette étude ont été prélevés sur l’essai entretien de la fertilité.

2.2. Matériel

2.2.1. Eaux de ruissellement

Les échantillons d’eau de ruissellement ont été collectés pour doser les pesticides transportés par les eaux de pluies après leur emploi. Leur toxicité est également testée.

2.2.2. Sol

Les échantillons de sol soumis aux différentes analyses au laboratoire, ont été prélevés à l’horizon 0-20 cm sur le site d’étude.

2.2.3. Pesticides utilisés

Les pesticides utilisés ont été obtenus au niveau d'un point de vente de la SAPHYTO. Il s'agit du Deltacal 12,5 EC ; du Calfos 500 EC ; du Rocky 386 EC et du Capt 88 EC. Le tableau (4) donne quelques caractéristiques des molécules utilisées.

Tableau 4 : Quelques caractéristiques des molécules utilisées

Deltaméthrine	Famille : Pyréthrinoïde
	Formule brute : $C_{22}H_{19}Br_2NO_3$
	Poids moléculaire : 505,2 g / mol
	Solubilité (eau) : 0,2 µg / l à 25°C
	DT ₅₀ : 25 jours (pH ₉ , 25°C)
Profénofos	Famille : Organophosphoré
	Formule brute : $C_{11}H_{15}BrClO_3P$
	Poids moléculaire : 373,6 g / mol
	Solubilité (eau) : 28 mg / l à 25°C
	DT ₅₀ : 93 jours à 20°C au pH ₅
Cyperméthrine	Famille : Pyréthrinoïde
	Formule brute : $C_{22}H_{19}Cl_2NO_3$
	Poids moléculaire : 416,3 g / mol
	Solubilité (eau) : 0,004 mg / l au pH ₇
	DT ₅₀ : 18 jours à 25°C au pH ₉
Endosulfan	Famille : Organochloré
	Formule brute : $C_9H_6Cl_6O_3S$
	Poids moléculaire : 406,9 g / mol
	Solubilité (eau) : α-endo. = 0.32 mg / l à 22°C
	B-endo. = 0, 33 mg / l à 22°C
Acétamipride	DT ₅₀ : 5 à 8 mois (au champ)
	Famille : Néonicotinoïdes
	Formule brute : $C_{10}H_{11}ClN_4$
	Poids moléculaire : 222,7 g / mol
	Solubilité (eau) : 4200 mg / l à 25°C
	DT ₅₀ : 1-2 jours

2.2.4. Les œufs de crevette (*Artemia salina*)

Les œufs de crevette ont été utilisés pour obtenir des larves qui ont servi aux tests de toxicité des échantillons d'eau collectés. Ces œufs ont été obtenus dans le commerce.

2.3. Méthodes

2.3.1. Dispositif expérimental

Les expérimentations sont conduites en station sur le dispositif « Essai entretien de la fertilité ». Ce dispositif (annexe 1) a été mis en place depuis 1960 avec pour objectif d'étudier les effets des différentes fumures minérales et organo-minérales et des successions culturales sur les cultures et la fertilité des sols. L'essai est réalisé en six (06) répétitions de 60 m x 25,20 m avec six (06) parcelles principales de 10 m x 25,20 m chacune. Chaque parcelle principale est subdivisée en trois (03) parcelles secondaires contiguës de 10 m x 8,40 m chacune.

- **Trois systèmes de culture sont mis en oeuvre :**

Série a : sorgho continu

Série b : rotation sorgho – cotonnier

Série c : rotation sorgho – légumineuse (arachide jusqu'en 1973 et niébé depuis cette date)

- **Six traitements de fertilisation sont appliqués :**

T: Témoin absolu ;

fmr : fumure minérale faible, avec recyclage des résidus des pailles de sorgho ;

fmo : fumure minérale faible avec exportation des pailles de sorgho + apport de fumier 5 T/ha tous les 2 ans (année où tout l'essai est en sorgho) ;

fm : fumure minérale faible seule avec exportation des pailles de sorgho ;

FMO : fumure minérale forte avec exportation des pailles de sorgho + apport de fumier 40 T/ha tous les 2 ans (année où tout l'essai est en sorgho) ;

FM : fumure minérale forte seule avec exportation des pailles de sorgho.

Il est à noter que la présente étude correspond à l'année de non apport du fumier. C'est l'arrière effet du fumier qui est observé.

- **Types d'engrais apportés**

Il y a eu apport en 1978, de chaux agricole de manière uniforme sur toutes les parcelles à raison de 1,5 T/ha avant le labour de préparation. En 1988, un autre apport de chaux agricole (74 % CaO) est effectué toujours sur toutes les parcelles à raison de 1,5 T/ha.

- ***Sur les parcelles en sorgho***

Les traitements fmr, fm et fmo reçoivent chacun 100 kg de mélange coton (14-23-14-6S-1B) au semis et 50 kg d'urée au début de la montaison. Quant aux traitements FMO et FM, ils reçoivent chacun 100 kg de mélange coton, 50 kg de chlorture de potassium (kcl) au semis, 50 kg d'urée au début de la montaison et 50 kg d'urée à la floraison (60 jour après semis)

- ***Sur les parcelles en cotonnier***

Les traitements fmr, fm et fmo reçoivent chacun 150 kg de mélange coton au semis. Les traitements FMO et FM reçoivent chacun 200 kg de mélange coton, 50 kg de kcl au semis et 100 kg d'urée 40 jours après semis.

- ***Sur les parcelles en légumineuses (niébé)***

Les traitements fmr, fm et fmo reçoivent chacun 100 kg mélange coton au semis. Les traitements FMO et FM reçoivent chacun 100 kg de mélange coton au semis et 50 kg de kcl au semis.

- **Les applications des pesticides**

Les dates d'application des pesticides (tableau 5) ont été fixées en fonction du programme de traitement insecticide du cotonnier au Burkina Faso.

Le pesticide utilisé pour la protection du niébé est le Deltacal 12,5 EC de matière active la deltaméthrine (12,5 g / ha). Deux applications à la dose agronomique de 0,0042 mg / kg ont été faites selon les dates suivantes :

- 1^{er} traitement : 27 août 2007
- 2^{ème} traitement : 18 septembre 2007.

Il est à noter que les années antérieures (10 ans minimum), seule la deltaméthrine était utilisée pour protéger le cotonnier et le niébé

Tableau 5 : Date d'application des pesticides sur le cotonnier selon les matières actives et le rang de traitements.

Fenêtre	Rang des traitements	Nom commercial	Matière (s) active (s) appliquée (s) (en g / ha)	Dose agronomique (mg / kg)	Date d'application
1 ^{re} fenêtre	1 ^{er} traitement	Calfos 500 EC	Profenofos (500)	0,166	28 août 2007 (30 j.a.s)
	2 ^{ème} traitement		Profenofos (500)	0,167	18 septembre 2007
2 ^e fenêtre	3 ^{ème} traitement	Rocky 386 EC	Endosulfan (350)	0,117	02 octobre 2007
			Cyperméthrine (36)	0,012	
	4 ^{ème} traitement		Endosulfan (350)	0,117	16 octobre 2007
			Cyperméthrine (36)	0,012	
3 ^e fenêtre	5 ^{ème} traitement	CAPT 88 EC	Acetamipride (8)	0,003	30 octobre 2007
			Cyperméthrine (36)	0,017	
	6 ^{ème} traitement		Acetamipride (8)	0,003	Non réalisé
			Cyperméthrine (36)	0,012	

2.3.2. Echantillonnage des sols et des eaux

2.3.2.1. Echantillonnage des sols

Les échantillons de sol sont prélevés dans l’horizon 0-20 cm. Trois échantillons élémentaires de sol sont prélevés sur chaque parcelle pour constituer un échantillon composite. Ces échantillons sont immédiatement conservés au congélateur à -20 °C avant toute analyse.

L’échantillonnage est effectué selon le chronogramme suivant :

T₀ : 1^{er} prélèvement avant le début des applications d’insecticides. On obtient ainsi les échantillons de base ou de référence (14 Août 2007);

T₅₀ : 2^{ème} prélèvement, 50 jours après le 1^{er} prélèvement (03 Octobre 2007) ;

T₁₀₀ : 3^{ème} prélèvement, 100 jours après le 1^{er} prélèvement (22 Novembre 2007). Ce prélèvement est intervenu après toutes les applications pesticides.

Les parcelles qui sont retenues pour les prélèvements de sol correspondent aux traitements T, fm, fmo et FMO de la série a (culture continue de sorgho), de la série b (rotation sorgho-cotonnier) et de la série c (rotation sorgho-niébé) en trois répétitions.

Les traitements de la série a sont considérés comme des traitements sans pesticides et les témoins (T) sont sans apport de fumure mais avec apport de pesticides pour les séries b et c.

2.3.2.2. *Echantillonnage des eaux*

Le dispositif adopté pour collecter les eaux de ruissellement est en Photo 1. Un cadre métallique de 130 cm de long, 80 cm de large et 15 cm de hauteur est enfoncé dans le sol à une profondeur de 5 cm. Ce cadre est relié à un flacon en plastique de 20 litres et fixé au sol par l'intermédiaire d'un tuyau pour jardin.

Les eaux de la première pluie après chaque traitement pesticide sont collectées et immédiatement conservées au congélateur à - 20 °C jusqu'à l'analyse.

Une seule collecte a été réalisée le 18 septembre 2007 après le deuxième traitement. Les collectes ne se sont pas poursuivies pour des raisons de pluies qui ont connu un arrêt brusque. Le dispositif de collecte d'eau est installé sur 12 parcelles correspondant à 3 traitements en 3 répétitions pour la rotation sorgho-coton et 3 trois traitements pour la rotation sorgho-sorgho sans répétition.



Photo 1: Dispositif de collecte d'eau de ruissellement

2.4. Analyses au laboratoire

2.4.1. Méthodes de caractérisation physico-chimique des sols ↗

- 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.

2.4.2. Etude de l'impact des résidus de pesticides et de différents types de fumures sur l'activité respiratoire des sols ↗

Cent (100) grammes de sol, tamisés à 2 mm et humidifiés aux 2/3 de la capacité maximale de rétention, sont introduits dans un bocal hermétiquement fermé. Deux flacons, l'un contenant de la soude (NaOH 0,1 N) pour piéger le CO₂ dégagé et l'autre contenant de l'eau distillée pour maintenir l'humidité constante, sont disposés dans chaque bocal. L'ensemble est placé dans une étuve réglée à 28°C pendant 14 jours. La quantité de CO₂ dégagée est mesurée quotidiennement durant les 8 premiers jours d'incubation, puis tous les deux jours jusqu'au 14^{ème} jour. Le CO₂ dégagé au cours de l'étude est piégé par la soude (NaOH ,0.1 N) et précipité sous forme de carbonate de sodium par le chlorure de baryum 3 %. La soude (NaOH) en excès est neutralisée par l'acide chlorhydrique (HCl 0,1 N) en présence de phénolphthaléine. La quantité de CO₂ dégagée par jour est exprimée en mg /100g de sol sec et donnée par la formule suivante :

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

Avec : - $V_{\text{HCl}} (\text{blancs})$ = volume moyen d'acide chlorhydrique pour le témoin

- $V_{\text{HCl}} (\text{traitement})$ = volume moyen d'acide chlorhydrique pour le traitement

- le coefficient 2,2 signifie qu'à 2,2 mg de CO₂ correspond 1 ml de HCl (0,1N) (Segda, 2006).

2.4.3. Etude de l'impact des résidus de pesticides et de différents types de fumures sur la biomasse microbienne des sols

La méthode par fumigation-incubation est utilisée. Dans un premier temps les échantillons de sol sont 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 sont incubés à 28°C pendant 14 jours et le CO₂ dégagé est mesurée. La biomasse microbienne (BM) est estimée à l'aide de la formule utilisée par Chaussod *et al.*, (1986) et Fardoux *et al.*, (2000) ; Assimi *et al.* (2000b) et Lompo D. (2007):

BM (mg) = (F₀₋₇ – F₇₋₁₄)/ Kc où :

F₀₋₇ est le CO₂ dégagé entre 0 et 7 jours par les échantillons fumigués ;

F₇₋₁₄ le CO₂ dégagé entre 7 et 14 jours par les échantillons fumigués ;

Kc est égale 0,41 coefficient proposé par Nicolardot (1984) et utilisé par Assimi et al. (2000a) et Lompo D. (2007).

2.4.4. Détermination de la respiration spécifique (RS) ou quotient respiratoire

La respiration spécifique est la quantité de carbone minéralisé par g de C-biomasse microbienne et par jour. Elle a été déterminée en utilisant la formule suivante (Chaussod *et al.*, 1992) :

RS = Cm (14)/ (14.C-BM) où :

- Cm (14) est le carbone minéralisé pendant 14 jours d'incubation

- C-BM est la biomasse microbienne

- 14 est le nombre de jours d'incubation

2.4.5. Etude de la toxicité des eaux de ruissellement

La méthode d'analyse de la toxicité des substances, utilisée par Solis *et al.* (1993) et Gamaniél *et al.* (1995) a été adoptée. Elle consiste à éclore des œufs de crevette (*Artemia salina*) dans de l'eau de mer ou dans une solution de NaCl (38 g dans 1l d'eau distillée) contenue dans un erlenmeyer. On laisse agiter doucement en présence de lumière (garder l'erlenmeyer ouvert) pendant 48 heures. Les larves issues de l'éclosion sont transvasées dans une nouvelle solution de NaCl (même concentration).

Cent (100) microlitres de la solution de NaCl contenant les larves sont prélevés à l'aide d'une micropipette préréglée de sorte à avoir 10 à 15 larves par prélèvement. Ces larves sont introduites dans un puits d'une plaque (de 96 puits) et le volume est complété à 200 µl avec une concentration de l'échantillon à analyser. Vingt et quatre (24) heures après incubation à la température ambiante, on procède au comptage des larves mortes à l'aide d'un microscope optique. Le ratio larves mortes sur larves totales est déterminé pour chaque puits et on calcule la moyenne des 3 répétitions pour chaque concentration de l'échantillon. La moyenne obtenue avec le contrôle est soustraite de celles obtenues avec les différentes concentrations de l'échantillon. Les échantillons d'eau collectée sur les parcelles (T et fmo) des séries sorgho-sorgho et sorgho-coton et le profénofos (standard) ont été analysés selon le dispositif suivant en triplicata :

C0 (contrôle) : 0 µl de l'échantillon + 100 µl de NaCl ;

C1 : 80 µl de l'échantillon + 20 µl de NaCl ;

C2 : 90 µl de l'échantillon + 10 µl de NaCl ;

C3 : 100 µl de l'échantillon + 00 µl de NaCl.

La solution du profénofos est préparée en mettant 1 μ l de la formulation commerciale (500 g / l) dans 10 ml d'eau distillée. Cela donne une concentration de 0,05 g / l de profénofos.

2.4.6. Traitement statistique des données

Les données recueillies ont été saisies à l'aide du logiciel Excel. Une analyse de variance (ANOVA) a été effectuée à l'aide du logiciel XLSTAT 6.1.9 et le test de Newman Keuls a été utilisé pour la comparaison des moyennes.

Chapitre 3 : Résultats et discussion

3.1. Résultats

3.1.1. Effet des modes de gestions de la fumure sur les paramètres chimiques, l'activité respiratoire, la biomasse microbienne et quotient respiratoire des sols

3.1.1.1. Effet sur les paramètres chimiques des sols

- **Rotation sorgho-sorgho :** *Culture combinée de sorgho*

Les résultats (tableau 6) montrent que la fumure organo-minérale forte (FMO) induit des teneurs élevées en carbone, en azote, phosphore et potassium totaux comparativement au témoin (T) sans fumure et aux fumures organo-minérale faible (fmo) et minérale faible (fm) qui ont des teneurs équivalentes. On ne note pas de différences significatives entre les rapports C/N des traitements.

Le pHeau obtenu avec la fumure FMO ($6,75 \pm 0,09$) est significativement supérieurs ($p < 0,05$) à celui obtenu avec le témoin sans fumure ($6,26 \pm 0,30$). Par contre, les pHeau obtenus avec les fumures fmo ($5,72 \pm 0,29$) et fm ($4,97 \pm 0,11$) sont significativement inférieurs à celui du témoin sans fumure. Tout comme le pHeau, la fumure FMO ($5,59 \pm 0,20$) donne un pHKCl significativement élevé par rapport au témoin sans fumure ($4,58 \pm 0,11$) et la fumure fmo ($4,35 \pm 0,30$) dont les pHKCl ne sont pas statistiquement différents. La fumure fm ($3,88 \pm 0,08$) induit le pHKCl le plus faible comparé aux autres traitements.

- **Rotation sorgho-coton :**

Les résultats (tableau 6) montrent que le carbone du traitement FMO ($6,89 \% \pm 0,32$) est significativement plus élevé que celui de la fumure fmo ($2,93 \% \pm 0,50$) qui est plus élevée que celles du témoin sans fumure ($1,74 \% \pm 0,37$) et de la fumure fm ($1,94 \% \pm 0,07$). Les teneurs en carbone du témoin et de fm sont équivalentes. Les teneurs en azote total évoluent dans le même sens que le carbone. On enregistre également avec la fumure FMO une teneur élevée en phosphore total. Elle est suivie dans l'ordre par les fumures fm, fmo et le témoin. Concernant les teneurs en potassium total, les traitements T, fmo et fm (statistiquement équivalents) sont significativement inférieurs au traitement FMO. Les rapports C/N des traitements sont significativement équivalents.

Les pHeau et pHKCl de la fumure FMO sont significativement plus élevés que ceux des autres traitements qui sont similaires.

- **Rotation sorgho-niébé :**

Les résultats, similaires à ceux obtenus au niveau de la rotation sorgho-sorgho, montrent l'effet significatif de la fumure FMO sur les paramètres chimiques. Toutefois, les rapports C/N des différents traitements sont statistiquement équivalents.

Tableau 6 : Effet des modes de gestion de la fumure sur les caractéristiques chimiques des sols.

		T	fmo	fm	FMO	Probabilité	Signification
Sorgho	C (‰)	2,06 ^a ± 0,70	2,67 ^a ± 0,93	2,34 ^a ± 0,31	5,64 ^b ± 0,76	0,001	S
	N _{total} (‰)	0,20 ^a ± 0,09	0,30 ^a ± 0,05	0,25 ^a ± 0,03	0,66 ^b ± 0,05	0,0001	HS
	C/N	9,67 ^a ± 3,02	8,51 ^a ± 1,42	6,25 ^a ± 0,71	8,24 ^a ± 0,80	0,198	NS
	P _{total} (‰)	0,09 ^a ± 0,01	0,10 ^a ± 0,02	0,12 ^a ± 0,01	0,21 ^b ± 0,03	0,000	HS
	K (‰)	0,29 ^a ± 0,09	0,18 ^a ± 0,01	0,22 ^a ± 0,05	0,40 ^b ± 0,04	0,005	S
	pH _{eau}	6,26 ^c ± 0,30	5,72 ^b ± 0,29	4,97 ^a ± 0,11	6,75 ^d ± 0,09	0,0001	HS
	pH _{KCl}	4,58 ^b ± 0,11	4,35 ^b ± 0,30	3,88 ^a ± 0,08	5,59 ^c ± 0,20	0,0001	HS
Coton	C (‰)	1,74 ^a ± 0,37	2,93 ^b ± 0,50	1,94 ^a ± 0,07	6,89 ^c ± 0,32	0,0001	HS
	N _{total} (‰)	0,22 ^a ± 0,03	0,33 ^b ± 0,05	0,20 ^a ± 0,02	0,72 ^c ± 0,03	0,0001	HS
	C/N	7,95 ^a ± 0,79	7,40 ^a ± 0,53	8,78 ^a ± 0,61	8,31 ^a ± 0,11	0,087	NS
	P _{total} (‰)	0,09 ^a ± 0,01	0,11 ^{ab} ± 0,01	0,13 ^b ± 0,01	0,25 ^c ± 0,03	0,0001	HS
	K (‰)	0,19 ^a ± 0,04	0,20 ^a ± 0,01	0,22 ^a ± 0,04	0,41 ^b ± 0,04	0,000	HS
	pH _{eau}	6,12 ^b ± 0,21	5,83 ^b ± 0,43	5,27 ^a ± 0,05	6,28 ^b ± 0,17	0,006	S
	pH _{KCl}	4,58 ^b ± 0,14	4,60 ^b ± 0,42	4,02 ^a ± 0,06	5,39 ^c ± 0,12	0,001	S
Niébé	C (‰)	1,88 ^a ± 0,10	3,10 ^a ± 0,56	2,04 ^a ± 0,28	6,11 ^b ± 1,99	0,004	S
	N _{total} (‰)	0,25 ^a ± 0,03	0,35 ^a ± 0,05	0,27 ^a ± 0,01	0,77 ^b ± 0,15	0,000	HS
	C/N	7,71 ^a ± 0,73	8,91 ^a ± 1,08	8,04 ^a ± 0,83	7,53 ^a ± 1,49	0,451	NS
	P _{total} (‰)	0,08 ^a ± 0,00	0,12 ^a ± 0,03	0,11 ^a ± 0,01	0,24 ^b ± 0,06	0,002	S
	K (‰)	0,18 ^{ab} ± 0,01	0,21 ^b ± 0,01	0,15 ^a ± 0,04	0,43 ^c ± 0,01	0,0001	HS
	pH _{eau}	5,83 ^c ± 0,15	5,41 ^b ± 0,08	4,93 ^a ± 0,03	6,75 ^d ± 0,32	0,0001	HS
	pH _{KCl}	4,35 ^b ± 0,12	4,24 ^b ± 0,11	3,83 ^a ± 0,05	5,75 ^c ± 0,32	0,0001	HS

NB :

T : témoin sans fumure :

fmo : fumure minérale faible avec exportation des pailles de sorgho + apport de fumier 5 T/ha tous les 2 ans (année où tout l'essai est en sorgho) ;

fm : fumure minérale faible seule avec exportation des pailles de sorgho ;

FMO : fumure minérale forte avec exportation des pailles de sorgho + apport de fumier 40 T/ha tous les 2 ans (année où tout l'essai est en sorgho) ;

MO : Matière organique ; N_{total} : Azote total ; P_{total} : Phosphore total ; K : Potassium ;

C/N : Carbone/Azote ; pH : Potentiel hydrogène ; KCl : Chlorure de potassium

NS : Non significatifs (p > 0,05) ; S : Significatif (p < 0,05) ; HS : Hautement significatif (p < 0,01).

3.1.1.2. Effet sur l'activité respiratoire des sols

Les résultats montrent un effet significatif des amendements sur l'activité biologique des sols (figure 4). En effet, la production cumulée de CO₂ la plus élevée est enregistrée avec la fumure organo-minérale forte (FMO) quelle que soit la culture (tableau 7).

- Prélèvement avant l'application des pesticides et de la fumure ? (T0) :

Les activités respiratoires des parcelles témoins (T) et des parcelles fm ne montrent pas de différences significatives quelque soit le type de culture (tableau 7). Les activités respiratoires des parcelles témoins (T) et fm sont équivalentes à celle du traitement fmo au niveau du sorgho et du coton. Au niveau du niébé, l'activité respiratoire de la fumure fmo (20,97 mg C / 100g de sol) est significativement supérieure à celles du témoin (13,93 mg C / 100g de sol) et de la fumure fm (11,26 mg C / 100g de sol).

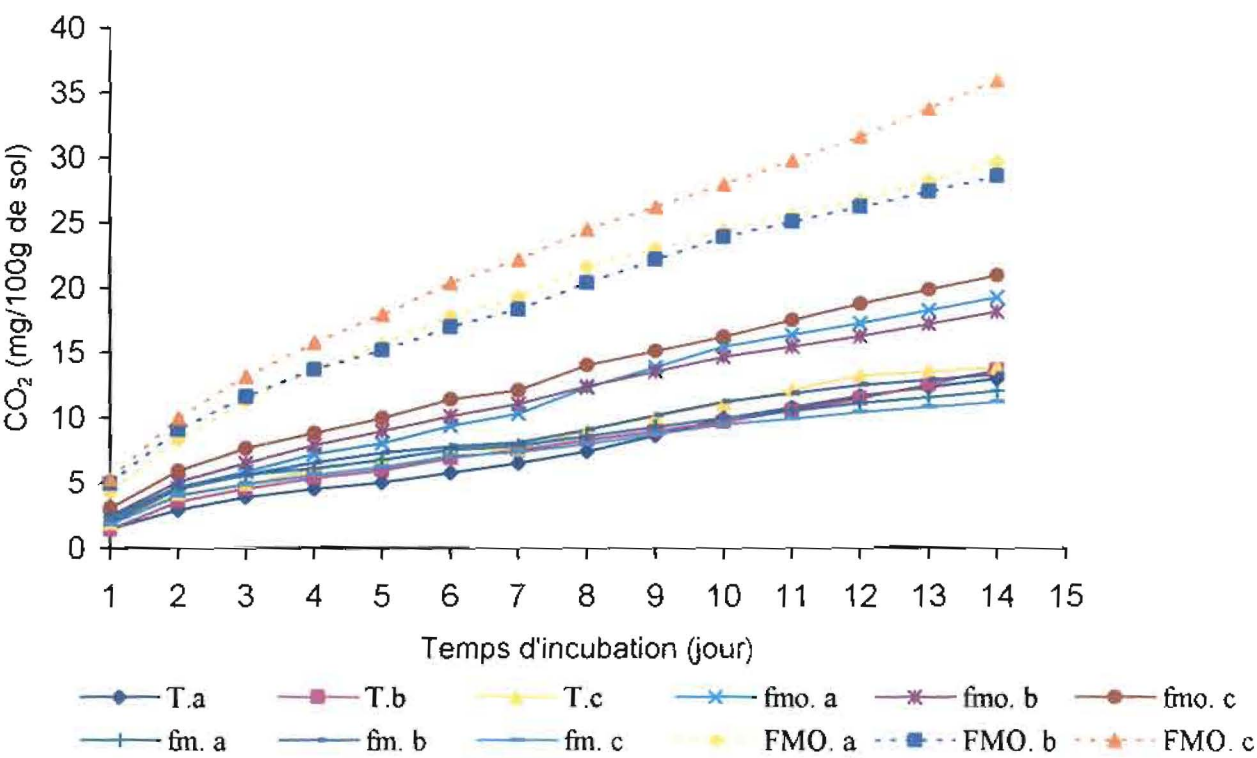
- Prélèvement 50 jours après le premier prélèvement (T50) :

Le témoin et la fumure fm ont des activités respiratoires équivalentes et significativement inférieures à celles des fumures FMO et fmo pour toutes les cultures. Pour toutes les cultures, La fumure fmo donne une activité respiratoire intermédiaire à l'activité respiratoire de la fumure FMO et à celle du témoin.

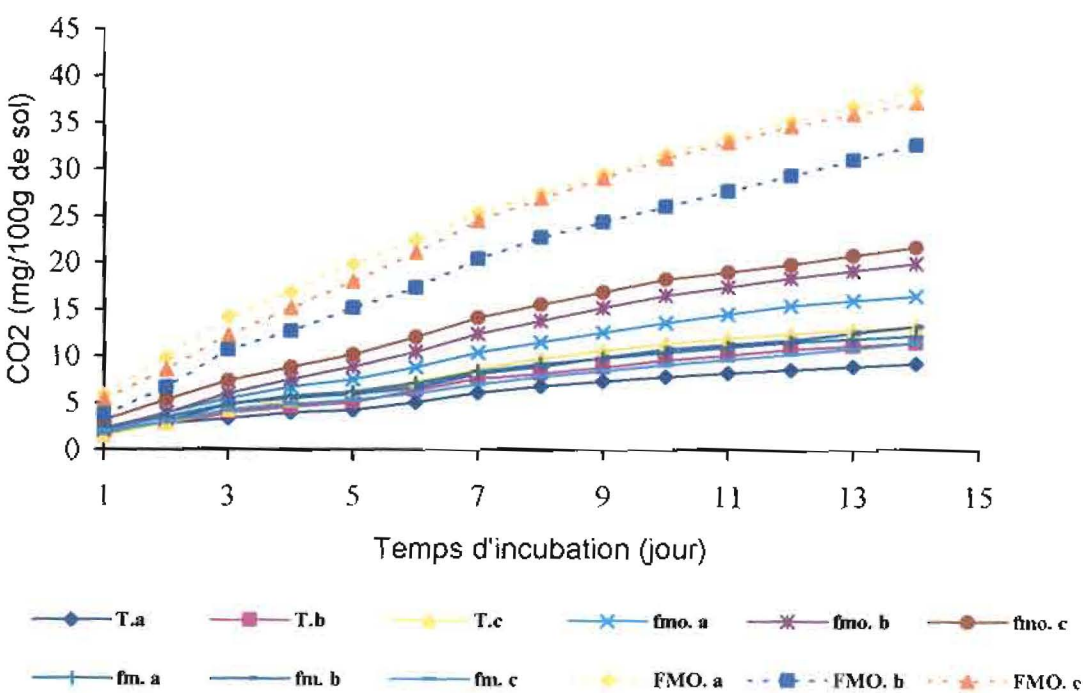
- Prélèvement 100 jours après le premier prélèvement (T100) :

Les résultats sont similaires à ceux obtenus au point de prélèvement T50 pour les parcelles de coton et de niébé. Toutefois, avec les parcelles de sorgho, le traitement fmo (17,67 mg C / 100g de sol) a une activité respiratoire statistiquement identique à l'activité respiratoire du traitement T (13,31 mg C / 100g de sol), et à celle du traitement fm (13,42 mg C / 100g de sol).

4a. Temps T₀ (avant tout traitement pesticide)



4b. Temps T₅₀ (50 jours après le 1^{er} prélèvement)



4c. Temps T₁₀₀ (100 jours après le 1^{er} prélèvement)

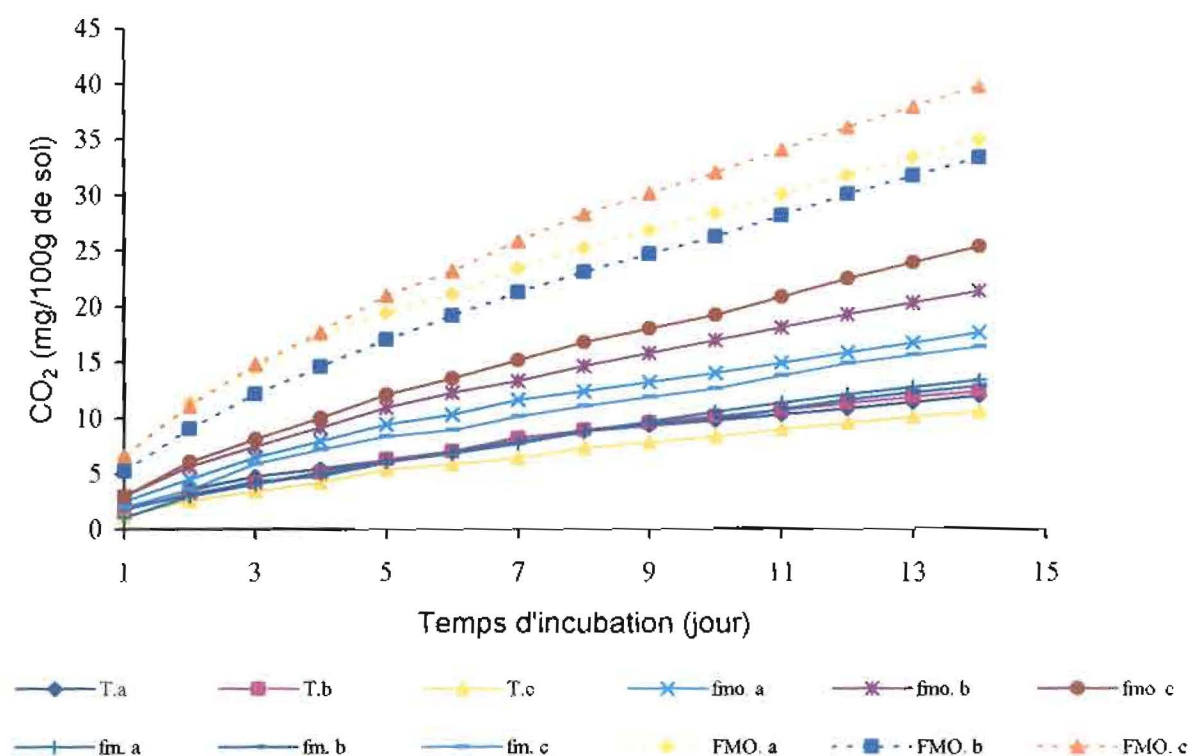


Figure 4 : Production cumulée de CO₂ dégagé en fonction des traitements et du temps de prélèvement (chaque point est la moyenne de 3 répétitions).

NB : T : témoin sans fumure ;

fmo : fumure minérale faible avec exportation des pailles de sorgho + apport de fumier 5 T/ha tous les 2 ans (année où tout l'essai est en sorgho) ;

fm : fumure minérale faible seule avec exportation des pailles de sorgho ;

FMO : fumure minérale forte avec exportation des pailles de sorgho + apport de fumier 40 T/ha tous les 2 ans (année où tout l'essai est en sorgho) ;

Série a : rotation sorgho-sorgho (témoin sans pesticides) ; Série b : rotation sorgho-coton (avec application de pesticides) ; Série c : rotation sorgho-niébé (avec application pesticides).

Tableau 7 : Effet des modes de gestions de la fumure sur le dégagement cumulé de CO₂ (en mg C / 100g de sol) après 14 jours d'incubation des sols.

	Temps (T0)			Temps (T50)			Temps (T100)		
	Sorgho	Coton	Niébé	Sorgho	Coton	Niébé	Sorgho	Coton	Niébé
T	13,05 ^a ± 7,17	13,71 ^a ± 2,52	13,93 ^a ± 1,29	9,27 ^a ± 1,67	11,48 ^a ± 2,56	13,31 ^a ± 2,49	11,99 ^a ± 3,08	12,39 ^a ± 4,09	10,63 ^a ± 0,94
fmo	19,29 ^a ± 2,49	18,19 ^a ± 1,66	20,97 ^b ± 2,04	16,39 ^b ± 5,26	19,87 ^b ± 3,54	21,63 ^b ± 1,78	17,67 ^a ± 1,85	21,38 ^b ± 1,66	25,37 ^b ± 4,74
fm	12,10 ^a ± 1,75	13,38 ^a ± 3,73	11,26 ^a ± 1,71	12,21 ^a ± 2,19	13,20 ^a ± 2,43	11,48 ^a ± 1,94	13,42 ^a ± 3,45	12,87 ^a ± 3,43	16,39 ^a ± 3,16
FMO	29,70 ^b ± 2,92	28,60 ^b ± 3,69	35,97 ^c ± 1,94	38,35 ^c ± 4,35	32,49 ^c ± 1,87	37,07 ^c ± 3,92	35,05 ^b ± 3,45	33,40 ^c ± 2,81	39,82 ^c ± 7,16
Probabilité	0,003	0,001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,000	0,000
Signification	HS	HS	HS	HS	HS	HS	HS	HS	HS

NB : T : témoin sans fumure ;

fmo : fumure minérale faible avec exportation des pailles de sorgho + apport de fumier 5 T/ha tous les 2 ans (année où tout l'essai est en sorgho) ;

fm : fumure minérale faible seule avec exportation des pailles de sorgho ;

FMO : fumure minérale forte avec exportation des pailles de sorgho + apport de fumier 40 T/ha tous les 2 ans (année où tout l'essai est en sorgho) ;

Série a : rotation sorgho-sorgho (témoin sans pesticides) ; **Série b** : rotation sorgho-coton (avec application de pesticides) ; **Série c** : rotation sorgho-niébé (avec application pesticides).

NS : Non significatifs ($p > 0,05$) ; S : Significatif ($p < 0,05$) ; HS : Hautement significatif ($p < 0,01$).

3.1.1.3. Effet sur la biomasse microbienne et le quotient respiratoire des sols

Les résultats (tableau 8) montrent qu'il n'y pas d'effet significatif des fumures sur la biomasse microbienne des échantillons de sol prélevés aux temps T0 et T50 quelle que soit la culture. Cependant, au temps T100, on enregistre pour les trois cultures, la quantité de carbone de la biomasse microbienne la plus élevée avec la fumure. Pour les parcelles de sorgho, les quantités de carbone de la biomasse microbienne du témoin (16,28 mg C / 100g de sol), de la fumure fmo (19,68 mg C / 100g de sol) et de la fumure fm (9,66 mg C / 100g de sol) sont équivalentes ($p < 0,05$) et significativement plus faibles que celle de la fumure FMO (38,99 mg C / 100g de sol) au niveau du sorgho. Concernant les parcelles de coton et de niébé, la fumure fmo présente des valeurs intermédiaires entre celles obtenues avec le traitement FMO et les traitements témoin et fm.

Concernant l'effet des fumures sur le qCO_2 , les analyses ne révèlent aucune différence significative au seuil de 5 % entre les traitements T, fmo, fm et FMO pour les trois cultures et aux points de prélèvement d'échantillons de sol T0 et T50 (tableau 9). Au point de prélèvement (T100), on note la même tendance entre les traitements au niveau du coton et du sorgho. Pour le sorgho et au point (T100), une augmentation significative de qCO_2 est enregistrée avec la fumure fm (0,07 mg C-CO₂ g⁻¹ C-biom.Microb. J⁻¹ de sol) contre 0,03 ; 0,04 et 0,04 mg C-CO₂ g⁻¹ C-biom.Microb. J⁻¹ de sol respectivement pour les traitements témoin, fmo et FMO qui sont équivalentes statistiquement.

Tableau 8 : Effet des modes de gestion de la fumure sur la biomasse microbienne des sols (en mg C / 100g de sol).

	Temps (T0)			Temps (T50)			Temps (T100)		
	Sorgho	Coton	Niébé	Sorgho	Coton	Niébé	Sorgho	Coton	Niébé
T	11.75 ^a ± 15,33	12,28 ^a ± 11,47	6,02 ^a ± 7,68	2,86 ^a ± 2,65	5,72 ^a ± 6,29	2,86 ^a ± 0,62	16,28 ^a ± 10,89	5,90 ^a ± 2,65	8,76 ^a ± 4,26
fmo	2.98 ^a ± 3,42	19,50 ^a ± 16,29	23,01 ^a ± 13,32	2,33 ^a ± 1,64	14,49 ^a ± 19,98	3,22 ^a ± 1,93	19,68 ^a ± 12,86	6,50 ^a ± 3,94	13,77 ^a ± 9,13
fm	26.11 ^a ± 23,90	6.62 ^a ± 2,65	4,29 ^a ± 2,17	5,55 ^a ± 1,88	4,83 ^a ± 1,42	3,76 ^a ± 2,46	9,66 ^a ± 2,96	16,10 ^b ± 3,57	20,21 ^a ± 5,58
FMO	12.70 ^a ± 10,77	10.73 ^a ± 4,56	17,71 ^a ± 4,69	5,90 ^a ± 0,93	10,73 ^a ± 7,04	7,87 ^a ± 4,87	38,99 ^b ± 3,77	30,95 ^c ± 5,21	42,39 ^b ± 16,92
Probabilité	0,379	0,521	0,060	0,106	0,693	0,206	0,017	0,000	0,017
Signification	NS	NS	NS	NS	NS	NS	S	HS	S

NB : T : témoin sans fumure ;

fmo : fumure minérale faible avec exportation des pailles de sorgho + apport de fumier 5 T/ha tous les 2 ans (année où tout l'essai est en sorgho) ;

fm : fumure minérale faible seule avec exportation des pailles de sorgho ;

FMO : fumure minérale forte avec exportation des pailles de sorgho + apport de fumier 40 T/ha tous les 2 ans (année où tout l'essai est en sorgho) ;

Série a : rotation sorgho-sorgho (témoin sans pesticides) ; **Série b** : rotation sorgho-coton (avec application de pesticides) ; **Série c** : rotation sorgho-niébé (avec application pesticides).

NS : Non significatifs ($p > 0,05$) ; **S** : Significatif ($p < 0,05$) ; **HS** : Hautement significatif ($p < 0,01$).

Tableau 9 : Effet des modes de gestion de la fumure sur le quotient respiratoire des sols (en mg C-CO₂ g⁻¹ C-biom.Microb. J⁻¹ de sol).

	Temps (T0)			Temps (T50)			Temps (T100)		
	Sorgho	Coton	Niébé	Sorgho	Coton	Niébé	Sorgho	Coton	Niébé
T	0.15 ^a ± 0.18	0.04 ^a ± 0.02	0.15 ^a ± 0.09	0.13 ^a ± 0.03	0.12 ^a ± 0.12	0.14 ^a ± 0.03	0.03 ^a ± 0.02	0.06 ^a ± 0.04	0.06 ^a ± 0.03
fmo	0.76 ^a ± 1.06	0.16 ^a ± 0.23	0.04 ^a ± 0.01	0.31 ^a ± 0.19	0.13 ^a ± 0.08	0.23 ^a ± 0.11	0.04 ^a ± 0.00	0.17 ^a ± 0.16	0.09 ^a ± 0.06
fm	0.29 ^a ± 0.43	0.07 ^a ± 0.05	0.11 ^a ± 0.09	0.12 ^a ± 0.07	0.11 ^a ± 0.06	0.24 ^a ± 0.20	0.07 ^b ± 0.00	0.04 ^a ± 0.02	0.04 ^a ± 0.02
FMO	0.44 ^a ± 0.65	0.11 ^a ± 0.05	0.07 ^a ± 0.02	0.19 ^a ± 0.04	0.13 ^a ± 0.10	0.25 ^a ± 0.25	0.04 ^a ± 0.00	0.04 ^a ± 0.01	0.05 ^a ± 0.03
Probabilité	0.718	0.689	0.275	0.164	0.992	0.853	0.007	0.277	0.429
Signification	NS	NS	NS	NS	NS	NS	S	NS	NS

NB : T : témoin sans fumure ;

fmo : fumure minérale faible avec exportation des pailles de sorgho + apport de fumier 5 T/ha tous les 2 ans (année où tout l'essai est en sorgho) ;

fm : fumure minérale faible seule avec exportation des pailles de sorgho ;

FMO : fumure minérale forte avec exportation des pailles de sorgho + apport de fumier 40 T/ha tous les 2 ans (année où tout l'essai est en sorgho) ;

Série a : rotation sorgho-sorgho (témoin sans pesticides) ; **Série b** : rotation sorgho-coton (avec application de pesticides) ; **Série c** : rotation sorgho-niébé (avec application pesticides).

NS : Non significatifs (p > 0,05) ; S : Significatif (p < 0,05)

3.1.2. Effet des pesticides sur l'activité respiratoire, la biomasse microbienne et le quotient respiratoire des sols

3.1.2.1. Effet sur l'activité respiratoire

Après 14 jours d'incubation, aucun impact significatif ($p < 0,05$) n'a été noté avec les sols ayant subi les traitements pesticides comparés aux sols non traités quelque soit la période de prélèvement (tableau 10).

Avant l'application des pesticides (T0), on n'observe aucune différence significative entre les parcelles de sorgho, de coton et de niébé, excepté les parcelles FMO du niébé qui induisent une production cumulée de CO_2 significativement plus élevée (35,97 mg C / 100g de sol) comparée aux parcelles FMO du sorgho (29,70 mg C / 100g de sol) et du coton (28,60 mg C / 100g de sol).

Le test de Newman Keuls ($p < 0,05$) n'a pas révélé de différence significative entre les parcelles de sorgho (non traitées au pesticide), les parcelles de niébé (traitées avec la deltaméthrine) et les parcelles de coton (traitées avec le profénos + endosulfan + antamipride) après 14 jours d'incubation (tableau 10).

3.1.2.2. Effet sur la biomasse microbienne et le quotient respiratoire

Les mesures de la biomasse microbienne (tableau 11) montrent que ni les types de cultures ni les traitements pesticides ne présentent aucun impact significatif sur la biomasse microbienne des sols. Les biomasses microbiennes des sols des parcelles de sorgho (témoin sans pesticide) sont équivalentes à celles des sols des parcelles de coton (traitées avec pesticides) et à celles des sols des parcelles de niébé (traitées avec pesticides). Les résultats (tableau 12) montrent qu'il n'y a pas d'effet significatif des pesticides sur le quotient respiratoire ($q\text{CO}_2$) des sols quelle que soit la période de prélèvement des échantillons de sol.

Tableau 10 : Effet de l'application des pesticides sur le dégagement cumulé de CO₂ (en mg C / 100g de sol) après 14 jours d'incubation des sols

	Temps (T0)				Temps (T50)				Temps (T100)			
	T	fmo	fm	FMO	T	fmo	fm	FMO	T	fmo	fm	FMO
Sorgho	13,05 ^a	19,29 ^a	12,10 ^a	29,70 ^a	9,27 ^a	16,39 ^a	12,21 ^a	38,35 ^a	11,99 ^a	17,67 ^a	13,42 ^a	35,05 ^a
	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
	7,17	2,49	1,75	2,92	1,67	5,26	2,19	4,35	3,08	1,85	3,45	3,98
Coton	13,71 ^a	18,19 ^a	13,38 ^a	28,60 ^a	11,48 ^a	19,87 ^a	13,20 ^a	32,49 ^a	12,39 ^a	21,38 ^a	12,87 ^a	33,40 ^a ±
	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	2,81
	2,52	1,66	3,73	3,69	2,56	3,54	2,43	1,87	4,09	1,66	3,43	
Niébé	13,93 ^a	20,97 ^a	11,26 ^a	35,97 ^b	13,31 ^a	21,63 ^a	11,48 ^a	37,07 ^a	10,63 ^a	25,37 ^a	16,39 ^a	39,82 ^a
	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
	1,29	2,04	1,71	1,94	2,49	1,78	1,94	3,92	0,94	4,74	3,16	7,16
Probabilité	0,969	0,328	0,620	0,044	0,175	0,301	0,649	0,185	0,764	0,060	0,435	0,332
Signification	NS	NS	NS	S	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

NB : T : témoin sans fumure ;

fmo : fumure minérale faible avec exportation des pailles de sorgho + apport de fumier 5 T/ha tous les 2 ans (année où tout l'essai est en sorgho) ;

fm : fumure minérale faible seule avec exportation des pailles de sorgho ;

FMO : fumure minérale forte avec exportation des pailles de sorgho + apport de fumier 40 T/ha tous les 2 ans (année où tout l'essai est en sorgho) ;

NS : Non significatifs ($p > 0,05$) ; **S** : Significatif ($p < 0,05$).

Temps T₀ : avant tout traitement pesticide ;

Temps T₅₀ : 50 jours après le 1^{er} prélèvement ;

Temps T₁₀₀ : 100 jours après le 1^{er} prélèvement ;

Chaque valeur est la moyenne de trois répétitions et les valeurs affectées d'une même lettre dans une même colonne ne sont pas significativement différentes.

Tableau 11 : Effet de l'application des pesticides sur la biomasse microbienne des sols (en mg C / 100 g de sol).

	Temps (T0)				Temps (T50)				Temps (T100)			
	T	fmo	fm	FMO	T	fmo	fm	FMO	T	fmo	fm	FMO
Sorgho	16,99 ^a	1,07 ^a	26,11 ^a	12,70 ^a	2,88 ^a	2,33 ^a	5,55 ^a	5,90 ^a	16,28 ^a	19,68 ^a	9,66 ^a	38,99 ^a
	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
	12,34	0,89	23,90	10,77	2,65	1,64	1,88	0,93	10,89	12,86	2,96	3,77
Coton	16,37 ^a	19,50 ^a	6,62 ^a	10,73 ^a	2,15 ^a	2,95 ^a	4,83 ^a	10,73 ^a	5,90 ^a	6,50 ^a	16,10 ^a	30,94 ^a
	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
	9,03	16,29	2,65	4,56	1,07	0,27	1,42	7,04	2,65	3,94	3,57	5,21
Niébé	1,61 ^a	23,01 ^a	4,29 ^a	17,71 ^a	2,88 ^a	3,22 ^a	3,76 ^a	7,87 ^a	8,76 ^a	13,77 ^a	20,21 ^a	42,39 ^a
	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
	0,72	13,32	2,17	4,69	0,62	1,93	2,46	4,87	4,26	9,13	5,58	16,92
Probabilité	0,783	0,185	0,190	0,519	0,617	0,416	0,569	0,526	0,245	0,299	0,056	0,438
Signification	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

NB : T : témoin sans fumure ;

fmo : fumure minérale faible avec exportation des pailles de sorgho + apport de fumier 5 T/ha tous les 2 ans (année où tout l'essai est en sorgho) ;

fm : fumure minérale faible seule avec exportation des pailles de sorgho ;

FMO : fumure minérale forte avec exportation des pailles de sorgho + apport de fumier 40 T/ha tous les 2 ans (année où tout l'essai est en sorgho) ;

NS : Non significatifs ($p > 0,05$)

Temps T₀ : avant tout traitement pesticide ;

Temps T₅₀ : 50 jours après le 1^{er} prélèvement ;

Temps T₁₀₀ : 100 jours après le 1^{er} prélèvement ;

Chaque valeur est la moyenne de trois répétitions et les valeurs affectées d'une même lettre dans une même colonne ne sont pas significativement différentes.

Tableau 12 : Effet de l'application des pesticides sur le quotient respiratoire des sols (en mg C-CO₂ g⁻¹ C-biom.Microb. J⁻¹ de sol)

	Temps (T0)				Temps (T50)				Temps (T100)			
	T	fmo	fm	FMO	T	fmo	fm	FMO	T	fmo	fm	FMO
Sorgho	0,04 ^a	0,23 ^a	0,03 ^a	0,05 ^a	0,13 ^a	0,31 ^a	0,12 ^a	0,19 ^a	0,03 ^a	0,04 ^a	0,07 ^a	0,04 ^a
	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
	0,02	0,18	0,02	0,03	0,03	0,19	0,07	0,04	0,02	0,00	0,00	0,00
Coton	0,04 ^a	0,03 ^a	0,07 ^a	0,11 ^a	0,12 ^a	0,13 ^a	0,11 ^a	0,13 ^a	0,06 ^a	0,17 ^a	0,04 ^a	0,04 ^a
	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
	0,02	0,00	0,05	0,05	0,12	0,08	0,06	0,10	0,04	0,16	0,02	0,01
Niébé	0,15 ^a	0,04 ^a	0,10 ^a	0,07 ^a	0,14 ^a	0,23 ^a	0,24 ^a	0,25 ^a	0,06 ^a	0,09 ^a	0,04 ^a	0,05 ^a
	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
	0,09	0,01	0,09	0,02	0,03	0,11	0,20	0,25	0,03	0,06	0,02	0,03
Probabilité	0,476	0,384	0,574	0,468	0,952	0,304	0,391	0,671	0,419	0,350	0,174	0,782
Signification	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

NB : T : témoin sans fumure ;

fmo : fumure minérale faible avec exportation des pailles de sorgho + apport de fumier 5 T/ha tous les 2 ans (année où tout l'essai est en sorgho) ;

fm : fumure minérale faible seule avec exportation des pailles de sorgho ;

FMO : fumure minérale forte avec exportation des pailles de sorgho + apport de fumier 40 T/ha tous les 2 ans (année où tout l'essai est en sorgho) ;

NS : Non significatifs (p > 0,05)

Temps T₀ : avant tout traitement pesticide ;

Temps T₅₀ : 50 jours après le 1^{er} prélèvement ;

Temps T₁₀₀ : 100 jours après le 1^{er} prélèvement ;

Chaque valeur est la moyenne de trois répétitions et les valeurs affectées d'une même lettre dans une même colonne ne sont pas significativement différentes.

3.1.3. Effet interactif des modes de gestion de la fumure et de l'application des pesticides sur l'évolution de l'activité respiratoire, la biomasse microbienne et le quotient respiratoire des sols

3.1.3.1. Effet sur l'évolution de l'activité respiratoire des sols

Pour toutes les cultures, les résultats (tableau 13) indiquent que les traitements n'induisent pas une variation significative de l'activité respiratoire 50 et 100 jours après le premier prélèvement.

3.1.3.2. Effet sur l'évolution de la biomasse microbienne des sols

- Rotation sorgho-sorgho (sans application pesticide):

Les résultats (tableau 14) indiquent que les traitements T, fm et FMO induisent une baisse significative de la biomasse microbienne des échantillons de sol prélevés au temps T50 comparativement à la biomasse microbienne des échantillons de sol prélevés au temps T0. Le traitement fmo n'induit pas une variation significative de la biomasse microbienne des sols 50 jours après le premier prélèvement. Cinquante (50) jours après le second prélèvement, on note une augmentation de la biomasse microbienne pour les traitements T, fmo et FMO. La fumure fm induit toujours une diminution 100 jours après le premier prélèvement. Globalement, on note une diminution suivie d'une augmentation de la biomasse microbienne respectivement 50 et 100 jours après le premier prélèvement.

- Rotation sorgho-coton (applications pesticides) :

Les traitements T et fmo induisent une baisse significative de la biomasse microbienne 50 et 100 jours après le premier prélèvement. Par contre, les traitements fm et FMO n'ont pas d'effet significatif 50 jours après le premier prélèvement. Toutefois, ces traitements fm et FMO induisent une augmentation significative 100 jours après le premier prélèvement.

- Rotation sorgho-niébé (applications pesticides) :

Les traitements T, fm et FMO n'affectent pas significativement la biomasse microbienne des sols 50 jours après le premier prélèvement. Cent (100) jours après le premier prélèvement, ils induisent une augmentation significative de la biomasse microbienne. Le traitement fmo induit une diminution significative suivie d'une augmentation de la biomasse microbienne respectivement 50 et 100 jours après le premier prélèvement.

3.1.3.3. Effet sur l'évolution du quotient respiratoire des sols

Au niveau des parcelles de niébé, les résultats (tableau 15) montrent que le traitement fmo induit au niveau du niébé une augmentation significative du quotient respiratoire 50 jours après le premier prélèvement. Cette augmentation est suivie d'une diminution 100 jours après le premier prélèvement. Pour les traitements T, fm et FMO, on ne note pas d'évolution significative du quotient respiratoire.

Pour les parcelles de sorgho et de coton, le quotient respiratoire n'évolue pas significativement 50 et 100 jours après le premier prélèvement quel que soit le traitement.

Tableau 13: Effet interactif des modes de gestion de la fumure et de l'application des pesticides sur le dégagement cumulé de CO₂ des sols (en mg C / 100 g de sol).

	Coton				Niébé			
	T	fmo	fm	FMO	T	fmo	fm	FMO
Temps (T0)	13,70 ^a ± 2,52	18,19 ^a ± 1,67	13,38 ^a ± 3,73	28,60 ^a ± 3,69	13,93 ^a ± 1,29	20,97 ^a ± 2,04	11,26 ^a ± 1,71	35,97 ^a ± 1,94
Temps (T50)	11,48 ^a ± 2,56	19,87 ^a ± 3,54	13,20 ^a ± 2,43	32,49 ^a ± 1,87	13,31 ^a ± 2,49	21,63 ^a ± 1,78	11,48 ^a ± 1,94	37,07 ^a ± 3,93
Temps (T100)	12,40 ^a ± 4,09	21,38 ^a ± 1,66	12,87 ^a ± 3,46	33,40 ^a ± 2,81	10,63 ^a ± 0,94	25,37 ^a ± 4,74	16,39 ^a ± 3,16	39,82 ^b ± 7,16
Probabilité	0,697	0,347	0,981	0,177	0,115	0,260	0,063	0,629
Signification	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

Tableau 14 Effet interactif des modes de gestion de la fumure et de l'application des pesticides sur la biomasse microbienne des sols (en mg C / 100 g de sol)

	Coton				Niébé			
	T	fmo	fm	FMO	T	fmo	fm	FMO
Temps (T0)	16,37 ^b ± 9,03	28,26 ^b ± 5,90	6,62 ^a ± 2,65	10,73 ^a ± 4,56	1,61 ^a ± 0,72	27,68 ^b ± 10,64	4,29 ^a ± 2,17	17,71 ^a ± 4,69
Temps (T50)	2,15 ^a ± 1,07	2,95 ^a ± 0,27	4,83 ^a ± 1,42	13,95 ^a ± 4,29	2,86 ^a ± 0,70	3,22 ^a ± 1,94	3,76 ^a ± 2,46	7,87 ^a ± 4,87
Temps (T100)	7,42 ^{ab} ± 0,27	8,50 ^a ± 1,88	16,09 ^b ± 3,57	30,94 ^b ± 5,21	8,76 ^b ± 4,26	18,42 ^b ± 9,13	20,21 ^b ± 5,58	50,62 ^b ± 9,12
Probabilité	0,042	0,000	0,005	0,004	0,028	0,0129	0,003	0,000
Signification	S	HS	S	S	S	S	S	HS

NB : T : témoin sans fumure ;

fmo : fumure minérale faible avec exportation des pailles de sorgho + apport de fumier 5 T/ha tous les 2 ans (année où tout l'essai est en sorgho) ;

fm : fumure minérale faible seule avec exportation des pailles de sorgho ;

FMO : fumure minérale forte avec exportation des pailles de sorgho + apport de fumier 40 T/ha tous les 2 ans (année où tout l'essai est en sorgho) ;

NS : Non significatif (p > 0,05) ; **S** : Significatif (p < 0,05) ; **HS** : Hautement significatif (p < 0,01)

Temps T₀ : avant tout traitement pesticide ;

Temps T₅₀ : 50 jours après le 1^{er} prélèvement ;

Temps T₁₀₀ : 100 jours après le 1^{er} prélèvement ;

Chaque valeur est la moyenne de trois répétitions et les valeurs affectées d'une même lettre dans une même colonne ne sont pas significativement différentes

Tableau 15: Effet interactif des modes de gestion de la fumure et de l'application des pesticides sur le quotient respiratoire qCO_2 des sols.

	Coton				Niébé			
	T	fmo	fm	FMO	T	fmo	fm	FMO
Temps (T0)	0,04 ^a ± 0,02	0,03 ^a ± 0,00	0,07 ^a ± 0,05	0,11 ^a ± 0,05	0,15 ^a ± 0,09	0,04 ^a ± 0,01	0,17 ^a ± 0,09	0,07 ^a ± 0,02
Temps (T50)	0,06 ^a ± 0,1	0,13 ^a ± 0,08	0,10 ^a ± 0,06	0,13 ^a ± 0,10	0,14 ^a ± 0,03	0,23 ^b ± 0,11	0,24 ^a ± 0,20	0,25 ^a ± 0,25
Temps (T100)	0,12 ^a ± 0,04	0,17 ^a ± 0,16	0,04 ^a ± 0,02	0,04 ^a ± 0,01	0,06 ^a ± 0,03	0,09 ^{ab} ± 0,06	0,04 ^a ± 0,02	0,05 ^b ± 0,03
Probabilité	0,395	0,301	0,309	0,323	0,195	0,047	0,206	0,270
Signification	NS	NS	NS	NS	NS	S	NS	NS

NB : T : témoin sans fumure ;

fmo : fumure minérale faible avec exportation des pailles de sorgho + apport de fumier 5 T/ha tous les 2 ans (année où tout l'essai est en sorgho) ;

fm : fumure minérale faible seule avec exportation des pailles de sorgho ;

FMO : fumure minérale forte avec exportation des pailles de sorgho + apport de fumier 40 T/ha tous les 2 ans (année où tout l'essai est en sorgho) ;

NS : Non significatifs ($p > 0,05$) ; **S** : significatif ($p < 0,05$)

Temps T₀ : avant tout traitement pesticide ;

Temps T₅₀ : 50 jours après le 1^{er} prélèvement ;

Temps T₁₀₀ : 100 jours après le 1^{er} prélèvement ;

Chaque valeur est la moyenne de trois répétitions et les valeurs affectées d'une même lettre dans une même colonne ne sont pas significativement différentes.

3.1.4. Toxicité des échantillons d’eau de ruissellement vis-à-vis des larves de crevette

Le profénofos a été utilisé comme étalon pour établir une relation (dose-réponse) entre différentes concentrations du profénofos et le taux de létalité des larves de crevette. Ainsi, une courbe (figure 5) dose-réponse a été obtenue avec le profénofos. La courbe de tendance montre une corrélation positive ($R^2 = 0,88$) entre les concentrations du profénofos et la mortalité des larves de crevette. On enregistre 56,06 % de mortalité à la concentration de 50 mg / l de profénofos. L'équation de la droite de tendance permet d'avoir la LC_{50} (concentration à partir de laquelle 50 % du nombre initial de larves meurent) du profénofos qui est de 48,22 mg / l pour les larves dans nos conditions d'étude.

Aucune létalité des larves de crevette n'a été notée dans les échantillons d'eau collectée (Tableau 16). Cela traduit une absence de toxicité des échantillons vis-à-vis des larves de crevette.

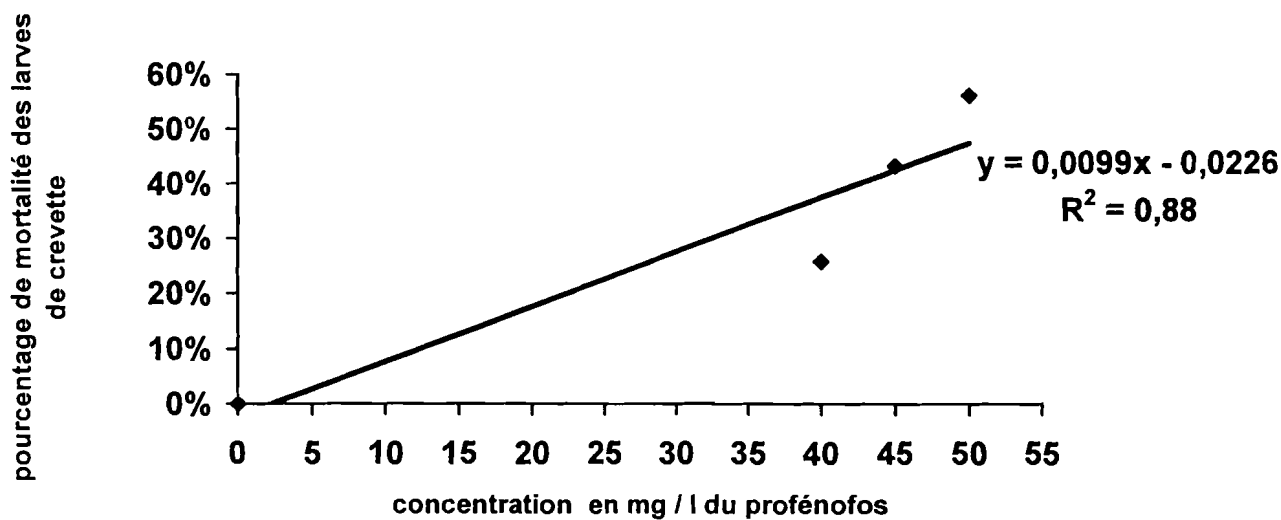


Figure 5 : Taux de mortalité (en %) des larves de crevette soumises à différentes concentrations du profénofos (étalon) : (chaque point est la moyenne de 3 répétitions)

Tableau 16 : Taux de mortalité (%) des larves de crevette dans différentes concentrations des eaux de ruissellement collectées.

Echantillons	80 µl	90 µl	100 µl
Ta	0	0	0
fmo a	0	0	0
FMO a	0	0	0
Tb	0	0	0
fmob	0	0	0
FMO b	0	0	0

NB :

T : Témoin sans fumure

fmo : fumure minérale faible avec exportation des pailles de sorgho + apport de fumier 5 T/ha tous les 2 ans (année où tout l’essai est en sorgho) ;

FMO : fumure minérale forte avec exportation des pailles de sorgho + apport de fumier 40 T/ha tous les 2 ans (année où tout l’essai est en sorgho) ;

a: rotation sorgho-sorgho ;

b: rotation sorgho-coton.

3.2. Discussion

3.2.1. Effet des modes de gestions de la fumure sur les paramètres chimiques, la respiration, la biomasse microbienne et le quotient respiratoire des sols

Les résultats montrent que l’apport du fumier a un arrière effet très remarquable sur les paramètres chimiques du sol. Mais, cet effet est fonction des quantités apportées. Ainsi, les fortes doses de fumier permettent une augmentation significative des paramètres chimiques comparativement au témoin. Ce qui confirme les résultats obtenus par d’autres chercheurs (Sedogo, 1981 et 1993 ; Sedogo *et al.*, 1989 ; Bacyé *et al.*, 1998). En effet, les travaux de Bacyé *et al.* (1998) montrent que l’apport de la poudrette de fumier permet un accroissement des teneurs en carbone et en azote par rapport au témoin. De façon générale, on note que la fumure organo-minérale faible (fmo) n’a pas un arrière effet significatif sur les teneurs en carbone, en azote, en phosphore et en potassium comparativement au témoin. Cela s’expliquerait par le fait que les faibles doses de substrats organiques incorporés dans le sol, se minéraliserait rapidement (Sedogo *et al.*, 1989). On pourrait donc dire qu’il y a eu épuisement de la matière organique additionnelle apportée par les faibles doses de fumure organo-minérale qui ne présentent pas d’arrière effet. Sedogo (1993) a montré que la fumure fmo qui assurait une stabilité du taux de matière organique du sol, semble induire une certaine variation avec une tendance à la baisse des teneurs des éléments notamment du carbone. Il note que seule la fumure FMO augmente le taux de matière organique du sol.

Concernant le pH des sols, on note une baisse significative due à la fumure minérale faible (fm) comparé au témoin, traduisant une acidification des sols. On note par contre, une augmentation du pH avec les fumures organo-minérales comparées toujours au témoin. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par Sedogo (1993) et Assimi *et al.* (2000a et 2000b). Sedogo (1993) a expliqué la baisse du pH par la désaturation du complexe d'échange cationique (CEC) avec comme conséquence une augmentation progressive du taux d'aluminium échangeable dans la solution du sol. Le fumier, en augmentant le stock organique et la CEC, s'opposerait à la lixiviation des cations.

Les résultats confirment donc la nécessité des apports de substrats organiques pour maintenir, voire relever le niveau de la matière organique du sol en améliorant sa fertilité (Sedogo, 1993 ; Bacyé *et al.*, 1998 ; Zombré, 2006).

Les résultats montrent pour les trois points de prélèvement d'échantillons de sol (T0, T50 et T100), que la fumure FMO induit une activité respiratoire la plus élevée comparée aux autres fumures au niveau des trois cultures. Elle est suivie dans certains cas par la fumure fmo. Le témoin sans fumure et la fumure fm ont les plus faibles activités respiratoires et ne sont pas significativement différents quel que soit le temps de prélèvement des sols.

Ces résultats confirment ceux obtenus par Sedogo (1993) et Assimi *et al.* (2000a). En effet, les travaux de Assimi *et al.* (2000a) montrent, une nette supériorité de l'activité respiratoire du traitement FMO (24,75 et 26,40 mg C / 100g de sol respectivement pour le sorgho et le niébé) sur les traitements témoin (11,40 et 12,83 mg C / 100g de sol respectivement dans les séries a et b), fmo (17,75 et 19,80 mg C / 100g de sol respectivement pour le sorgho et le niébé) et fm (17,53 et 16,94 mg C / 100g de sol respectivement pour le sorgho et le niébé).

Les données de Sedogo (1993) indiquent les mêmes tendances. Cet auteur lie le dégagement important de CO₂ par la fumure FMO à la teneur élevée en carbone et notamment en composés facilement minéralisables. Ses travaux révèlent par ailleurs que le sol avec apport de la fumure FMO, contient 30 à 40 % de polysaccharides (sucre hydrosolubles et hydrolysables) de plus que les autres sols.

Les biomasses les plus élevées sont enregistrées avec les sols amendés avec la fumure FMO au temps T100 et dans toutes les séries. Les tendances similaires ont été obtenues par Assimi *et al.* (2000a). Ces auteurs attribuent l'effet bénéfique de la fumure FMO sur la biomasse microbienne à l'apport de la matière organique. Cela est en accord avec les données de Lompo D. (2007) qui révèlent que la biomasse microbienne croît dans le même sens que la matière organique des sols étudiés.

Selon Chaussod *et al.* (1992) qui ont observé les résultats similaires, la taille du compartiment « biomasse microbienne » est fonction du carbone disponible pour satisfaire les besoins énergétiques des microorganismes.

En général le quotient respiratoire ou respiration spécifique n'est pas affecté significativement par les fumures. Cela traduit le fait que l'efficacité d'utilisation de la matière organique par les microorganismes n'est pas influencée par les fumures. On pourrait expliquer l'importance de l'activité respiratoire induit par la Fumure FMO à la minéralisation de la matière organique additionnelle de plus que les autres fumures. Toutefois, l'augmentation du qCO_2 induit par la fumure fm au niveau du sorgho et au point de prélèvement (T100) des échantillons de sol, traduirait une insuffisance de la matière organique d'où la baisse de l'efficacité d'utilisation de la matière organique par les microorganismes.

3.2.2. Effet des pesticides sur la respiration, la biomasse microbienne et le quotient respiratoire des sols

Dans l'ensemble, les résultats indiquent que l'activité respiratoire, la biomasse microbienne et le quotient respiratoire (qCO_2) des sols qui reçoivent les pesticides (coton et niébé), ne sont pas significativement différents comparés aux sols témoins sans pesticides (sorgho). Ainsi, l'emploi des pesticides aux doses agronomiques, n'a pas d'effet significatif sur l'activité respiratoire, la biomasse microbienne et le quotient respiratoire (qCO_2) des sols. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par d'autres auteurs. En effet, Pal *et al.* (2006) révèlent que l'atrazine, le lindane et le captan n'ont pas un effet considérable sur la respiration du sol, 48 jours après leur application.

Les travaux de Coulibaly K. (2006) conduits dans les conditions contrôlées au laboratoire, indiquent que l'endosulfan à la dose de 3 mg/kg ne modifie pas l'activité respiratoire du sol ferrallitique de Farako-bâ, du sol ferrugineux tropical de Boni et du sol à caractère vertique de Kaïbo après 15 jours d'incubation. Lompo D. (2007) a investigué dans les conditions réelles en milieu paysan au Burkina Faso, l'impact des résidus de pesticides sur les microorganismes des sols. Ses résultats indiquent que les pesticides n'influencent pas l'activité respiratoire des sols ferrugineux tropicaux prélevés à Tiokouy et à Pama.

Columa (1977) met en évidence que les herbicides aux doses usuelles, présentent une neutralité vis-à-vis de la population bactérienne et fongique du sol.

Toutefois, on trouve dans la littérature des données contradictoires. On note tantôt un effet inhibiteur, tantôt un effet stimulateur de la respiration et de la biomasse microbienne du sol en présence de pesticides (Gamouh *et al.*, 2005 ; Pal *et al.*, 2006 ; Sow, 2006 ; Lompo D. 2007).

En effet, les travaux de Tu (1992) cité par Pal *et al.* (2006) montrent que dans les conditions de laboratoire, l'atrazine augmente significativement la respiration du sol après 96 heures d'incubation. Subhani *et al.*, (2000) rapportent l'inhibition de la croissance des bactéries, des actinomycètes et des azotobacters par le methamidophos aux doses de 0,5 ; 2,5 ; 5 et 10 $\mu\text{g} / \text{g}$ de sol. Ils ajoutent que l'addition de l'aldicarb au sol, cause une augmentation significative de la biomasse microbienne de ce sol de 7 à 16 % et que l'effet qui apparaît peut être persistant. Les résultats de El-Ghamry *et al.*, (2000) révèlent une diminution significative de la biomasse microbienne suite à l'application combinée du chlorsulfuron et du bensulfuron-méthyle. Pal *et al.* (2006) indiquent que l'isopropylamine salé du glyphosate stimule la biomasse microbienne du sol selon un gradient de fertilité du sol.

Ces contradictions peuvent s'expliquer par la nature du sol, la nature et la dose de la matière active ainsi que la composition de la flore microbienne du sol.

Les données de la présente étude qui révèlent que les pesticides utilisés n'affectent pas significativement l'activité respiratoire, la biomasse microbienne et le qCO_2 des sols de Saria, se prêtent à deux explications. En effet, on pourrait expliquer l'absence d'effet par le fait que les doses agronomiques de pesticides appliqués sont faibles pour modifier le comportement des microorganismes de façon considérable. Selon Fournier et Soulas (1985), les concentrations très faibles de pesticides semblent peu favorables au développement de l'activité dégradante et notamment à l'émergence des populations métaboliques. Les travaux de Barriuso *et al.* (1996a) qui renforcent cette idée, révèlent que la présence de faibles quantités de pesticides peut se traduire par une absence d'effet sur l'activité enzymatique de la microflore tellurique qui intervient sur la structure de la matière organique sol. Les travaux de Coulibaly K. (2006) indiquent que l'emploi de l'endosulfan à la dose de 6 mg/kg engendre une stimulation de l'activité respiratoire des sols comparativement à la dose de 3 mg/kg qui n'a pas d'effet significatif. Cela montre l'effet dose des pesticides sur la respiration du sol.

Les travaux de Peruci et Scarponi (1994) cités par Pal *et al.* (2006) montrent que l'herbicide « imazethapur » aussi bien dans les conditions de laboratoire qu'au champ, n'affecte pas la biomasse microbienne aux taux d'applications agronomiques. Cependant une plus forte concentration de cet herbicide inhibe la biomasse microbienne.

Les résultats obtenus pourraient également s'expliquer par le fait que la durée de l'étude n'a pas été suffisante pour permettre de percevoir l'effet des pesticides sur les paramètres biologiques étudiés. Des études antérieures indiquent l'effet cumulé ou l'effet de l'application répétée des pesticides sur les microorganismes du sol et leur activité. Pal *et al.* (2006) rapportent que l'application répétée de la formulation commerciale de

l'hexachlorocyclohexane (HCH) sur le sol cause une augmentation marquée de la biomasse microbienne. Les travaux de Hart et Brookes (1996b) synthétisés par Pal *et al.* (2006), ont consisté à l'investigation sur les effets cumulés annuels de 19 ans de 5 pesticides (benomyl, chlorfenvinphos, aldicarb, triadimefon et glyphosate) appliqués en condition du champ ou légèrement au dessus du taux recommandé en 25 combinaisons sur la biomasse microbienne du sol. Il ressort que l'aldicarb réduit la biomasse microbienne du sol et que l'effet est persistant. Les résultats du quotient respiratoire que nous avons obtenus montrent que les pesticides aux doses agronomiques, n'influencent pas significativement l'efficacité d'utilisation de la matière organique par les microorganismes. Ceci est en contradiction avec les données de Lompo D. (2007) qui révèlent d'une part une baisse de l'efficacité d'utilisation de la matière organique après l'application des pesticides au Burkina Faso (à Tiébélé et Comin-yanga) et d'autre part une amélioration de cette efficacité à Tiokouy (Burkina Faso). Par contre, Pal *et al.* (2006) rapportent que le pencycuron appliqué à la dose usuelle n'a pas d'effet nuisible sur les paramètres écophysologiques (qCO_2) du sol. Cela montre l'insuffisance des doses usuelles à perturber l'aptitude des microorganismes à dégrader la matière organique du sol.

3.2.3. Effet interactif des modes de gestion de la fumure et de l'application des pesticides sur l'évolution de l'activité respiratoire, la biomasse microbienne et le quotient respiratoire des sols

Les résultats montrent que les fumures et les pesticides n'ont pas un effet interactif sur la minéralisation de la matière organique. Cela est renforcé par les résultats du quotient respiratoire qui indiquent que l'interaction entre fumures et pesticides n'influence pas l'efficacité d'utilisation de la matière organique par les microorganismes.

L'observation des résultats de la biomasse microbienne indique que certains traitements induisent une fluctuation de la biomasse microbienne, d'autres induisent une diminution de la biomasse microbienne et d'autres induisent une augmentation de la biomasse microbienne.

- **Les traitements induisant une fluctuation de la biomasse microbienne:** Il s'agit du traitement fmo au niveau du niébé. On note une diminution de la biomasse microbienne 50 jours après le premier prélèvement. Cette diminution est suivie d'une augmentation 50 jours après. Mais cette augmentation ramène la valeur de la biomasse microbienne à une valeur statistiquement équivalente à la valeur de départ (T_0). On pourrait donc dire que la fumure fmo interagit avec le pesticide (deltaméthrine) du niébé. Cette interaction entraîne une baisse

de la biomasse microbienne, mais l'effet interactif disparaît par la suite d'où le retour à l'état initial de la biomasse microbienne après 100 jours.

- **Les traitements induisant une diminution de la biomasse microbienne:** Les traitements T et fmo induisent cette diminution de la biomasse au niveau du coton. On pourrait dire que les pesticides utilisés au niveau du coton et les traitements T et fmo ont un effet interactif qui inhibe la biomasse microbienne du sol.

- **Les traitements induisant une augmentation de la biomasse microbienne :** Ce sont les traitements fm et FMO au niveau du coton et des traitements T, fm et FMO au niveau du niébé qui induisent l'augmentation de la biomasse. L'effet interactif entre les pesticides et ces traitements est stimulateur de la biomasse microbienne.

On retiendra de façon globale que les interactions entre les traitements fm et FMO et les pesticides auraient un effet stimulateur de la biomasse microbienne. Par contre, les interactions entre les traitements T et fmo auraient un effet inhibiteur. Toutefois, ces perturbations pourraient aussi être dues à d'autres facteurs tels que le labour, la pluviosité, la température et l'ensoleillement.

Cette partie de notre étude mérite d'être affinée dans les conditions de laboratoire pour préciser l'effet interactif entre les fumures et les pesticides.

3.2.4. Toxicité des échantillons d'eau de ruissellement vis-à-vis des larves de crevette

Les résultats des tests de cytotoxicité montrent que le profénofos (utilisé comme étalon) a une toxicité faible pour les larves de crevette avec une LC_{50} à 24 heures, de 48,22 mg / l. D'autres types de pesticides ont été utilisés par d'autres chercheurs pour conduire des travaux similaires. En effet, les travaux de Alzieu (1977) avec le diflubenzuron (0,2 mg / l) et après 96 heures d'exposition ont révélés des taux de mortalité variant entre 10 et 40 % des larves d'*Artemia salina*. Les résultats obtenus par Venkateswara *et al.* (2007) ont montré que quatre insecticides organophosphorés dont le profénofos, étaient toxiques contre les larves de crevette et l'ordre de toxicité était le suivant : chlorpyrifos > profénofos > monocrotophos > Acephate. Il a aussi été noté dans le document d'orientation de décision pour un produit chimique interdit ou strictement réglementé que Wilkins et Metcalfe (1993) ont montré que le bromacil était légèrement toxique pour *Artemia salina*, avec une LC_{50} à 24 heures de 71 mg / l (<http://www.pic.int/inc5/inc6/french/bromacil.Doc>). Gamaniel *et al.* (1995) ont observé

également que les effets cytotoxiques des dérivés du quinazoline sur les larves de crevette diminuaient au fur et à mesure que les substituants halogénés augmentaient. Ainsi, Ils ont observé que le dérivé $C_{11}H_9N_2O_3$ ($LC_{50} = 0,14 \text{ mg} / \mu\text{l}$) était plus toxique que le dérivé $C_{11}H_9N_2BrO$ ($LC_{50} = 0,299 \text{ mg} / \mu\text{l}$).

Concernant les échantillons d'eau collectés, les résultats ne révèlent pas de toxicité vis-à-vis des larves de crevette. Ce qui indique que les eaux ruisselantes des parcelles ne contiennent pas des substances toxiques ou que les concentrations sont inférieures à celles pouvant être toxiques pour les larves de crevette. Le profénofos qui est susceptible d'être transporté par l'eau de ruissellement, avec d'autres substances, serait donc à une concentration inférieure à $40 \text{ mg} / \text{l}$ qui est la plus petite concentration ayant engendré une mortalité lors de nos tests. Toutefois, il est à noter que les collecteurs (bidons) avaient une faibles capacité, ce qui a entraîné parfois des débordements de ceux-ci après la pluie. Les eaux collectées n'ont pu être quantifiées.

Ces études montrent que le test permet d'une part de déterminer la toxicité d'un produit et d'autre part de comparer le degré de toxicité de plusieurs produits.

Conclusion générale

Le sol, composante clé des agrosystèmes, constitue une ressource non renouvelable. C'est un milieu vivant susceptible d'être altéré de façon irréversible par des activités anthropiques inadaptées. La littérature fournit des données aussi bien sur la contamination du sol que sur les autres compartiments de l'environnement. La composante biologique, en interaction avec les propriétés physiques et chimiques, participe pour une grande part à la qualité globale du sol.

Le présent travail, conduit en station expérimentale, s'est fixé pour objectif d'évaluer les effets des modes de gestion de la fumure et de l'utilisation des pesticides sur l'activité biologique du sol à travers deux indicateurs : l'activité respiratoire et la biomasse microbienne du sol. En plus la toxicité des eaux ruisselantes des parcelles d'étude a fait l'objet d'une caractérisation biologique.

Après l'interprétation des résultats, il ressort de façon générale que la fumure organo-minérale induit une augmentation significative des paramètres chimiques et de l'activité biologique des sols étudiés.

Par contre, les pesticides employés aux doses agronomiques n'affectent pas significativement l'activité respiratoire, la biomasse microbienne et le quotient respiratoire des sols étudiés.

En faisant une comparaison avec les résultats de Lompo D. (2007) qui a obtenu les mêmes tendances avec les sols ferrugineux tropicaux de Tiokouy et de Pama, nous pouvons conclure que les doses de pesticides vulgarisés en milieu paysan ne perturbent pas à court terme l'activité biologique des sols agricoles ferrugineux tropicaux. Les résultats de l'effet interactif des modes de gestion de la fumure et de l'utilisation des pesticides montrent une influence significative sur la biomasse microbienne, l'activité respiratoire et le quotient respiratoire n'étant pas affectés.

Les résultats obtenus lors de nos tests de toxicité permettent de conclure que les quantités de substances toxiques transportées par les eaux de ruissellement collectées ne sont pas toxiques vis-à-vis des larves de crevette.

La méthode de caractérisation de la toxicité des eaux adoptée présente l'avantage d'être peu coûteux et simple d'emploi. Il est donc justifier qu'elle soit de plus en plus utilisée pour alerter les populations et les autorités locales de la toxicité d'un milieu aquatique avant la réalisation de toute analyse fine ou complémentaire qui nécessitent souvent des coûts élevés.

Pour mieux cerner l'effet de l'emploi des pesticides sur la biologie des sols dans les agrosystèmes cotonniers, des études complémentaires doivent être envisagées pour :

- Suivre l'impact de l'utilisation des pesticides sur certains groupes spécifiques de microorganismes utiles (bactéries ammonifiantes, nitrifiantes) ;

- Suivre certaines activités enzymatiques indicateurs de la biologie du sol notamment l'activité de la fluorescéine diacétate (FDA) qui concerne plusieurs groupes d'enzymes (les estérases non spécifiques, les protéases et les lipases) ;
- Etudier l'effet des amendements de matières organiques sur la réduction des transferts des pesticides dans les eaux de ruissellements.

Pour mieux préciser l'impact des pesticides sur l'activité biologique globale des sols, il serait souhaitable que des mesures *in situ* de l'activité respiratoire des sols soient réalisées de manière périodique. La caractérisation de la toxicité des eaux de ruissellement collectées doit être complétée par le dosage des résidus de pesticides dans ces eaux.

L'agriculture durable, soucieuse de l'environnement, ne peut s'envisager sans une gestion au plus près de la composante biologique du sol ; d'où la nécessité de poursuivre les études pour voir l'impact à long terme des pesticides sur la biologie des sols.

Bibliographie

Adam C. et Vassel J.L., 1998. Caractérisation de la toxicité des lixiviats d'ordures ménagères. *Etude et mémoires* : 13-25.

Adam G. and Duncan H., 2001. Development of a sensitive and rapid method for the measurement of total microbial activity using fluoresceine diacetate (FDA) in a range of soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 33: 943-951.

Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2000. Toxicological Profile For Endosulfan, *U.S. Department of Health and Human Services*, 283 p.

Allegrini J., Simeon de Buochberg M., Coussenans J., Sinégre G., 1973. La lutte antilarvaire contre les culicidés des fosses septiques : l'action du « Dursban et du DDT » sur la flore microbienne, *Cah. O.R.S.T.O.M., Sér. Ent. Méd. et Parasitol.*, vol. XI, n° 2 : 101-106.

Alzieu C., 1977. Toxicité et persistance en milieu marin d'un insecticide dérivé des benzoylurées: Le diflubenzuron, *Rev. Trav. Inst. Pêches marit.*, 41 (4): 317-324.

Asimi S., Sedogo P.M., Assa A., Lompo F., 2000a. Influence des modes de gestion des terres sur la respiration du sol et le carbone de la biomasse microbienne, *Science et technique, Sciences naturelles et agronomie*, 24 (1): 42-53.

Asimi S., Glaninazzi-Pearson V., Sedogo P.M., Assa A., 2000b. Influence de différents types de fumures sur la nodulation et la mycorhization des plantes de niébé dans une rotation de cultures sorgho-niébé, *Science et technique, Sciences naturelles et agronomie*, 24 (1): 21-32.

Awasthi N., Singh A. K., Jain R. K., Khangorot B. S. et Kumar A., 2003. Degradation and detoxification of endosulfan isomers by a defined co-culture of two bacillus strains, *Appl. Microbiol Biotechnol* (62): 279-283.

Bachelier G., 1973. Activité biologique des sols et techniques simples qui en permettent l'évaluation. *Cah. ORSTOM, série Pédol.*, vol. XI, 1: 65-77.

Bacyé B., Moreau R., Feller C., 1998. Décomposition d'une poudrette de fumier incorporée dans un sol sableux de versant et un sol argilo-limoneux de bas-fond en milieu soudano-sahélien. *Etude et Gestion des Sols*, (5) ,2 : 83-92.

Barriuso E., Calvet R., Schiavon M. et Soulas G., 1996a. Les pesticides et les polluants organiques des sols, *Forum « le sol, un patrimoine menacé? » numéro spécial* : 279-295.

Barriuso E., Eklo O.M., Iglesias E., Houot S., 1996b. Modification de la mobilité de pesticides dans les sols après addition de matières organiques exogènes. *5èmes journées nationales de l'étude des sols, AFES, rennes*, 99-101.

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.

Bonzi M., 2002. Evaluation et déterminisme du bilan de l'azote en sols cultivés du centre Burkina Faso : Etude par traçage isotopique ^{15}N au cours d'essais en station et en milieu paysan, *Thèse de Doctorat, INPL-Nancy*, 177 p.

Calvet R., Tercé M., Arvieu J., 1980. Adsorption des pesticides par les sols et leurs constituants. *Ann. Agron.*, 31, 33-385.

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.

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., 1996. La qualité biologique des sols, *Forum « Le sol, un patrimoine menacé ? » Paris, numéro spécial*, 261-277.

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

Cissé I., Tandia A. A., Fall S. T. et Diop S. E., 2003. Usage incontrôlé des pesticides en agriculture péri-urbaine : Cas de la zone des Niayes au Sénégal, *Cahiers agriculture* (12) : 181-186.

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. and Smith J. S., 1994. Effect of pH and cooking temperature on the stability of organophosphate pesticides in beef muscle, *Journal of Agricultural and food Chemistry*, vol. 42, N°9, 2035-2039.

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.

Coulibaly P.J.A., 2007 : Etude du devenir des résidus de pesticides dans deux types de sol (ferrugineux et vertique) des zones cotonnières du Burkina Faso, *Mémoire de DEA, Option Sciences du sol, Univ. Polytech. de Bobo Dioulasso, Burkina Faso*, 31 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.

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- Numéro spécial : 385-394.

FIDA, 2007. Rapport de suivi mondial.

Fournier J. C. et Soulas G., 1985. Comportement et effets secondaires des pesticides dans le sol, *colloques de l'INRA*, n°3 : 77-84.

Gamani K., Ojo T., Wambebe C., Awodogan A., Samson A., Shittu A., Vangtau H., Azuine M.A., Akah P.A., 1995. New cytotoxic quinazoline derivatives that relax the isolated rat uterus and the rabbit ileum, *West Afr. J. Pharmacol. Drug Res.* Vol. 11: 80-86.

Gamouh A., Bensalah M., Abaadi N., Zyad 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.

GIRE, 2001. L'impact des engrais et des pesticides sur les ressources en eau au Burkina Faso, *version définitive*, 35 p.

Guira T., 1988. Intensification de la culture du sorgho en sol ferrugineux. Etude des effets induits des techniques culturales sur la fertilité des sols. *Mémoire d'ingénieur du développement rural, IDR/UO*, 96 p.

[http : // www.obsevatoire.environnement.org.contact](http://www.obsevatoire.environnement.org.contact) . février 2008 : Les indicateurs biologiques.

[http: //www.pic.int/inc5/inc6/french/bromacil.Doc](http://www.pic.int/inc5/inc6/french/bromacil.Doc) . Janvier 2008 : PIC- document d'orientation de décision pour un produit chimique interdit ou strictement réglementé.

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 D.E.S.S., Université de Ouagadougou*, 52 p.

INERA, 2007. Etude des effets des pesticides sur les paramètres environnementaux dans les agrosystèmes cotonniers du Burkina Faso, *Rapport scientifique intermédiaire Labo. SEP, Projet FSP-pesticide* : 90 p.

Kennedy I.R., Sanchez-Bayo F., Kimber S.W., Hugo L., Ahmad N., 2001. Off-site movement of endosulfan in four Indian soils. *Chemosphere*, 62: 1064-1077.

Khan Z. et Anjaneyulu Y., 2005. Influence of soil components on adsorption-desorption of hazardous organics-development of low cost technology for reclamation of hazardous waste dumpsites, *Journal of Hazardous Material B 118*: 161-169.

Kjoller R., Rosendahl S., 2000. Effects of fungicides on arbuscular mycorrhizal fungi: differential responses in alkaline phosphatase activity of external and internal hyphae, *Biol Ferti Soils*, 31: 361-365.

Kwon G.S., Kim J.E., Kim T.K., Shon H.Y., Koh S.C., Shin K.S., Kim D.G., 2002. *Klebsiella pneumoniae* KE-1 degrades endosulfan without formation of the toxic metabolite, endosulfan sulphate. *Micobiology letters*, 215: 255-259.

Lompo D.J.P., 2007. Impact des résidus de pesticides sur les microorganismes des sols dans les agrosystèmes cotonniers du Burkina Faso, *Mémoire de DEA, Option Sciences du sol, Univ. Polytech. de Bobo Dioulasso, Burkina Faso*, 46 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. Université nationale de Côte d'Ivoire*, 249 p.

Martens R., 1976. Degradation of [8,9- ¹⁴C] Endosulfan by soil micro-organisms, *Applied and Environmental Microbiology*, vol. 31, n°6, 853-858.

Meyer B.N., Ferrigni N.R., Putnam J.E., Jacobsen L.B., Nachols D.E., McLaughlin J.L., 1982. Brine Shrimp: A convenient general bioassay for active plant constituents, *Planta Med.* 42: 31-34.

Nacoulma J., 1994. Contribution à l'étude de la biodégradation des polluants phénoliques par les micro-organismes du sol, *Mémoire de D.E.A. en Sciences Biologiques Appliquées, Université de Ouagadougou*, 36 p.

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.

Ondo Z.A.N., 2007. Concentrations en insecticides dans les sols cultivés en coton au Burkina Faso et impact sur des organismes non cibles (*Apis mellifica*), *Master 2 Recherche CEPS « option : environnement », Univ. Bourgogne*, 39 p.

Pal R., Chakrabarti K., Chakraborty A., Chowdhury A., 2006. Degradation and effects of pesticides on soil microbiological parameters-A Review, *International Journal of Agricultural Research* 1 (3): 240-258.

P.A.N, (Pesticides Action Network-Africa), 2000. Pesticides, polluants organiques persistants : problèmes, réglementation et alternatives en Afrique. *Atelier international (Bamako)*, 8 p.

Savado P. W., Ouattara C.A.T., Ouattara A. S., Traoré A. S., 1999. Biodégradation anaérobie d'un pyréthrinoïde 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.

Savado 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- Université de Ouagadougou*, 101 p.

Savadogo P. W., Traoré O., Topan M., Tapsoba K. H., Sedogo P. M., Bonzi-Coulibaly L. Y., 2006. 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.

Savadogo P. W., Savadogo A., Ouattara A. S., Sedogo P. M., Traoré A. S., 2007. Anaerobic biodegradation of sumithion an organophosphorus insecticide used in Burkina Faso agriculture by acclimatized indigenous bacteria, *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 10 (11): 1896-1905.

Sedogo P. M., Lompo F., Bado V. B., 1989. Gestion de la fertilité des sols en milieu tropical. *Rev. Res. APAMA*, 1 : 199-207.

Sedogo P. M., 1981. Contribution à l'étude de la valorisation des résidus cultureux 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 de Doctorat Unique, Université nationale de 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.

Silburn D.M., Simpson B.W., Hargreaves P.A., 2002. Management practices for control of runoff losses from cotton furrows under storm runoff. II. Transport of pesticides in runoff. *Aust. J. Soil Res.*, 40 : 21-44.

Solis N.P., Wright W.C., Anderson M.M., Gupta P.M., Phillipson D.J., 1993. A microwell cytotoxicity assay using *Artemia salina* (Brine shrimp), *Planta Med.* 59: 250-252.

Son D., 2007. Effets des pesticides sur les insectes non cibles : cas particulier des chrysalides de *Cirina butyrospermi* dans la zone cotonnière de Pô (Burkina Faso), *Mémoire d'ingénieur en agronomie-IDR, UPB*, 48 p.

Sow T.M.B., 2006. Impact de la décomposition des pesticides sur l'activité microbienne du sol : Cas des Niayes de Pikine, *Mémoire de DEA, UCAD/Sénégal*, 80 p.

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.

The Pesticides manuel, 2000. The Pesticides Manuel, British crop protection council, *Editor C.D.S. Tomlin, 12th edition version 2.0. United Kingdom.*

Toé A. M., Héma S. A. O., Schiffers B., 1996. Évaluation de l'efficacité de la lutte chimique contre *Helicoverpa armigera* sur le cotonnier durant la campagne agricole 1996 au Burkina Faso; *Études et recherches sahéliennes* N°.4-5; 29-38.

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.

Topan M.S., 2005. Contribution à l'étude de la dégradation des pesticides dans les sols au Burkina Faso, *Mémoire d'ingénieur en agronomie-IDR, UPB*, 54 p.

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

Venkateswara Rao J., Kavitha P., JakkaN., SRIDHAR v;? Usman P., 2007. Toxicity of organophosphates on morphology and locomotor behavior in brine shrimp, *Artemia salina*; *Archives of Environmental contamination and Toxiology*, 53 (2), 227-232.

Verma K., Agrawal N., Farooq M., Misra R. B. et Hans R.,K., 2005. Endosulfan degradation by *Rhodococcus* strain isolated from earthworm gut, *ecotoxicology and environmental safety*, 5 p.

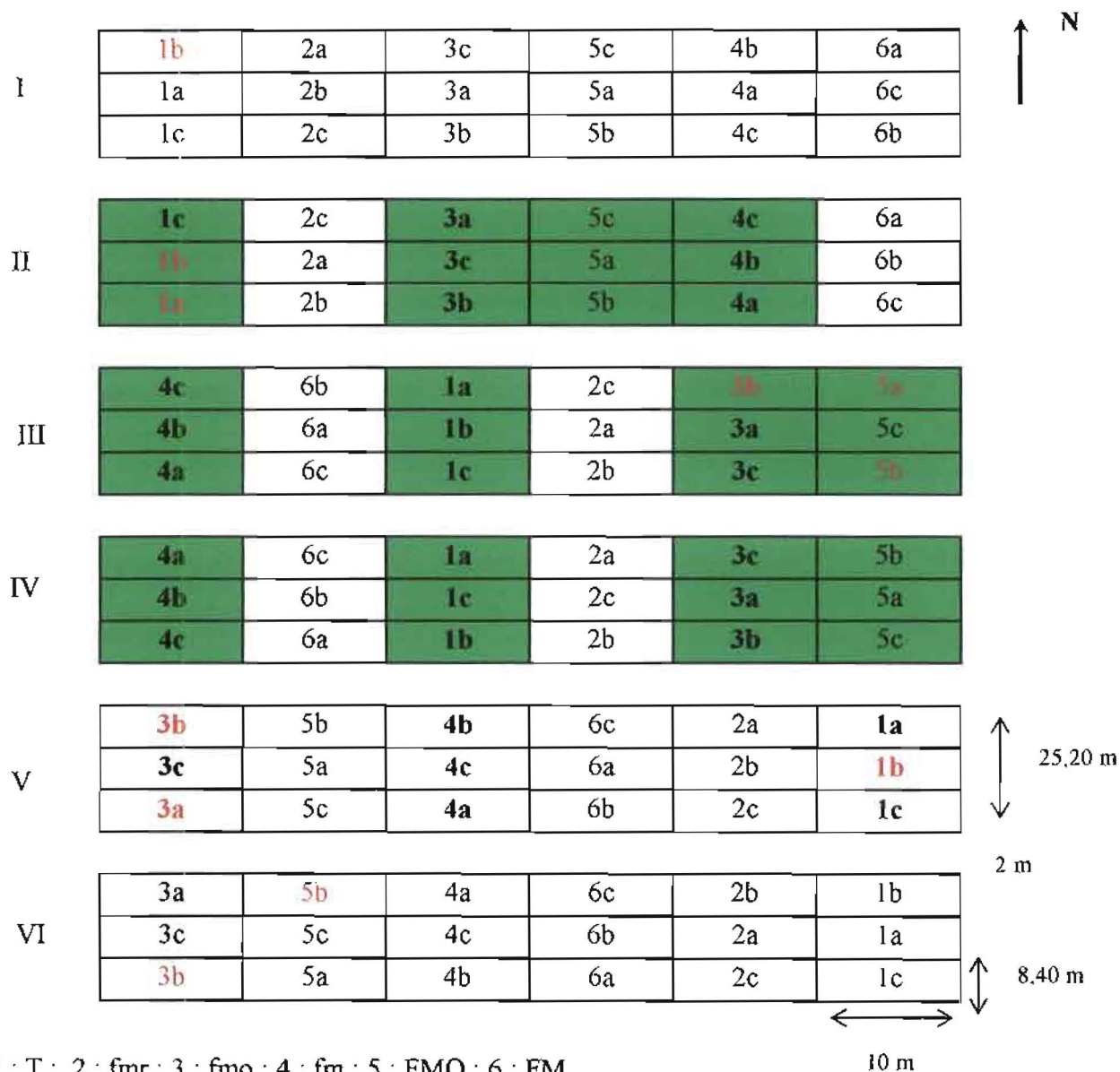
Vig K., Singh D. K., Agarwal H. C., Dhawan A. K., Dureja P., 2001. Effect of repeated pesticide applications on soil properties in cotton fields: II. Insecticide residues an impact on dehydrogenase and arginine deaminase activities. In: *"Impact of long term pesticides usage on soil properties using 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.*

Vig K., Singh D.K., Agarwal H.C., 2006. Dissipation and leaching of ¹⁴C-Monocrotophos in soil columns under subtropical climate. *Journal of Environmental Sience and Health Part B*, 41: 377-383.

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.

Zougmore R. B., 1991. Contribution à l'étude de ruissellement et de l'érosion à la parcelle ; Influence des paramètres principaux : Précipitation, rugosité du sol, états de surface, humidité du sol en surface, *Mémoire d'ingénieur en agronomie-INS/IDR, UO*, 87 p.

Annexes: Dispositif parcellaire de l'essai entretien de la fertilité (Bonzi, 2002)



1 : T ; 2 : fmr ; 3 : fmo ; 4 : fm ; 5 : FMO ; 6 : FM

a = monoculture sorgho, b = rotation sorgho-coton ; c = rotation sorgho-niébé

II, III, IV, = blocs choisis pour les différentes études

Les parcelles coloriées sont celles utilisées dans les essais.

Les chiffres suivis de lettres (tous coloriés en rouge) sont des parcelles sur lesquelles les eaux de ruissellement ont été collectées.