

UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR
ECOLE DOCTORALE SCIENCES DE LA VIE, DE LA SANTE ET DE
L'ENVIRONNEMENT
FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES

Année : 2015

N° d'ordre : 145



THESE DE DOCTORAT

Spécialité : Ecologie et gestion des écosystèmes

Présentée par :

Tamsire SAMB

**Etude de la macrofaune du sol d'une savane
sahélienne dégradée dans la région de Matam
(Sénégal): systématique, écologie et impact
sur le sol.**

Soutenue le 21 avril 2015 devant le jury composé de :

Jury

Président : M. Pape Mbacké SEMBENE

Pr Titulaire FST/UCAD

Rapporteurs :

M. Saliou NDIAYE

Maître de Conférences ENSA/Thiès

M. Saliou FALL

Maître de Recherche ISRA/Dakar

M. Momar Talla. GUEYE

Maître de Recherche ITA/Dakar

Examineurs :

M. Karamoko DIARRA

Pr Titulaire FST/UCAD

M. Pape Ibnou NDIAYE

Maitre-Assistant FST/UCAD

Directeur de thèse : M. Cheikh Tidiane BA

Pr Titulaire FST/UCAD

Encadreur : M. Abdoulaye Baïla NDIAYE

Chargé de Recherche IFAN/ UCAD

AVANT-PROPOS

Ce travail a été réalisé sous la direction du Dr. Abdoulaye Baïla NDIAYE de l'IFAN CHEIKH ANTA DIOP (laboratoire de Zoologie des Invertébrés terrestres) et du Pr. Cheikh Tidiane BA du Département de Biologie animale de la Faculté des Sciences et Techniques de l'UCAD.

Nos remerciements vont au du Ministère sénégalais de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique qui a financé ce travail dans le cadre du Fonds compétitif FIRST (Fonds d'Impulsion de la Recherche Scientifique et Technique).

Nous remercions chaleureusement le Pr. Cheikh Tidiane BA du Département de Biologie animale, non seulement pour les enseignements qu'il a eu à nous donner mais également d'avoir accepté de superviser ce travail avec beaucoup de patience et de compréhension malgré ses multiples occupations. Il a contribué de façon significative à la réalisation de ce travail de par ses encouragements, ses conseils et sa rigueur scientifique qui fait de lui une personne respectée et admirée.

Nous remercions et exprimons notre profonde gratitude au Dr. Abdoulaye Baïla NDIAYE de l'IFAN Cheikh Anta Diop qui a accepté de suivre ce travail avec beaucoup de patience. Il nous a toujours accordé son attention ainsi que son soutien moral et financier constant et nous a mis dans les meilleures conditions possibles pour l'accomplissement de ce travail. Nous lui sommes énormément reconnaissants et lui disons un grand merci. Nous lui exprimons aussi toute notre admiration pour sa rigueur et sa passion dans le travail qu'il n'a cessé de nous inculquer.

Nous tenons à remercier le Pr. Pape Mbacké SEMBENE du Département de Biologie animale de la Faculté des Sciences et techniques, à qui nous avons un profond respect et une grande admiration. C'est un honneur qu'il nous fait en acceptant de présider le jury qui va examiner ce travail. Nous le remercions également d'avoir participé à notre formation.

Au Pr Karamoko DIARRA du Département de Biologie animale de la Faculté des Sciences et techniques, je présente mes sincères remerciements pour avoir accepté avec beaucoup de volonté de juger ce travail. Nous le remercions également d'avoir participé à notre formation, de ses conseils avisés, de son soutien moral et de sa constante disponibilité.

Nos remerciements vont au Pr Saliou NDIAYE, Maître de conférences à l'ENSA et à l'université de Thiès. C'est un honneur qu'il nous fait en acceptant de juger ce travail.

Nous remercions également le Dr. Saliou FALL Maître de recherche à l'ISRA pour l'honneur qu'il nous fait en acceptant de juger ce travail.

Nous adressons aussi nos sincères remerciements au Dr. Momar Talla GUEYE Maître de recherche à l'ITA de Dakar pour l'honneur qu'il nous fait en acceptant de juger ce travail.

Nous adressons mes remerciements sincères au Dr Pape Ibnou NDIAYE, Maitre-assistant au Département de Biologie animale de la Faculté des Sciences et Techniques pour l'honneur qu'il nous fait en acceptant d'être de ceux qui vont juger ce travail.

Nous remercions l'ancien directeur de l'IFAN le Pr. Pape NDIAYE ainsi que l'actuel directeur le Pr. Hamady BOCOUM qui nous ont facilité notre stage à l'institut et qui ont mis les moyens de l'institut pour la réalisation de ce travail.

Au Dr Abdoul A. NIANG, chef du laboratoire de Zoologie des Invertébrés terrestres de l'IFAN, à qui nous exprimons notre reconnaissance inestimable de m'avoir soutenu et d'avoir contribué à la réalisation de ce travail tant par son assistance en informatique que par ses conseils.

Nous remercions tout le personnel de l'IFAN, en particulier celui du laboratoire de Zoologie des Invertébrés Terrestres. Nous avons également une pensée à notre regretté secrétaire Mme Ndambao NDIAYE que la terre de Pikine lui soit légère.

Nous ne saurions oublier toute la population de Danthiady, particulièrement la famille NDIAYE et la famille BALL pour leur sympathie, leur hospitalité et leur soutien, à eux nos remerciements les plus chaleureuses. Nos pensées vont à feu Baba Baïla, à qui nous gardons toujours le souvenir d'un homme de sagesse. Que la terre de Danthady lui soit légère.

Nous remercions profondément nos parents et toute la famille DJITTE de Mékhé qui se sont toujours sacrifiés pour nous mettre dans de meilleures conditions de vie et pour nous donner une bonne éducation. Nos pensées vont également à l'endroit de ma défunte grand-mère qui a été tout pour moi et dont son affection, ses conseils et sa présence nous manquent beaucoup.

Je remercie profondément ma femme pour son soutien et sa compréhension de tous les jours.

A tous nos camarades de promotion et ceux avec qui nous avons partagé des souvenirs (Khassoum SANE, Marie Madeline DIENG, Aïbatou DIOP, Massila SENHOR, Ababacar CISSE, Nar DIENE, Pénda SARR, Said Omar SAID, Coumba Dior MBAO, Arfan, Mouhamed NDIAYE) nous leur disons merci.

A toute la Famille NDAO des Parcelles Assainies de Dakar, en particulier Abdoulaye NDAO, que nous ne remercions jamais assez pour tout le soutien qu'il ne cesse de nous montrer.

A tous ceux que nous n'avons pas pu citer nommément et qui ont participé de façon directe ou indirecte à l'accomplissement de ce travail, nous les disons merci.

UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR
ECOLE DOCTORALE: SCIENCES DE LA VIE, DE LA SANTE ET DE L'ENVIRONNEMENT
FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES
THESE DE DOCTORAT

Spécialité: Ecologie et Gestion des Ecosystèmes

Résumé

Nom et prénom du Candidat: Tamsire SAMB

Titre de la thèse: Etude de la macrofaune du sol d'une savane sahélienne dégradée dans la région de Matam (Sénégal): systématique, écologie et impact sur le sol.

Jury: Président:	M. Pape Mbacké Sembène	Professeur Titulaire	FST/UCAD
Rapporteurs:	M. Saliou Ndiaye	Maître de Conférence	ENSA/Université/ Thiès
	M. Saliou Fall	Maître de Recherche	ISRA (Dakar)
	M. Momar Talla Guye	Maître de Recherche	ITA (Dakar)
Examineurs :	M. Pape Ibnou Ndiaye	Maître Assistant	FST/UCAD
	M. Karamoko Diarra	Professeur Titulaire	FST/UCAD
Directeur de thèse :	M. Cheikh Tidiane Ba	Professeur Titulaire	FST/UCAD
Encadreur :	M. Abdouaye Baïla Ndiaye	Chargé de Recherche	IFAN-CAD

Résumé : Dans le cadre d'un programme de recherche de l'IFAN sur la macrofaune du sol d'une savane sahélienne dégradée dans la région de Matam et de leur impact sur le sol. Nous avons fait l'inventaire des espèces de Termites dans les zones de pâturage, les agro systèmes, dans les vallées sèches et dans les habitations humaines; pour ensuite évaluer l'impact de la macrofaune du sol. Une expérimentation consistant à apporter de la matière organique (MO) dans un bloc de parcelles traitée au chlorpyriphos-éthyl et dans un autre bloc de parcelles non traité est menée en vue d'évaluer l'importance des traitements sur la macrofaune du sol et sur certains paramètres physiques du sol. Cette étude a permis de recenser au moins 34 espèces de la macrofaune du sol. L'évaluation de l'impact du traitement sur la pédofaune, a permis de noter une réduction significative de la diversité, de la densité et de la biomasse de la macrofaune dans les parcelles traitées. On a noté aussi que la plupart des groupe de la macrofaune se reconstituait 9 mois après traitement du fait notamment de la faiblesse des précipitations et de la pauvreté du sol en MO. L'évaluation des paramètres d'impact montre une minéralisation plus importante dans les parcelles qui ont reçu un apport de MO. Il en est de même pour l'infiltration de l'eau et l'humidité du sol.

Cette étude a permis de mieux connaître la pédofaune de la zone mais également, la compréhension des interactions sols - Macrofaune (Termites en particulier) qui est essentielle pour lutter efficacement contre la dégradation des sols.

L'intérêt de ces études, au-delà de la connaissance nécessaire de la macrofaune du sol, est le développement de technologies simples, peu coûteux, permettant d'améliorer la productivité des sols sur la durabilité

Mots clés : Macrofaune, écologie, Systématique, Sol, Sahel, Matam, Sénégal.

INTRODUCTION

La prise en compte de la productivité durable des agrosystèmes est devenue un enjeu majeur. L'une des contraintes principales du développement de l'agriculture au Sénégal, comme dans le reste du Sahel, est la conservation de la fertilité des sols pour améliorer leur productivité. A cela s'ajoute la culture continue des terres qui érode la biodiversité des sols et accentue la perturbation de la dynamique des sols (Feller, 1995). Cette perturbation se manifeste notamment par une désaturation de la capacité d'échange organo-minéral des complexes et une perte de 50 à 60 % de la matière organique, favorisant le phénomène d'encroûtement des sols (Ambuta *et al.*, 1996). La compaction des sols élimine la macrofaune et peut entraîner selon Whalley *et al.* (1995) une réduction de la croissance racinaire des plantes et de l'activité des micro-organismes causant ainsi une baisse des rendements des cultures. Pour améliorer ces rendements, on assiste à l'utilisation de pesticides.

L'utilisation des produits phytosanitaires a permis d'augmenter considérablement les rendements agricoles par le contrôle des ravageurs et/ou des adventices des cultures (Ramade, 1974). Cependant, ces produits représentent un réel danger pour la santé humaine et pour l'équilibre des écosystèmes (De Visscher 1991; Thiam, 1991; Jäger-Mischke, 1993). Au niveau environnemental, le manque de spécificité des pesticides utilisés en protection des cultures entraîne un effet réducteur sur la diversité des Insectes de manière générale (Rafalimanana, 2003) et plus particulièrement sur ceux intervenant dans le recyclage de la matière organique et la fertilisation (Mamadou *et al.*, 2005 ; Van Der Valk *et al.*, 1998 ; Dajoz, 1959 ; Beye *et al.*, 1998 ; Danfa *et al.*, 2002). Donc une réduction de la macrofaune du sol.

La macrofaune du sol, composante la plus importante de la faune des sols tropicaux, joue un rôle essentiel dans la fertilité des sols. Elle remplit au sein des écosystèmes des fonctions essentielles dans le maintien de la qualité des sols. Parmi ces fonctions figurent i) la dégradation de la matière organique et ii) la régulation des populations de microorganismes responsables des processus d'humification et de minéralisation (Lafleur, 2003; Lavelle & Fragoso, 2000; Grassé, 1986; Bachelier, 1963).

Divers chercheurs ont démontré la possibilité de restaurer des sols dégradés par la manipulation des *ingénieurs* de l'écosystème que sont les termites, les fourmis et les vers de terre (Mando, 1997; Mando & Miedemar. 1997; Byers *et al.*, 2006; Chotte *et al.*, 2001; Samb *et al.*, 2014). Par leurs déplacements et leurs activités de construction, les termites remanient

et aèrent le sol. Par leurs activités de récoltes, ils contribuent activement à la dégradation de la matière organique, participant ainsi aux processus de fertilisation du sol.

Un certain nombre de travaux se rapportant à l'écologie (Roy-Noël & Wane, 1977; Roy-Noël, 1982; Agbogba & Roy-Noël, 1986; Samb et *al.*, 2011; Ndiaye & Samb 2012) et l'impact économique (Sarr, 1995, 1999 ; Ndiaye & Han, 2006, 2007) des termites ont été réalisés au Sénégal. Pour l'essentiel, ces travaux sont réalisés dans la partie occidentale du pays. Les termites de la partie orientale sont très peu ou pas étudiés, en particulier dans la région de Matam, zone sahélienne où la biodiversité s'est fortement érodée. En milieu agropastorale sahélien semi-aride de la région de Matam (Sénégal), où les sols sont fortement dégradés nous nous posons des questions sur:

- i) la composition spécifique de la pédofaune,
- ii) l'importance de la qualité de la matière organique utilisé comme fertilisant,
- iii) l'impact de la macrofaune sur la dynamique des sols.

Les objectifs fixés dans ce travail sont :

- La détermination les différentes espèces de termites de notre zone d'étude ;
- l'évaluation des interactions entre la macrofaune du sol et le sol.

C'est ainsi que nous avons procédé à la caractérisation des termites (inventaire des espèces de termites); nous avons mené une expérimentation consistant à apporter de la matière organique (MO) dans deux blocs, dont l'un est traité au chlorpyriphos-éthyl, et de suivre la diversité, la densité et la biomasse de la macrofaune du sol. Pour enfin évaluer l'impact des différents traitements sur la macrofaune du sol et sur les paramètres physiques du sol.

Le mémoire est composé de quatre chapitres. Dans le premier chapitre, nous avons fait une revue bibliographique dans laquelle nous avons abordé d'une part la faune du sol et d'autre part la matière organique du sol.

Dans le deuxième chapitre, nous avons décrit les caractères géomorphologiques, pédologiques et climatiques de la zone d'étude et les méthodes d'étude.

Les résultats sont présentés dans le troisième chapitre où nous avons donné le peuplement des termites dans les différents biotopes étudiés, la répartition des espèces de termites en groupes trophiques. Nous avons évalués l'impact des termites dans les habitations et les agrosystèmes. Au cours de l'évaluation des interactions entre la macrofaune du sol et le sol, nous avons fait l'inventaire de la macrofaune du sol, calculé la densité et la biomasse de cette macrofaune. Nous avons évalués les teneurs en matière organique, carbone organique, azote,

potassium, phosphore et somme des basses échangeables. Les indices d'infiltration de l'eau et d'humidité du sol sont mesurés Une analyse comparative est effectuée sur les données obtenues en première et deuxième année d'expérimentation pour voir l'évolution des paramètres étudiés.

Avant la conclusion, nous avons fait une discussion des résultats (chapitre IV).

CHAPITRE I. GENERALITES SUR LA MINERALISATION DE LA MATIERE ORGANIQUE DU SOL ET LA MACROFAUNE DU SOL

I. La matière organique du sol

La présence de matière organique dans les sols est à l'origine de l'apparition de propriétés physicochimiques favorisant le développement des végétaux cultivés ou naturels. L'augmentation de ses teneurs s'accompagne d'une amélioration de la structure, de la facilité de l'infiltration de l'eau, ainsi que du pouvoir de résistance à l'érosion (Leprun 1988). En outre, avec ses propriétés colloïdales, son caractère de substance fixatrice d'éléments et son pouvoir de chélation, elle joue un rôle chimique important dans les sols: libération d'éléments nutritifs après minéralisation et augmentation de la capacité d'échange cationique. Elle joue aussi un rôle environnemental capital en participant à contrer le phénomène de désertification et en diminuant, lorsque ses teneurs augmentent dans les sols, le dégagement de gaz carbonique pouvant rejoindre l'atmosphère et accroître les quantités de gaz responsables de l'effet de serre (FAO 2008). Au niveau agricole, sa présence contribue à une bonne nutrition des espèces cultivées, ce qui se traduit par l'augmentation des rendements et l'amélioration de la productivité (Ben Hassine et *al.* 2008).

La matière organique du sol est un important facteur écologique. Elle joue un rôle essentiel dans la stimulation de l'activité biologique. Certains organismes du sol puisent leur nourriture dans la matière organique. La matière organique constitue une source d'élément nutritif pour les plantes après une minéralisation. Elle détermine partiellement la conservation de la ressource en éléments minéraux du sol (Feller, 1995). Dans les écosystèmes de savane, la restauration de la matière organique et la fertilité dépendent des facteurs climatiques, édaphiques et des régimes hydriques (Menault et *al.*, 1985). Dans les écosystèmes forestiers, l'accumulation et la décomposition de la litière augmentent les teneurs en carbone et en azote. Dans les systèmes actuels de culture, le transfert de matière organique est assuré par un apport de fumure animale. En revanche, l'activité de la macrofaune du sol participe activement à la mobilisation de la matière organique.

1. Facteurs de minéralisation de la matière organique dans le sol

a) La nature de la matière organique

La nature de la matière organique influence le rythme de croissance des microorganismes. Il est connu que les matières organiques facilement minéralisables augmentent et diversifient la

microflore du sol et par conséquent les taux de décomposition de la matière organique.

La matière organique mesurée dans les sols peut être scindée en trois fractions différentes selon leur potentiel de minéralisation. Il est d'abord question de la matière organique labile appelée aussi fraction active à cause de sa décomposition rapide, ensuite de la matière organique lentement minéralisable et enfin de la fraction stable ou récalcitrante à la minéralisation.

La fraction labile représente entre 5 et 10% de la matière organique totale (N'Dayegamiye & *al.*, 1997). Dans une étude d'incubation conduite sur une période de 56 semaines, la fraction labile de la matière organique a été minéralisée pendant les première 26 semaines, tandis que la fraction lentement minéralisable ou récalcitrante a été minéralisée entre la 26^e et 56^e semaine (Sbih & *al.*, 2003). Les taux de minéralisation de la matière organique labile facilement minéralisable étaient 20 fois plus élevés que la fraction récalcitrante.

Soulignons par exemple que la minéralisation de l'azote de la matière organique du sol ou des matières organiques incorporées se déroule principalement en deux phases, soit une première phase de minéralisation intense de la fraction labile, pendant environ 60 jours, suivie d'une phase plus lente de minéralisation portant sur la fraction lentement minéralisable (N'Dayegamiye et *al.*, 2007).

b) L'humidité et la température du sol

Les taux de décomposition et de minéralisation de la matière organique dépendent aussi de l'humidité et de la température du sol (Zhou & *al.*, 1999). L'activité des microorganismes est faible dans les conditions de sol sec. Par exemple, les sols sablonneux bien drainés ayant une grande porosité perdent rapidement leur contenu en eau, soit par infiltration ou par évaporation. Par contre, les sols contenant de l'argile ou du limon présentent des pores plus petits et peuvent contenir suffisamment d'eau, même en période de sécheresse, pour satisfaire les besoins des microorganismes du sol. Jusqu'à une certaine limite, les activités biologiques et les taux de minéralisation augmentent avec les augmentations de température et d'humidité dans les sols.

Les variations de température dans les sols durant les saisons de croissance peuvent avoir un effet marqué sur les quantités d'azote minéralisé dans le sol (N'Dayegamiye & *al.*, 2007). Ainsi, sous un climat tempéré froid, si les conditions d'humidité sont constantes et le sol n'est pas travaillé, les plus forts taux de minéralisation peuvent s'observer aux mois les plus

chauds.

c) Texture du sol et porosité

La texture d'un sol correspond à la répartition des minéraux par catégorie de grosseur indépendamment de la nature et de la composition de ces minéraux. La porosité est l'ensemble des vides (pores) d'un matériau solide, ces vides sont remplis par des fluides (liquide ou gaz). C'est une grandeur physique qui conditionne les capacités d'écoulement et de rétention d'un substrat.

La texture du sol détermine souvent les dimensions des pores et les quantités d'air et d'eau qui y circulent. Même si les taux de minéralisation sont parfois généralement plus élevés en sols sablonneux à cause d'une plus grande aération et d'un réchauffement important, le potentiel de minéralisation peut être réduit en condition de sécheresse ou à cause de faibles teneurs en matière organique. Dans les sols de texture fine, de grande proportion de mésopores et de micropores protège la matière organique contre une minéralisation très rapide. Des études effectuées en conditions de laboratoire ont indiqué que les taux de minéralisation sont plus élevés en sol argileux en comparaison avec les sols sablonneux (Simard & N'Dayegamiye, 1993).

d) Structure et compaction du sol

La structure du sol est aussi un facteur important influençant la décomposition de la matière organique et la minéralisation d'éléments minéraux dans le sol. La structure du sol est définie comme étant un assemblage de particules primaires en agrégats de diverses dimensions. Les gros agrégats ont des dimensions variant de 0,25 mm à 5 mm de diamètre, tandis que les micro-agrégats ont un diamètre inférieur à 0,25 mm. Généralement, un sol structuré doit présenter dans sa couche arable une proportion de macro-agrégats supérieurs à 70%, ce qui assure une meilleure porosité entre les agrégats pour une meilleure circulation d'air et d'eau. De même, les macropores et mésopores formés entre ces agrégats constituent des niches pour la flore du sol. Les sols ayant une proportion plus élevée (supérieur à 60%) de micro-agrégats sont en voie de dégradation et de compactage ; ils ont un volume important de micropores, présentent une faible porosité, et par conséquent ont des mauvaises conditions de drainage. La croissance des microorganismes et des plantes y est ainsi faible (N'Dayegamiye *et al.*, 2007). L'état de la structure et de compactage des sols détermine ainsi la croissance et les activités des microorganismes, ainsi que les taux de décomposition de la matière organique et de minéralisation.

e) Les modes de travail du sol

Le travail du sol joue un rôle important sur les taux de minéralisation. Il augmente temporairement la répartition et le volume des macropores, assurant ainsi un meilleur régime d'air et d'eau dans les sols. Le travail du sol assure aussi une meilleure propagation de la température dans le sol, ceci étant propice aux processus microbiens de minéralisation. Le travail du sol agit aussi sur la taille et la localisation des matières organiques contenues à l'intérieur des agrégats, l'exposant ainsi à la minéralisation (Angers & *al.*, 1993). Un travail intensif peut conduire à la réduction des macropores et des mésopores. Ce qui conduit à l'augmentation des micropores et par conséquent au mauvais drainage, à une faible circulation d'air dans le sol. Par conséquent, il y a une réduction de la croissance et de l'activité des microorganismes. Germon et *al.* (1994) ont démontré que le travail conventionnel du sol (labour) peut permettre une plus grande minéralisation à cause des températures généralement plus élevées, contrairement au travail réduit (semis direct). Toutefois, une meilleure structure et porosité dans les sols soumis au semis direct permettent des taux de minéralisation plus élevés pendant les saisons de croissance des cultures, en comparaison avec le travail conventionnel.

Les bonnes cultures de rotation enrichissent les sols en matière organique et améliorent également la structure du sol. Elles augmentent le nombre et les activités des microorganismes dans les sols, et par conséquent les taux de minéralisation. Comme les taux de minéralisation dépendent des conditions de température et d'humidité. La minéralisation est donc graduelle au cours des saisons et est lente durant les saisons sèches.

2. Formes d'azote, de phosphore et de potassium dans les sols organiques

Les engrais, sont des substances organiques ou minérales, souvent utilisées en mélanges, destinées à apporter aux plantes des compléments d'éléments nutritifs, de façon à améliorer leur croissance, et à augmenter le rendement et la qualité des cultures sur la plupart des variétés de plantes. L'action consistant à apporter un engrais s'appelle la fertilisation. Les engrais doivent apporter:

- des éléments de base, aussi appelé macronutriments, azote (N), phosphore (P), potassium (K);
- des éléments secondaires, calcium (Ca), soufre (S), magnésium (Mg);
- des oligo-éléments, tels que le fer (Fe), le manganèse (Mn), le cuivre (Cu), le zinc (Zn), le chlore (Cl), le sodium (Na).

Ces éléments de base se retrouvent dans le sol sous différentes formes.

a) Le cas de l'azote

Dans la couche supérieure du sol, 92 à 97 % de l'azote se trouve sous forme organique (No) (Stevenson, 1986). 3 à 20 % de cet azote organique est inclus dans la biomasse microbienne (Williams & Sparling, 1984). Seules de faibles quantités d'azote sont donc directement disponibles (NO_3^- et NH_4^+ échangeables). Environ 50 % du No du sol existe sous une forme non déterminée, notamment en association avec les substances humiques (Stevenson, 1986). Par hydrolyse acide de sols organiques, Sowden (1978) a séparé les différentes formes d'azote organique à des fins d'identification. La teneur en azote total (Nt) était de 15 à 30 mg N.g⁻¹ de matière sèche. Les principaux composés identifiants étaient les acides aminés et les sucres aminés. L'azote se trouvait cependant majoritairement sous forme d'acides aminés (35 à 50 % de l'azote total). Les sucres aminés constituaient de 5 à 11 % du Nt et les formes ammoniacées constituaient 8 à 15 % de Nt. Les formes insolubles constituaient 20 à 30 % de Nt, et les formes hydrolysables non identifiées 5 à 15 % de Nt. Les sols humiques contenaient plus de composés azotés non hydrolysables, en relation avec le processus d'humification plus poussé dans ces sols. L'azote insoluble dans l'acide pourrait former des ponts entre des quinones de l'humus (Stevenson, 1986).

De nombreux processus biochimiques régulent les équilibres entre les différentes formes de N dans le sol. En particulier, la minéralisation et l'assimilation assurent l'équilibre entre les formes minérales et les formes organiques de l'azote, en fonction des paramètres physiques, chimiques et biologiques du sol. La majeure partie de l'azote minéralisable provient de la fraction organique soluble dans l'acide. De 1 à 3 % de l'azote organique serait ainsi minéralisé durant une saison de croissance, devenant donc disponible pour les plantes. Du fait du turn-over rapide du N, seule une faible part (0,1 %) du N total serait disponible à un moment donné (Stevenson, 1986).

b) Le cas du phosphore

De nombreux auteurs ont quantifié les différentes formes de phosphore organique (Po) du sol par fractionnement séquentiel. Bowman & Cole (1976) se sont intéressés à la proportion des différentes classes de stabilité du Po dans cinq sols sous prairie. Les proportions de Po variaient entre 41 % et 88 % du phosphore total. Les formes stables constituaient 59 % du Po. Les formes labiles représentaient 41 % du Po. Les formes de Po les plus courantes dans les conditions naturelles sont les esters d'acide ortho phosphorique (mono- et diester-P). Les

monoesters P sont essentiellement constitués d'inositol-P (Anderson, 1980) qui peuvent provenir de la végétation de surface ou être inclus dans la biomasse microbienne et leurs produits métaboliques. Ils se trouvent surtout sous forme d'hexophosphates, constituant plus de 60 % du Po (Ivanoff et *al.*, 1998). Certains diester-P tels que les phospholipides, glycérol phosphates, phosphatidyl choline et acides nucléiques ont été identifiés en faible quantité (1 à 2 % du Po du sol) et sont probablement contenus dans la biomasse microbienne (Stewart & Tiessen, 1987, Ivanoff et *al.*, 1998). Les quantités des différentes formes de Po dépendent généralement du mode d'extraction choisi, du type de sol, et de sa mise en valeur. Environ la moitié du Po du sol existe sous une forme qui n'a pas encore été déterminée. La plupart de ces composés non déterminés pourraient être constituées d'orthophosphates faiblement adsorbés sur les substances humiques ou liés à celles-ci par des ponts métalliques (Stevenson, 1994).

Le phosphore inorganique est présent surtout à l'état oxydé, principalement sous forme de complexes avec Ca, Fe, Al et avec les minéraux silicatés. En sol organique, il est essentiellement fixé sur Al et Fe (Kaila, 1959). Les formes de l'ion phosphate varient avec le pH. Pour des pH de 5 à 8, les formes H_3PO_4 et PO_4^{3-} sont négligeables et laissent la place à l'équilibre chimique entre $H_2PO_4^-$ et HPO_4^{2-} . A pH 6, 90% des phosphates sont sous forme $H_2PO_4^-$, contre 60% à pH 7 (Stevenson, 1986). Seule une petite partie du P du sol est directement ou rapidement disponible pour les plantes. Elle est constituée par du P soluble, du Po facilement minéralisable et du P inorganique faiblement adsorbé sur les colloïdes argileux (Stevenson, 1986).

c) Le cas du potassium

Le potassium peut se trouver dans le sol sous quatre formes différentes:

- ✓ dans la solution du sol sous forme d'ion K que la plante pourra utiliser;
- ✓ fixé sur le complexe absorbant (argile et humus) du sol sous forme de cation K^+ . le potassium de la solution du sol et du complexe absorbant est appelé échangeable ou assimilable;
- ✓ prisonnier entre les feuilles d'argile : le potassium rétrogradé ; celui-ci pourra être libéré lorsque la partie assimilable se sera appauvrie. La quantité ainsi retenue varie selon le type d'argile. Le passage du potassium interne de l'argile à la fraction assimilable est très lent;
- ✓ contenu dans la roche mère : sous forme insoluble, sa mise à disposition de la plante est très lente et n'est pas prise en compte pour l'établissement du plan de fumure.

Dans les sols, ce sont surtout les minéraux argileux qui constituent à la fois le principal réservoir et le piège à potassium. Par ailleurs, l'humus du sol peut constituer une source non négligeable de potassium. La teneur et le type d'humus déterminent le potentiel de ce gisement potassique. Pour l'agriculture biologique, il est la source principale d'entretien de la fertilité du sol (Mhiri, 2002). A l'exception de certains sols franchement sableux, riche en feldspaths potassique (sable arkosique), les sols à texture fine (texture argileuse, argilo-limoneuse,...) sont potentiellement plus riche en K total que les sols à texture grossière. Mais la teneur en K total d'un sol ne préjuge pas du niveau de disponibilité de cet élément pour la plante cultivée (biodisponibilité) (Mhiri, 2002)

II. La macrofaune du sol

II.1. La biodiversité dans le sol

La réduction de la biodiversité est l'un des principaux facteurs de dégradation des services éco systémiques et de perte de résilience des écosystèmes (Chapin et *al.*, 2000). Un nombre croissant d'études montre que la fertilité durable des sols dépend des interactions entre la végétation et la faune du sol (Lavelle & Sapin, 2001). En dépit de son importance sur le fonctionnement des écosystèmes, la faune du sol a été jusqu'ici ignorée dans la plupart des inventaires et des programmes de conservation et de gestion de la biodiversité.

Barbault (1992a) revient sur le préambule de la convention de la biodiversité qui souligne d'une part l'importance de la biodiversité sur le plan génétique, social, scientifique, éducatif, culture et environnemental et d'autre part sur son importance sur l'évolution et la conservation des systèmes qui entretiennent la biosphère. Cette préoccupation autour de la question de la biodiversité témoigne de la prise de conscience de la dégradation des écosystèmes et de l'intérêt d'une bonne appréhension des processus qui régissent leur fonctionnement pour prétendre à une gestion durable (Solbrig, 1991).

La diversité biologique se manifeste à tous les niveaux d'organisation des systèmes biologiques, depuis les complexes moléculaires jusqu'aux écosystèmes (Solbrig, 1991; Barbault & Hochberg, 1992). Barbault (1992a) estime qu'il est important de mettre l'accent sur une structuration hiérarchique de la biodiversité; c'est ainsi qu'il distingue: i) la diversité intra spécifique appréhendée à l'échelle de la population et des espèces, ii) la diversité spécifique appréhendée à l'échelle des groupes fonctionnels et iii) la diversité fonctionnelle définie à l'échelle des réseaux trophiques et des écosystèmes où les unités élémentaires sont

les groupes fonctionnels d'espèces. Par ailleurs, Crow et *al.*, (1994) distinguent 3 types de biodiversité:

- la diversité compositionnelle qui considère le nombre de taxons présents dans un espace;
- la diversité structurelle qui peut être caractérisée à travers la distribution horizontale et verticale des plantes par leur distribution de classe d'âge ou de taille;
- la diversité fonctionnelle qui s'intéresse aux processus écologiques qui se déroulent dans l'écosystème considéré.

La diversité biologique est, le plus souvent, définie dans le sens du nombre d'espèces dans un biotope (Krebs, 1989; Wittacker, 1977). Cette expression de la diversité biologique qui détermine la richesse spécifique semble délicate à réaliser à travers les difficultés de recenser d'une manière exhaustive toutes les espèces présentes dans un biotope. Solow (1993) montre qu'en terme qualitatif, la diversité biologique peut s'exprimer à travers les différences morphologiques, biologiques et physiologiques entre espèces. Pour lui, la description de la composition de la communauté en terme du nombre d'espèces entraîne une perte d'information sur la structure numérique, qui est un bon indicateur dans les écosystèmes ; la répartition des espèces n'étant pas homogène, certaines espèces sont communes d'autres sont rares.

D'après Tilman (1986), l'hétérogénéité spatiale des écosystèmes, d'une part et la variabilité temporelle des ressources d'autre part, définissent la structure fonctionnelle des communautés. Plus un milieu est diversifié, meilleur est son rendement dans l'exploitation de l'apport énergétique. Les écosystèmes qui présentent une disponibilité forte des ressources établissent une solide interaction entre les organismes. Par contre, les conditions de faible disponibilité en ressources favorisent une compétition interspécifique (Medina & Hubert, 1992). Par ailleurs, la modification des facteurs biotiques ou abiotiques se manifeste soit par une convergence morphologique ou structurelle qui définit les relations de compétition entre espèces ou une divergence fonctionnelle qui améliore le fonctionnement des écosystèmes (Barbault, 1992b).

Ce concept de la diversité est différent de sa signification écologique qui prend en compte l'abondance relative des espèces et leur organisation dans une communauté en relation avec les facteurs environnementaux. Cette expression de la diversité fait appel à un échantillonnage

des organismes présents dans une aire déterminée. Ce qui permet d'établir des relations mathématiques qui tiennent compte de la taille de l'échantillon et de la distribution des espèces (Daget, 1976).

II.1.1. Classification et rôle de la macrofaune du sol

La macrofaune regroupe les individus de taille comprise entre 4 et 80 mm (Bachelier, 1963). Ces organismes sont abondants au niveau des 10 premiers centimètres du sol (Diop, 2007). Ce sont des invertébrés dont certains construisent des structures organominérales de grande taille qui peuvent persister pendant de longues périodes (de quelques mois à plusieurs années). En Afrique tropicale, ces organismes comprennent principalement les termites (Isoptères), les vers de terre (Oligochètes, Lombricidés) et les fourmis (Hyménoptères, Formicidae) d'après Chotte *et al.* (2001). En raison de l'impact de leur activité sur les caractéristiques du milieu, ces organismes sont aussi appelés les *ingénieurs* du sol (Chotte *et al.*, 2001). Les *ingénieurs* du sol constituent, avec les Arachnides (Aranéides, Pseudoscorpions, Scorpions), les Myriapodes (Diplopedes et Chilopodes) et les Coléoptères, les principaux groupes de la macrofaune. Sont associés à ces groupes, les larves de Diptères, les larves de Lépidoptères, les Mollusques, quelques Crustacés terrestres (Isopodes), les Dictyoptères, les Homoptères, les Héteroptères et les Onychophores (Bachelier, 1963; Kondoh *et al.*, 1980 ; Lee & Foster, 1991 ; Black & Okwakal, 1997; Chotte *et al.*, 2001; Esse *et al.*, 2001; Diop, 2007).

La macrofaune du sol peut être définie selon la source de nourriture et la localisation en organismes épigés, anéciques et endogés.

Les organismes épigés se nourrissent exclusivement de la litière à la surface du sol et y vivent en permanence. Il s'agit de vers de terre (Lee & Foster, 1991 ; Hervé, 1958; Ponel, 1993).

Les organismes anéciques se nourrissent de la litière de surface qu'ils enfouissent dans les galeries généralement verticales: vers de terre pigmentés.

Les organismes endogés se nourrissent exclusivement de l'humus du sol qu'ils ingèrent sur leur passage, créant ainsi de vastes réseaux de galeries sans jamais remonter à la surface du sol.

La macrofaune du sol constitue une ressource qui remplit au sein d'un écosystème des fonctions essentielles pour le maintien de la qualité des sols (Lavelle & Fragoso, 2000).

a) Les vers de terre

Les vers de terre ne forment pas un groupe systématique en ce sens qu'ils ne sont pas un groupe monophylétique. En effet, on désigne par ce nom plusieurs animaux. Depuis Darwin, les vers de terre ont été l'objet d'un nombre très important d'études que ce soit dans les milieux tempérés ou tropicaux.. Il existe 3 catégories de vers de terre qui remplissent des fonctions différentes dans les écosystèmes (Bachelier, 1963; Menault et *al.*, 1985; Feller et *al.*, 1993):

- les vers épigés qui vivent et se nourrissent dans la litière;
- les vers anéciques qui vivent dans le sol à l'intérieur des galeries et qui jouent un rôle dans l'enfouissement de la litière;
- les vers endogés qui vivent dans le sol et se nourrissent de la matière organique.

Leurs déjections déposées à plus de 90% dans le sol jouent un rôle important dans l'agrégation des sols des savanes. Lavelle et *al.* (1991) ont remarqué que 1,7 à 3,5% de la quantité de terre ingérée sont rejetés sous forme de terricules. Les vers augmentent la porosité et l'infiltration de l'eau par leur système de galeries (Aina, 1984). Les diamètres des macropores créés par les vers endogés peuvent varier entre 3 et 12 mm (Bachelier, 1963). En outre, Blanchart (1982) remarque que les vers de terre régulent l'agrégation et la dynamique de la matière organique. Les nombreuses terricules déposées en surface et les structures créées en profondeur modifient la structure physique et chimique des sols.

Dans les zones tempérées, les peuplements sont dominés par les vers de terre anéciques qui construisent des galeries verticales à sub-verticales. Ces galeries ont un rôle particulièrement important dans les flux de gaz et d'eau entre le sol et l'atmosphère.

Dans les zones tropicales, ce sont les vers de terre endogés qui dominent les peuplements. Ces organismes sont capables d'ingérer de grandes quantités de terre. Ainsi, un individu peut consommer jusqu'à 35 fois son propre poids de terre (Lavelle, 1996). Les quantités ingérées annuellement par un peuplement sont alors impressionnantes. Jusqu'à 2600 tonnes de terre par hectare et par an peuvent être ingérées. Ce qui est l'équivalent d'une couche de terre de 20 cm qui passerait chaque année dans le tube digestif des animaux (Blanchart & *al.*, 1997). Ces vers de terre sont donc en grande partie responsables de la formation et du maintien de la structure observée dans les sols de différents écosystèmes (Blanchart, 1982). De plus, des recherches ont pu montrer que les vers de terre avaient différents effets sur la structure du sol

(Blanchart et *al.*, 1997). Certaines espèces augmentent la densité apparente des sols, on les appelle des « compactant », alors que d'autres diminuent cette densité apparente, on les appelle des « décompactant ». L'effet sur la structure du sol dépend également des propriétés inhérentes aux sols (texture, minéralogie). Par exemple, les vers de terre peuvent modifier la structure des sols ferrallitiques tropicaux, mais ne vont pas affecter la structure d'autres sols comme les vertisols (Blanchart et *al.*, 2004). Les conséquences de l'action des vers de terre sur le fonctionnement du sol sont alors très variables, notamment vis-à-vis de l'érosion (Blanchart et *al.*, 2004).

b) Les Myriapodes

Les myriapodes forment un clade dont la monophylie est encore discutée. Les 4 classes (Chilopodes, Diplopodes, Pauropodes et Symphyles) qui le composent pourraient ne pas être apparentées. Les Diplopodes constituent le principal groupe de myriapodes qui interviennent le plus dans les écosystèmes de savane. Ils sont saprophages ou phytophages, se nourrissent de débris végétaux (Bachelier, 1963). Les Diplopodes consomment 7 à 10% de la litière et 4 à 16% seulement de cette litière ingérée sont utilisés par l'animal en forêt tempérée. Striganova (1971) a remarqué, dans le Caucase, que les Diplopodes, avec une densité de quelques dizaines d'individus par mètre carré sont capables de composter par raison de 300 kg.ha⁻¹ de feuilles dont ils assimilent 30 à 40%. Ils mélangent les débris végétaux avec le sol minéral. Ils réduisent la litière en petits fragments qui peuvent être repris par d'autres groupes de la faune du sol. Dans l'ensemble, leur activité a une importante action sur les propriétés du sol.

c) Les termites

Les termites appartiennent à l'Embranchement des Arthropodes, à la Classe des Insectes et à l'Ordre des Isoptères. Les termites sont considérés comme un groupe-clé dans les écosystèmes arides et semi-arides (Whitford, 1991; Black & Okwakal, 1997). Le comportement de cette macrofaune est très varié selon le groupe trophique et induit d'importantes modifications à la pédogenèse. Le système complexe de leur prise de nourriture, la construction de leur nid (épigé, partiellement ou entièrement hypogé) et la nature diversifiée de leur alimentation sont les principaux facteurs qui influencent la structure du sol. Wood & Sands (1978), Lobry De Bryn & Conacher (1990) et Jones (1990) ont fait d'importantes synthèses de nombreux travaux qui ont été effectués sur l'effet des termites sur les propriétés physiques et chimiques des sols.

Leur action sur la structure physique du sol est liée à leurs activités de récolte et de

construction. Dans les savanes africaines, ce sont les termites *Macrotermitinae* qui sont dominants (Wood & Sands, 1978). Certaines espèces construisent des nids hypogés (genre *Microtermes*, *Ancistrotermes*, *Odontotermes*); les espèces du genre *Macrotermes* font des nids épigés qui peuvent avoir des dimensions considérables. Dans les savanes humides de Côte d'Ivoire, Tano (1994) a constaté que le volume des nids peut varier entre 108,75 et 551,98 m³.ha⁻¹ et ils sont plus grands sur les sols rouges ferralitiques, les sols ocre ferralitiques et les sols hydromorphes argileux. Les nids de *Cubitermes* spp. (humivores) et *Trinervitermes* spp. (Fourrageurs), qui sont de taille plus petite, représentent respectivement 1,2 et 0,5 cm³ par carré moyen d'un hectare en volume apparent couvrant une aire au sol de 4 et 5,3 cm³ (Tano, 1994). Toujours selon le même auteur, on remarque que *Cubitermes* spp. s'installe de préférence sur les sols hydromorphes, la densité est de 188nid. ha⁻¹ et *Trinervitermes* spp. sur les sols ferrugineux (68 nid. ha⁻¹). Soki et al., (1996) ont dénombrés une densité de 139 nid. ha⁻¹ pour *Cubitermes speciosus* en zone humide en RDC ex Zaïre. Dans la presqu'île du Cap-Vert, Roy-Noël (1971) a fait remarquer que le genre *Macrotermes* ne s'installe que lorsque le teneur en argile du sol est compris entre 5% et 10%.

A travers leurs constructions, les termites remontent en surface une quantité importante de sol néogène riche en éléments fins qu'ils mobilisent à travers leurs constructions (Lee & Wood, 1971 ; Lepage, 1974 ; Wood & Sands, 1978 ; Arshad, 1982). En savane humide de Côte d'Ivoire, Tano (1994) remarquait un taux de 53% d'éléments fins (argile et limon) dans un nid de *Cubitermes* et 30% dans le sol témoin. Chez les *Macrotermes*, la construction se fait suivant un tri qui privilégie les argiles et les limons (Mc Comie & Dhanrajan, 1993). La quantité de terre épanchée par le genre *Macrotermes* pour faire ses placages pendant ses récoltes peut atteindre 675 à 950 kg/an et par hectare dans les savanes sahéliennes du Sénégal (Lepage, 1974). Dans les savanes arides du Kenya, Bagine (1984) a constaté que le genre *Odontotermes* produit des placages au sol dont le volume de terre mobilisé est estimé à 1059 kg.ha⁻¹. En savane humide, la quantité de terre mobilisée dans les placages de *Macrotermes* peut atteindre 300kg.ha⁻¹ et en fin de récolte, les placages sur les tiges de maïs sont estimés à 250 kg.ha⁻¹ (Wood & Sands, 1978). Les termites humivores ne disposent pas d'une grande zone d'influence ; leur action est limitée dans les horizons superficiels du sol (1 à 25 cm) et leur rayon d'action n'excède pas 4 m (Garnier-Sillam & al., 1991). Les mêmes auteurs ont constaté que l'espèce humivore *Thoracotermes macrothorax* améliore considérablement la stabilité structurale de son aire d'influence tandis que l'espèce champignoniste *Macrotermes mulleri* déstabilise son aire trophique. Par ailleurs, Mando & Miedema (1997) ont remarqué

que l'activité des espèces du genre *Macrotermes*, *Microtermes* et *Odontotermes* a un effet favorable à la destruction des croûtes latéritiques. Ils jouent un rôle prépondérant dans la réhabilitation des sols encroûtés des savanes sahéliennes. Les sols sous leur influence présentent un système de galeries associé au nid et lié à l'activité de récolte. Le diamètre de ces galeries varie entre 0,8 et 1,2 mm pour le genre *Microtermes* et pour le genre *Odontotermes*, il varie entre 2 et 5 mm (Kooyman & Onck, 1987). Tano (1994) estime la densité des trous de sortie des termites à 300/m² dans une savane de Côte d'Ivoire. Darlington (1982) a estimé que les galeries de récolte du genre *Macrotermes* forment un réseau estimé à 1,9 m/m² entre 0 et 15 cm de profondeur. Ce réseau de galeries peut permettre des mouvements d'eau particuliers sous la termitière de *Macrotermes*. L'eau emprisonnée s'évapore par capillarité en saison sèche; les éléments en suspension précipitent et enrichissent le sol sous la termitière et le sol environnant en éléments minéraux (Boyer, 1971).

Cet effet de l'activité des termites supérieurs sur la macroporosité des sols influence positivement l'infiltration de l'eau, l'aération du sol et la pénétration des racines. En milieu désertique Elkins et *al.*, (1986) ont remarqué une plus grande densité apparente du sol et une faible infiltration de l'eau dans les sols où les termites ont été éliminés. Les taux d'infiltration dans les parcelles dans lesquelles les termites ont été éliminés est significativement plus faible (51,3 mm.h⁻¹) que dans les parcelles où les termites sont présents (81,4 mm.h⁻¹). De son côté, Whitford (1991) a constaté que les zones étudiées en l'absence de termites présentent une densité apparente de 1,99 g.cm³, une porosité de 25% et une infiltration de 51 mm.h⁻¹. Par contre, dans les zones sous l'influence des termites, la densité apparente est de 1,7 g. cm³, la porosité est de 36% et l'infiltration de 88 mm.h⁻¹. Dans les savanes semi-arides au Burkina Faso, Mando (1997) a remarqué que l'activité des termites en présence de litière herbacée et ligneuse contribue à l'amélioration de l'humidification et des réserves hydriques des sols encroûtés. Garnier-Sillam et *al.*, (1991) ont constaté que l'espèce humivore *Thoracotermes macrothorax* augmente la macroporosité du sol plus que *Macrotermes mulleri* (espèce champignoniste). L'action de l'espèce humivore se traduit par la formation d'un sol épigénique de surface dont la texture est équilibrée entre sable et argile, qui favorise une macroporosité. Par contre, chez le termite champignoniste, la grande quantité de litière récoltée et la remontée en surface d'un taux élevé d'argile expliquent la diminution de la porosité totale.

Par ailleurs, les termites sont considérés comme d'importants décomposeurs dans les zones

tropicales semi-arides où ils jouent un rôle important dans le cycle des éléments nutritifs (Holt, 1996). La richesse en éléments minéraux et organiques des sols remaniés par les termites a permis à Endubu et *al.* (1992) de tester le pouvoir fertilisant de ces sols sur la croissance du matériel végétal et la productivité. Leur étude a montré que les sols de termitière sont plus fertiles que les sols témoins, mais moins riches que l'engrais complexe N.P.K. Les auteurs ont alors conclu qu'il est possible d'envisager l'utilisation des sols de termitière comme fertilisant dans les zones où il existe une forte densité de termitières.

d) Les fourmis

Les fourmis appartiennent à l'embranchement des Arthropodes, à la classe des Insectes, à l'ordre des Hyménoptères et à la famille des Formicidés. Les fourmis jouent aussi un rôle non moins important sur les propriétés physiques des sols dans les écosystèmes de savanes. Elles remontent en surface une quantité importante de sol. Au Brésil, Weber (1966) a estimé que cette remontée peut atteindre 40000 kg.ha⁻¹. Par contre les fourmis utilisent un sol plus grossier que les termites. Lal (1988) a constaté que le sol constituant le nid des fourmis est composé de 86% de sable, 4% de limon et 5% d'argile. L'action des fourmis se limite à une profondeur de 30 cm. Leurs actions sur les propriétés physiques des sols augmentent les capacités d'infiltration de l'eau (Majer et *al.*, 1987). Catangui et *al.*, (1996) ont constaté que la répartition d'abondance des fourmis est influencée par les propriétés physico-chimiques du sol. Les sols sous leur influence sont riches en C, P₀₄ et N, mais aucune modification de la matière organique n'est constatée par rapport au sol témoin (Lobry De Bruyn & Conacher, 1990). L'augmentation de la teneur en azote dans les nids est liée à la décomposition des graines stockées chez les espèces de graminées. Westoby et *al.*, (1991) ont constaté que leur capacité dans la dispersion des graines leur confère un important rôle dans la succession de la végétation. Les galeries qu'elles font jouent un rôle dans la structure physique du sol (Jackson & Fox, 1996). Eldridge (1994) estime qu'*Aphenogaster barbigula* remonte en surface environ 33,6 kg.ha⁻¹.an⁻¹ dans les écosystèmes semi-arides en Australie.

e) Les Coléoptères

Les Coléoptères forment un ordre appartenant à la classe des Insectes et à l'embranchement des Arthropodes. Ils constituent un groupe important après les termites, les vers de terre et les fourmis. Bachelier (1963) a remarqué que les Coléoptères sont inféodés dans les sols riches en argile et limon susceptibles de garder l'humidité du sol. Pour beaucoup d'espèces, le

développement larvaire s'effectue dans le sol, ce qui leur confère une action sur les propriétés physique du sol.

CHAPITRE II. MATERIEL ET METHODES

I. Milieu d'étude

I.1. Localisation

Créée par la loi 2002-02 du 15 février 2002 complétée par le décret 2002-166 du 21 février 2002, la région de Matam est située entre 14°20 et 16°10 de latitude Nord, 12°40 et 14°60 de longitude Ouest. Elle est limitée au Nord par la République Islamique de Mauritanie et la région de Saint-Louis, au Sud et au Sud-est par la région de Tambacounda, au Sud-ouest par la région de Kafrine, à l'Est par la République Islamique de Mauritanie et à l'Ouest par la région de Louga. Le fleuve Sénégal borde la région sur toute sa partie orientale et septentrionale, sur une longueur d'environ 200 Km. La région couvre une superficie de 29616 Km², soit environ 1/7 du territoire national. Ce qui fait d'elle la seconde région la plus étendue du pays après celle de Tambacounda.

Notre site d'étude, Danthiady, situé dans la région de Matam (fig. 1). Sur la nationale 3 (route Matam-Linguère), Danthiady se trouve dans le *dieri* agro-pastorale à 12 km d'Ourossogui.

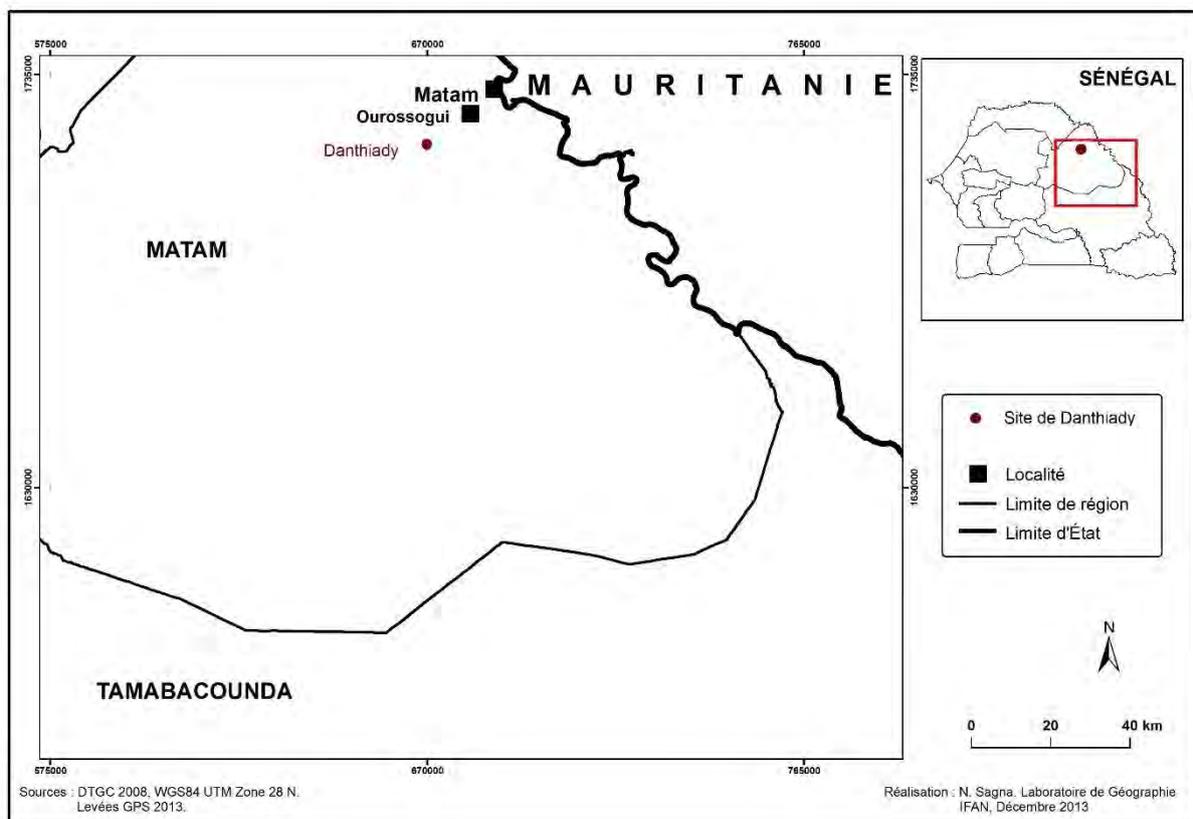


Figure 1. Localisation de la zone d'étude

I.2. Géomorphologie

Le relief, caractérisé par une vaste plaine incisée de vallées, est relativement plat par rapport au reste du pays. Ce relief permet de distinguer trois (03) zones éco géographiques distinctes :

- la vallée du fleuve constituée de dépressions et de micro reliefs appelées communément *dande mayo* ;
- la zone du Ferlo, latéritique dont la majeure partie de son espace est sableuse dans sa partie occidentale (vers Lougré Thioly et Véligara) ;
- le *direi* ou zone intermédiaire.

I.3. Les données pédologiques

La région de Matam présente un paysage issu des modifications d'ordre orogéniques, tectoniques et paléo climatiques des formations sédimentaires du «Continental terminal». En effet, cette région étudiée appartient au bassin sénégalo-mauritanien. Au cours des âges géologiques, la mer s'est avancée progressivement vers l'intérieur de ce bassin de subsidence. Au Lutétien, elle atteignait Bakel. A la fin du Tertiaire, les parties occidentales et centrales du bassin sont totalement émergées. On y trouve une accumulation de dépôts continentaux grésos-argileux hétérogène, c'est le «Continental terminal» (Michel, 1969).

Au Quaternaire, la surface aplanie du «Continental terminal» subit un cuirassement. Le Quaternaire est marqué par des alternances de périodes humides et de périodes sèches, entraînant l'altération de la cuirasse ferrugineuse et la formation de matériaux sableux dunaires. Ces formations sableuses, qui donnent à la région un modelé dunaire particulier et différent suivant leur ancienneté, recouvrent les dépôts plus anciens.

Les différents types de formations sableuses, la profondeur de la cuirasse, les accidents topographiques locaux et l'abondance relative des précipitations conditionnent la répartition des types de sols. On note 4 types de sol dans la région de Matam :

- sols de la berge du fleuve et des marigots appelés *falo*, partie submersible;
- sols des levées fluviales appelés *foonde* qui sont à l'abri des faibles crues, partie non submersible ;
- sols lourds des cuvettes de décantation appelés *hollalde* ils peuvent subir une longue durée de submersion au moment de la crue;
- sols dunaires (*dieri* et Ferlo sableux) de texture essentiellement sableuse (*dior*)

pauvre en matière organique avec un taux d'argile faible (5%). Ce dernier type de sol est celui de notre zone d'étude. La réaction du sol dans les quarante premiers centimètres indique une acidité comprise entre 5,5 à 6,5.

I.4. Les données climatiques

1. Réseau hydrographique

- Eaux de surface

La région de Matam est marquée par la prédominance du fleuve Sénégal qui est la principale ressource en eau de surface et qui traverse la région sur 200 km. Ce fleuve revêt une importance sociologique certaine qui structure globalement la vie des populations. Un de ses deux défluent le *Diamel*, forme au Nord une large boucle qui englobe le quartier de *Diamel* dans une île. Au Sud, un autre défluent, le *Dioulol* se joint au *Diamel* et en période de fortes crues, ils se déversent dans une vaste zone d'épandage formant ainsi le *Collongal* de Matam-Ourossogui.

En saison des pluies, l'ensemble de la région se couvre d'une multitude de petites mares temporaires alimentées par les eaux de pluies. Le déficit hydrique enregistré (entre 12 et 35%), conséquence de la baisse des précipitations, a grandement affecté le fleuve mais avec la mise en service des barrages de *Diama* et *Manantali*, le potentiel en eaux de surface s'est trouvé renforcé.

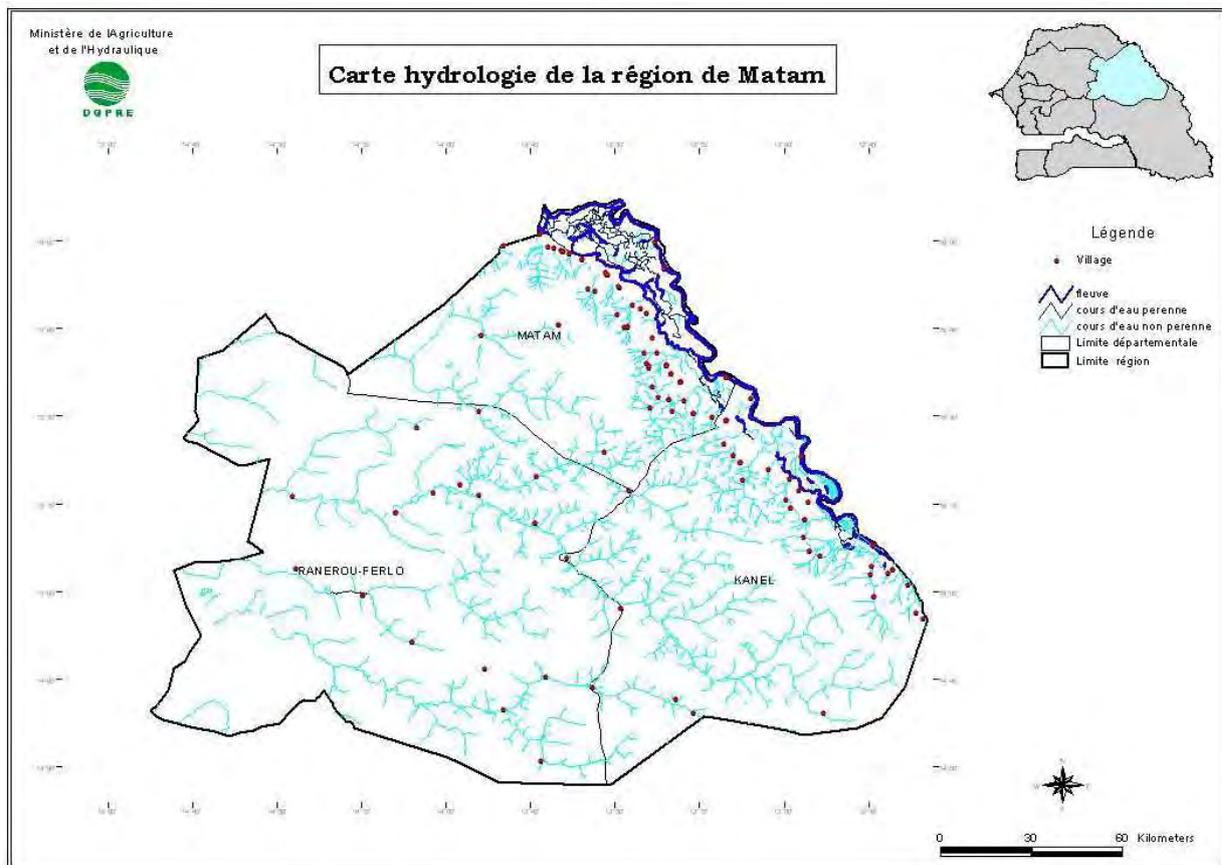


Figure 2 : Réseau hydrologique de la région de Matam

- Eaux souterraines

Deux principales sources d'eau souterraines sont recensées dans la région de Matam :

- ✓ La nappe du Maestrichtien accessible à moins de 90 mètres dans certains endroits, leur profondeur peut atteindre parfois plus de 300 mètres. Elle assure la satisfaction des besoins en eau des populations. Cette nappe n'est accessible que par forage;
- ✓ La nappe phréatique peu profonde, elle se situe entre 25 et 100 mètres de profondeur et qui est captée par puits. Ces ressources sont renouvelables et disponibles en quantité.

2. Les facteurs climatiques

Le climat local subit l'influence du désert mauritanien qui étend ses vagues de chaleur sèche et de poussières sur toute la zone du *dande mayo*. Les moyennes de températures enregistrées

à Matam restent assez élevées tout au long de l'année avec des précipitations moyennes dépassant rarement 500 mm. Les dernières années sont marquées par un déficit pluviométrique accru aux conséquences multiples aussi bien sur les ressources naturelles que sur les activités économiques. Le bilan climatique met clairement en évidence avec un ensoleillement quasi annuel, une saison des cultures sous pluies de juillet à septembre et de cultures de décrue d'octobre à février.

a) Pluviométrie

La région de Matam, située en zone soudano-sahélienne enregistre une pluviométrie relativement faible avec des moyennes annuelles dépassant rarement 500 mm. La saison des pluies dure en moyenne trois à quatre mois et va de juin à septembre. Août est le mois le plus pluvieux. De 2004 à 2013, la moyenne mensuelle de ce mois ne dépasse pas 160 mm. La région subit de plein fouet le déficit pluviométrique qui affecte l'ensemble des régions du pays depuis de nombreuses années et qui se manifeste par une migration des isohyètes vers le sud.

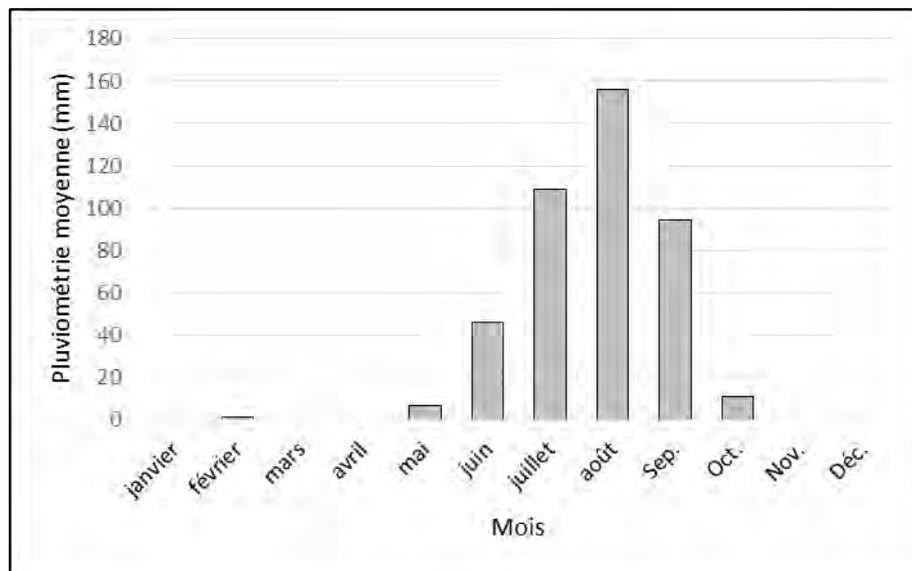


Figure 3. Pluviométrie moyenne (mm) mensuelle enregistrée de 2004 à 2013 à la station de Matam (source ANACIM)

Les diagrammes ombrothermiques de 2005 à 2008 montrent généralement trois mois humides et neuf mois biologiquement secs qui caractérisent la région. Cependant, en 2006 et 2007, seulement un mois (août) est humide.

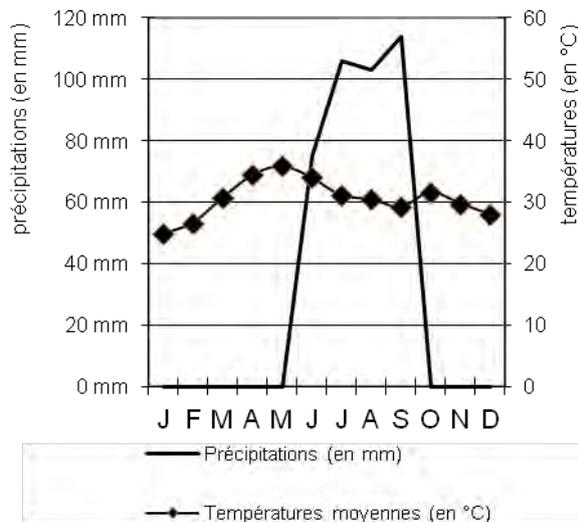


Figure 4. Climatogramme de 2005

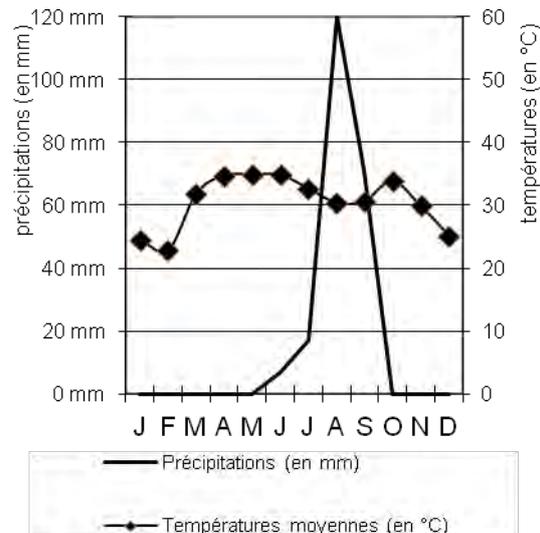


Figure 5. Climatogramme de 2006

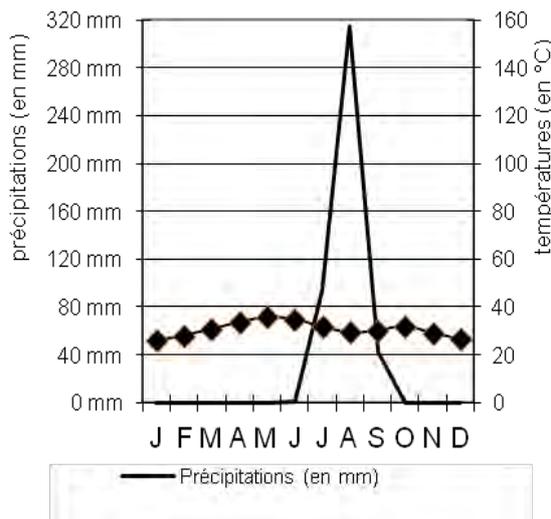


Figure 6. Climatogramme de 2007

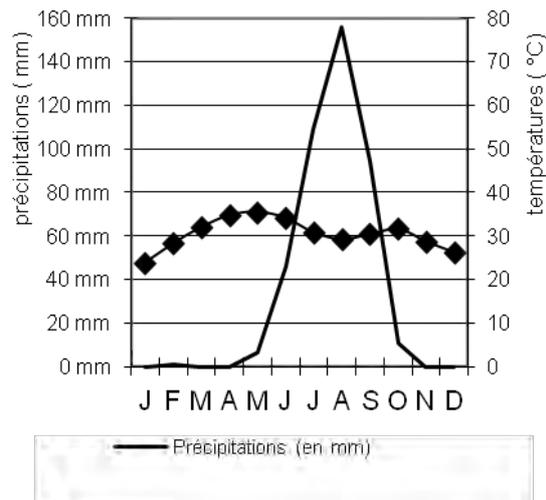


Figure 7. Climatogramme de 2008

Des indices pluviométriques ou d'aridité, sont calculés en utilisant la formule suivante :

$$IA = \frac{P}{T^2 - 10T + 200}$$

IA=indice d'aridité annuel ; P = pluies annuelles ; T: température moyenne annuelle

Une valeur d'IA comprise entre 0,25 et 0,50 indique un climat subdésertique, entre 0,50 et 1, un climat aride. Le même indice calculé dans la région de Matam en 2005, 2006 et 2007 fournit respectivement les valeurs 0,48; 0,25 et 0,54.

b) Température

Le climat de la région est caractérisé par une période de haute température qui dure cinq (05) mois (de février à juin) avec des maxima qui atteignent plus de 45°C et une période de basse température de sept (07) mois (de juillet à janvier) avec un adoucissement du climat dû aux précipitations et à l'installation de la saison froide.

La température moyenne régionale est estimée à 30,3°C au cours des dix dernières années. Il faut noter que cette moyenne cache de fortes disparités si l'on sait que la région enregistre plusieurs fois des températures qui sont généralement supérieures à 45°C.

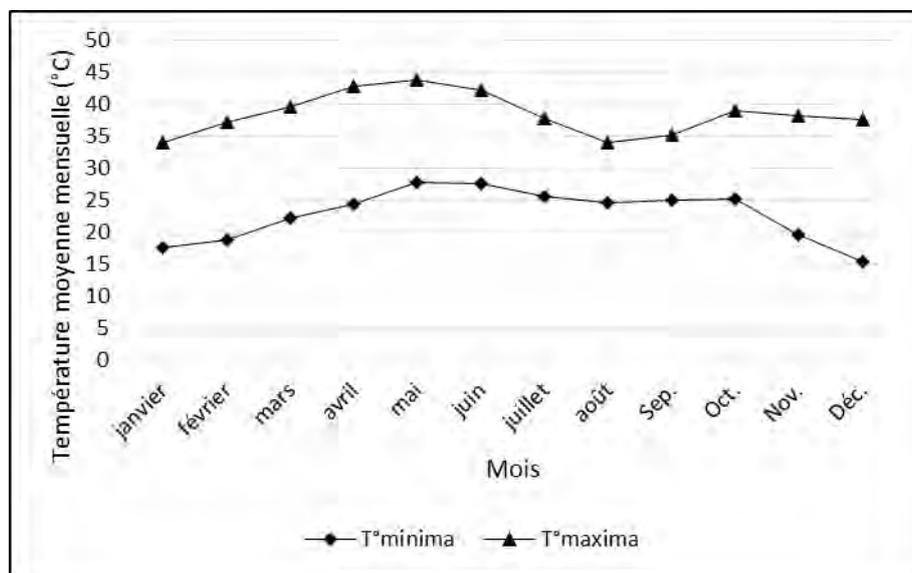


Figure 8. Températures moyennes mensuelles enregistrées de 2004 à 2013 à la station de Matam (source ANACIM)

c) Humidité relative

L'humidité relative de l'air ou degré d'hygrométrie, correspond au rapport de la pression partielle de vapeur d'eau contenue dans l'air sur la pression de vapeur saturante (ou tension de vapeur) à la même température et pression. Elle est donc une mesure du rapport entre le contenu en vapeur d'eau de l'air et sa capacité maximale à en contenir dans ces conditions. Ce rapport changera si on change la température ou la pression bien que l'humidité absolue de l'air n'ait pas changé. Elle est mesurée à l'aide d'un hygromètre.

L'humidité relative de la région connaît une évolution en dent de scie puisqu'on enregistre des hauts et des bas. Les plus faibles valeurs sont enregistrées au mois d'avril et les plus fortes

valeurs au mois d'août et de septembre. Cette hausse pourrait s'expliquer par une hausse de précipitation durant cette période

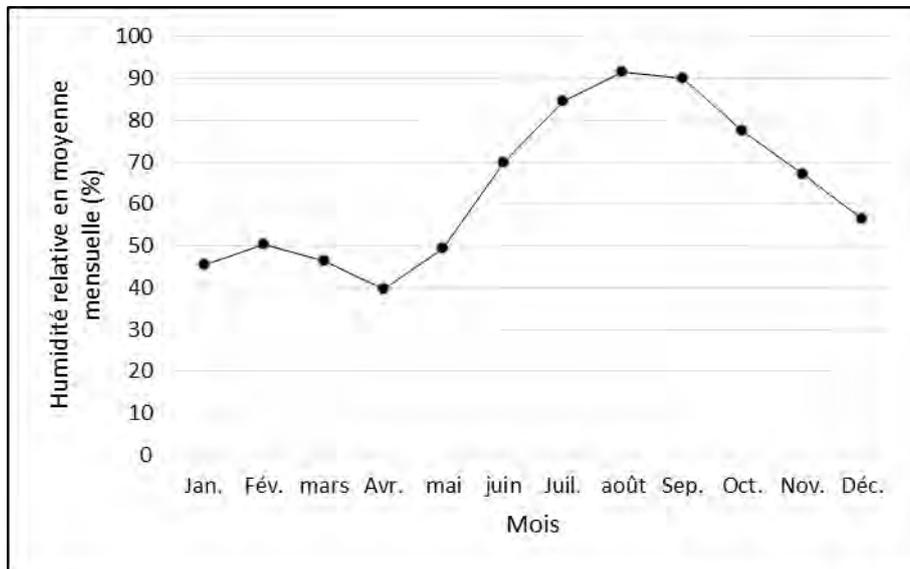


Figure 9. Evolution de l'humidité relative moyenne mensuelle entre 2004 à 2013 à la station de Matam (source ANACIM)

d) Insolation

L'insolation ou l'ensoleillement est la durée totale en heure au cours de laquelle le soleil n'a pas été caché par les nuages. L'insolation est moins importante en saison des pluies qu'en saison sèche. La durée moyenne de l'ensoleillement est d'environ 7 à 8 heures par jour. Mais il faut noter qu'il arrive des périodes où on a environ 12 heures d'ensoleillement par jour. Ce fort potentiel cumulé permet d'avoir les résultats ci-dessous (fig.10). Ils montrent que dans l'année, on bénéficie pendant environ un tiers du temps du Soleil.

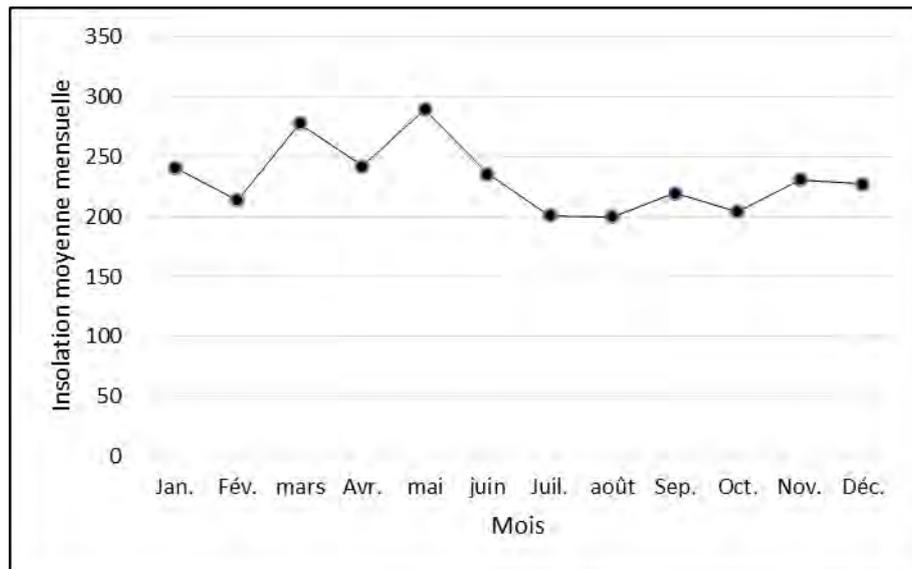


Figure 10. Insolation moyenne mensuelle de 2004 à 2013 à la station de Matam

(Source ANACIM)

e) Les Vents

La succession des saisons est déterminée par l'origine des vents, leur température et leur teneur en vapeur d'eau. Ainsi, on distingue les vents de saison sèche et les vents de saison des pluies.

En saison sèche souffle l'Alizé boréal continental, issu de l'anticyclone du Nord-est, qui atteint le Sénégal après avoir traversé le Sahara. Ce vent possède une faible humidité relative et une température variable.

En saison des pluies, venant de l'anticyclone de Sainte-Hélène, souffle l'Alizé équatorial maritime, également appelé Mousson qui se charge d'humidité dans sa progression vers le Nord en suivant le mouvement apparent du soleil. Il souffle au Sénégal du secteur Sud-ouest. Il existe aussi la mousson proprement dite, vent faible, régulier et humide, attiré par la dépression continentale de l'été boréal.

La majeure partie de l'année souffle un vent d'Est qui traverse toute l'Afrique d'Est en Ouest. Ce vent, nommé Harmattan, est issu des hautes pressions continentales. Il est très chaud et sec.

Les variations de la vitesse du vent obtenues au cours des années allant de 2004 à 2013 montrent que durant la presque totalité de la saison sèche, nous retrouvons pratiquement le même schéma général de variation du vent avec des vitesses moyennes mensuelles de 0,94 à

1,27 m/s. Il faut aussi signaler que le vent commence à souffler lorsque la température s'élève, atteignant un premier maximum vers midi, puis une légère accalmie aux heures les plus chaudes, enfin un second maximum en fin de journée.

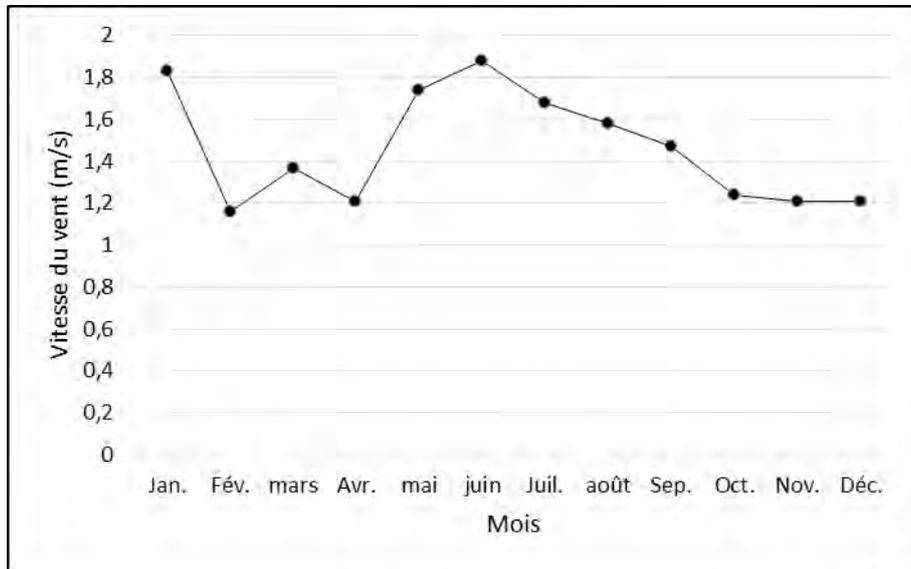


Figure 11. Variations de la vitesse du vent (moyenne mensuelle) de 2004 à 2013 à la station de Matam (source ANACIM)

f) Evaporation

L'évaporation est inversement proportionnelle à l'humidité relative dont elle contribue au renforcement dans l'atmosphère ambiante. L'évaporation de Piche qui intègre les données de la température et du vent fournit des indications sur les tendances à l'évaporation des plantes et des animaux de la strate épigée (Josens, 1972).

D'après les données climatiques enregistrées de 2004 à 2013 à la station de Matam, l'évaporation est plus importante en saison sèche qu'en saison des pluies. Ainsi, on a une moyenne mensuelle d'évaporation de 233,42 mm en saison sèche contre 171,8mm en saison des pluies.

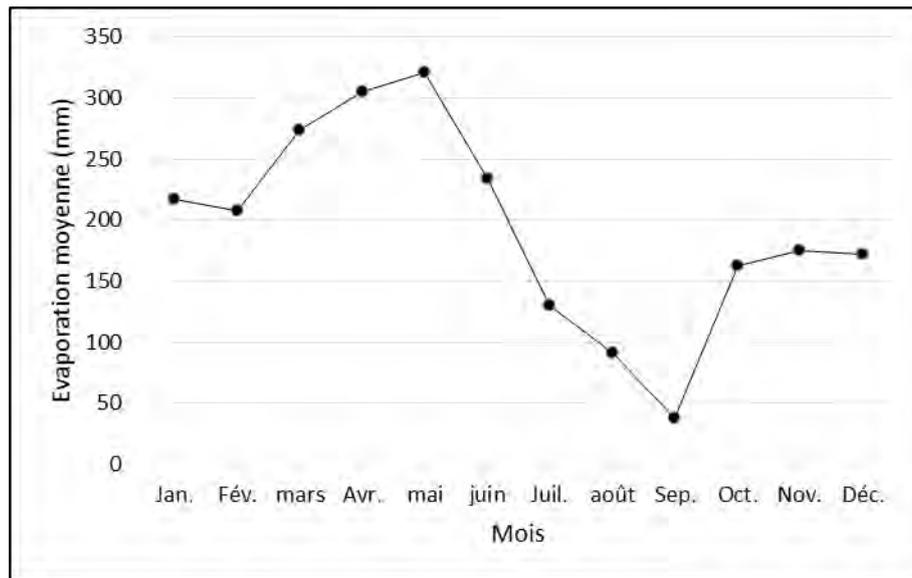


Figure12. Évaporation mensuelle de 2004 à 2013 à la station de Matam (source ANACIM)

I.5. La Flore

Dans le domaine sahélien, la zonation de la végétation est essentiellement déterminée par la diminution des pluies du Sud au Nord. Cependant, les botanistes ne s'accordent guère sur cette zonation. Pour Michel et *al.* (1969), le Sénégal septentrional appartient au domaine sahélien et divisé entre les secteurs sahélo-saharien et sahélo-soudanien. Cette délimitation s'explique par le choix de critères différents pour la détermination de zonation (climats, distribution des ligneux, Graminées dominantes, balancement des marges climatiques d'une année à l'autre)

a)Physionomie générale

La végétation du domaine sahélien, qui fait la transition entre les végétations saharienne et soudanienne, est caractérisée par des espèces ligneuses peu nombreuses, souvent rabougries, la plupart épineuses, à rameaux souvent étalés en parasol, à feuillage souvent réduit et caduc.

Michel et *al.* (1969) décrivent la couverture végétale du sahel sénégalais comme «un tapis continu de plantes herbacées piqueté d'arbres et d'arbustes, ces derniers étant prédominants. Il s'agit d'un type de végétation pouvant être classé dans la catégorie des savanes arbustives». Ces mêmes auteurs considèrent que l'action de l'homme (agriculture et élevage) se superpose à l'évolution vers l'aridité du climat depuis le Néolithique, pour déterminer la physionomie actuelle de la végétation.

La végétation de la région de Matam est caractérisée par une prédominance de *Acacia nilotica* que l'on retrouve sur les sols *hollalde*. Selon les zones écogéographiques, on retrouve tantôt *Balanites aegyptiaca* et *Acacia senegalensis* sur les sols *fonnde*, tantôt une strate arbustive constituée de *Acacia seyal*, *Boscia senegalensis*, *Zizuphus mauritiana* etc. Mais avec la détérioration des conditions climatiques, la tendance générale de la végétation est à la dégradation. C'est ainsi que l'on note la raréfaction de *Faidherbia albida* qui, il y a quelques années colonisait certaines zones et *Hyphaene thebaica* classé espèce intégralement protégée dans le code forestier du Sénégal.

A Danthiady, site de l'étude, en fonction de la dénomination locale on distingue trois habitats appelée *seno*, *sangre* et *thiangol* qui se distinguent notamment par le sol et la flore

Le *sangre* est situé sur les cuirasses ferrugineuses. Il se caractérise entre autre par un sol sablo-argileux couvert d'arbres et d'herbacés. Par endroit on note des affleurements de la cuirasse ferrugineuse sans végétation. La strate ligneuse se caractérise par la présence exclusive de *Pterocarpus lucens*, *des Grewia* spp. et *Dalbergia melanoxylon*.

Le *seno* est caractérisé par un sol sableux, recouvert d'un tapis herbacé fortement dominé par les graminées. La strate ligneuse, clairsemée, est composée arbustes et rarement d'arbres épineux tels que *Balanites aegyptiaca*, *Ziziphus* spp. *Acacia* spp. On note également la présence de *Combretum glutinosum*, *C. micranthum*, *Guiera senegalensis* *Commiphora africana* et *Sclerocarya birrea*

Le *thiangol* est caractérisé par un substrat argilo-sableux et argileux situés dans les cuvettes, les bas-fonds, les couloirs interdunaires particulièrement riches en argile et les vallées sèches. On y trouve une présence importante d'*Acacia nilotica*, *Balanites aegyptiaca*, *Acacia senegalensis*, *Acacia seyal*, *Zizuphus mauritiana*, etc.



Figure 13. Le *sangre* (zone de pâturage)



Figure 14. Le *seno* (zone de pâturage)



Figure 15. Le *thiangol* (vallée sèche)

b) La strate ligneuse

Des espèces végétales ayant une large amplitude écologique dominent le peuplement ligneux de notre zone d'étude: *Pterocarpus lucens* (Fabacées), *Combretum glutinosum* et *C. micranthum* (Combrétacées), *Guiera senegalensis* (Combrétacées), *Balanites aegyptiaca* (Balanitacées), *Ziziphus mauritiana* et *Z. mucrantum* (Rhamnacées), et *Bauhinia rufescens* (Césalpiniacées), *Commiphora africana* (Burseracées), *Acacia sp.* (Mimosacées), *Grewia bicolor* (Tiliacées), *Boscia senegalensis* et *B. angustifolia* (Capparidacées).

Il faut également signaler la présence de témoins de la végétation forestière primitive tels que *Sterculia setigera* (Sterculiacées) qui est devenu une espèce rare, probablement à cause de la sécheresse dans ces localités; et des espèces soudaniennes telles que *Adansonia digitata* (Bombacacées), *Sclerocarya birrea* (Anacardiacées) qui devenue rare à cause de la déforestation et *Feretia apodanthera* (Rubiacees).

c) La strate herbacée

A la saison des pluies, de nombreuses plantes herbacées ne formant pas toutefois un tapis continu parsèment le sol. L'ensemble constitue un pseudo steppe ou une savane claire, arbustive ou arborée.

D'après Bille et *al.* (1972), «le nombre de plantes herbacées varie de 10 à 800 par m². La couverture végétale est bonne sur 8%, moyenne sur 70% et faible à nulle sur 22% de la surface».

Dans notre zone d'étude, le tapis herbacé est essentiellement dominé par des Graminées telles que *Eragrostis tremula*, *Pennisetum pedicellatum*, *P. violaceum*, *Schoenfeldia gracilis*, *Aristida kerstingii* et *Andropogon pseudopricus*; mais aussi par des Asclépiadacées notamment *Leptadenia hastata* et des Césalpiniacées (*Cassia tora*).

I.6. Activités anthropiques

A la recherche de pâturages, les bergers peuls ont souvent recours à l'émondage et à l'élagage des arbres. Cet émondage répété confine à la mutilation et empêche la régénération des arbres dans une région où les formations végétales subissent de plus en plus les pressions anthropiques qui sont cause de désertification. Avec la rareté des pâturages en saison des pluies (du fait des inondations), une surcharge des pâturages secs est constatée qui entraîne une baisse de productivité de ceux-ci. De plus, les piétinements du bétail sur les abords des points d'eau provoquent une destruction du sol à cet endroit et empêchent la régénération naturelle. Tous ces facteurs réunis contribuent à la dégradation des formations végétales.

Dans la région, le bois est très utilisé comme combustible et ce bois provient des espaces boisés. La coupe de bois mort reste soumise à l'obtention d'un permis délivré par le Service des eaux et forêt. Mais les entorses sont nombreuses et le risque de dégradation des formations végétales accentuée. En effet, l'augmentation des besoins de la population a entraîné une hausse de la pression sur les ressources en bois. Cela se traduit par une diminution constante des superficies boisées et la déforestation qui en découle. Cette utilisation excessive de bois participe à la régression des formations végétales. A tout cela, s'ajoutent les feux de brousse.

II. Méthodes d'étude

1. Sur le terrain

Nous avons effectué un inventaire des peuplements de termites pour évaluer la richesse spécifique et estimer l'abondance relative, la fréquence dans les différents biotopes recensés. Les 5 biotopes identifiés sont i) les habitations humaines, ii) les agrosystèmes, iii) le *seno*, iv) le *sangre* et v) les vallées sèches (*thiangol*).

Pour étudier l'impact des termites et des autres composants de la macrofaune du sol, nous avons mis en place un dispositif d'expérimentation (fig. 16) nous permettant de mesurer certains paramètres du sol, à savoir les teneurs en certains éléments minéraux, l'indice d'infiltration de l'eau et l'humidité du sol.

1.1. Inventaire des termites dans les biotopes étudiés

Dans chacun des biotopes, à l'exception des habitations humaines, nous commençons d'abord par noter la configuration (espèces végétales présentes, recouvrement, type de sol, nombre de nids de termites, etc.) afin d'avoir une meilleure approche. Des échantillons d'essences sont prélevés pour les espèces non déterminées sur place afin de les identifier plus tard.

❖ Échantillonnage des termites dans les habitations humaines

Le village est structuré en concessions abritant plusieurs familles. L'unité d'échantillonnage est la concession. Nous avons noté deux types de concessions: des concessions de type moderne avec des bâtiments en dur et des concessions de type traditionnel en terre et des clôtures faites de piquets de bois. Des concessions mixtes (mélanges des types) sont également notées. Pour l'échantillonnage nous avons dans huit (08) concessions mixtes. Les termites sont recherchés sur les clôtures faites de piquets de bois ou de palissade, à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments, sur les arbres et sur tout ce qui peut abriter les termites.

❖ Échantillonnage des termites dans les agrosystèmes

Au niveau des agrosystèmes, nous avons échantillonné les termites dans trois (3) champs de mil. Dans chacun d'eux, une surface d'un hectare a été délimitée et la recherche des termites se faisait dans l'aire de culture et dans la clôture. Dans l'aire de culture, les termites sont recherchés sous les placages au sol, sur les cannes de mil, sur les souches d'arbres, les arbres et arbustes, les bouses de vache et sur tout ce qui peut abriter ou attirer les termites. Sur la

clôture faite de piquets de bois, 15 piquets sont enlevés sur une distance de 20 m. Les termites qui s'attaquent aux piquets de l'extérieur ou de l'intérieur sont récoltés.

❖ **Échantillonnage des termites en milieu sauvage**

Le milieu sauvage est représenté par les zones non cultivée et non habitées situées dans les vallées sèches des *thianly* (pluriel de *thiangol*), les plateaux latéritiques du *sangre* et les dunes sableuses du *seno*. Dans chacun de ses biotopes nous avons échantillonné les termites dans 4 stations. Les termites sont recherchés dans les stations, qui sont des aires de 20×20 m de côté, sous les galeries et placages sur les arbres (tronc, branches, racines), sur le bois mort, la litière. Les nids sont ouverts pour collecter les termites qui s'y trouvent. Les termites récoltés sont récupérés à l'aide de pinces entomologiques souples et sont conservés dans des flacons étiquetés contenant de l'alcool éthylique à 70°. Sur chaque flacon on a mentionné le biotope étudié, le numéro de la station, la date de prélèvement et les observations sur l'échantillon.

1.2. Mise en place d'un dispositif d'expérimentation pour l'étude d'impact

L'évaluation de l'impact de la macrofaune du sol est portée sur la dynamique de certains éléments organiques et minéraux du sol, sur les indices d'infiltration de l'eau et d'humidité du sol. Pour la mise en œuvre de cette étude, il est mis en place un dispositif expérimental de type split plot.

Le site de l'étude est un champ de petit mil sur sol *dior* (dans le *dieri*) cultivé de manière continue, depuis une cinquantaine d'années. La station expérimentale (fig.16) est un terrain de 34 m x 28 m clôturé à l'aide d'un grillage. Il comporte 2 blocs distants de 4 m. Chaque bloc comprend 3 rangées de 3 parcelles élémentaires de 32 m² (8 m x 4 m) distantes de 1 m correspondant chacune à un traitement: apport 70 kg de cannes de mil (Ca), apport de 70 kg crottes d'ovins et de caprins (Cr) et le témoin (sans apport de matière organique).

Pour éliminer l'activité de la macrofaune dans un des blocs, les parcelles ont été traitées avec du chlorpyrifos-éthyl 480 EC (480 g/l) dilué à raison de 0,5 cl de produit par litre d'eau soit 10 litres de bouillie par parcelle élémentaire

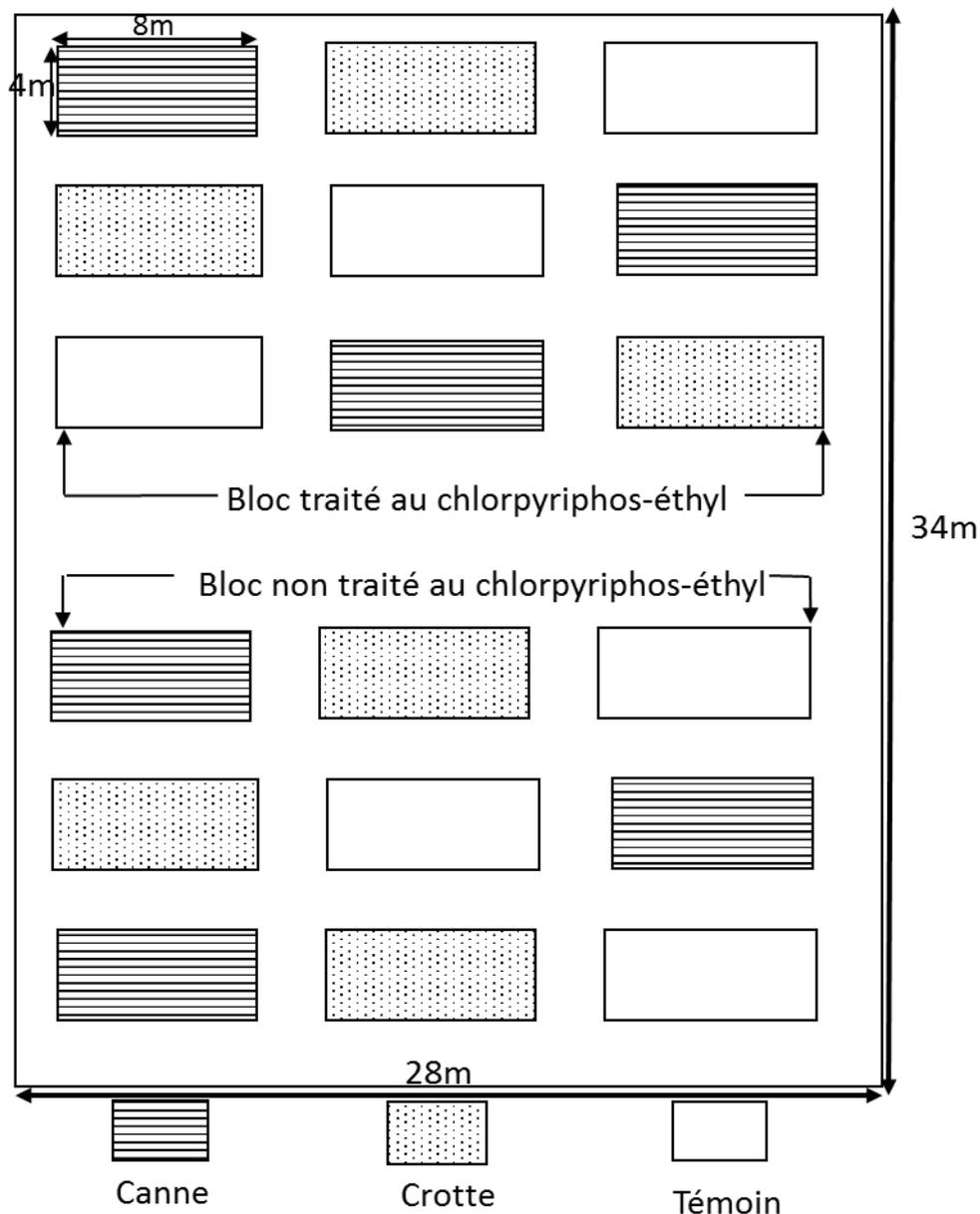


Figure.16 Schéma du dispositif expérimental

❖ **Échantillonnage de la macrofaune du sol**

L'échantillonnage de la macrofaune du sol est réalisé selon la méthode préconisée par le réseau TSBF (*Tropical Soil Biology and Fertility*). Elle consiste à faire des prélèvements de la litière, si elle est présente, et du sol dans des placettes de 25 cm x 25 cm par couches de 10 cm (fig. 17). Les prélèvements ont été effectués jusqu'à une profondeur de 30 cm, soit 3 couches. Dans chaque parcelle, les prélèvements ont été faits sur 3 placettes le long d'une diagonale.

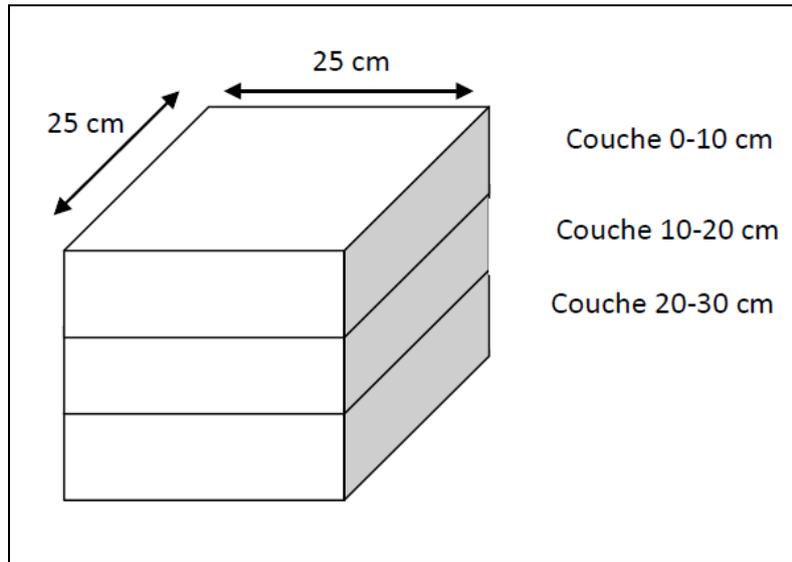


Figure 17. Monolithes d'échantillonnage par la méthode TSBF

Le sol des couches 0-10, 10-20 et 20-30 prélevé séparément et mis dans des seaux munis de couvercle ou dans des sacs plastiques avec une étiquette portant les références utiles (bloc, parcelle, placette, couche). Les couches sont aussitôt triées sur place. Le sol est mis par petites quantités sur des plateaux et trié avec des pinces. Les animaux récoltés sont conservés dans des tubes contenant de l'éthanol à 70° (fig. 18), avec une étiquette portant les références utiles (lieu, date, couche, parcelle et un numéro).



Figure 18: Séance de tri

❖ **Mesure de l'indice d'infiltration de l'eau**

Dans chacun des blocs (traité et non traité au chlorpyriphos-éthyl), l'indice d'infiltration de l'eau est mesurée en décomptant le temps que met un volume de 70,65 cm³ d'eau contenue dans une tube gradué, muni d'un robinet réglé à un débit faible, pour s'infiltrer dans le sol (fig. 19). L'intervalle de temps séparant le moment où l'eau est versée dans le trou (10 cm de diamètre et 10 cm de profondeur) et celui où toute l'eau s'est infiltrée dans le sol est mesuré.



Figure 19. Mesure d'indice d'infiltration de l'eau

❖ **Mesure de l'indice d'humidité du sol**

L'indice d'humidité du sol est estimé par la différence entre le poids d'un échantillon de sol fraîchement prélevé et le poids du même échantillon séché à l'étuve. La mesure de l'indice d'humidité est réalisée sur des prélèvements de sol faits entre 5 et 10 cm de profondeur à raison de 3 prélèvements par parcelles. Le sol ainsi prélevé est mis dans des sachets en plastique étiquetés (bloc, parcelle, placette) puis aussitôt pesés. Une fois au laboratoire, ces échantillons de sol sont séchés à l'étuve à une température de 70°C pendant 24 heures, puis pesés à nouveau (fig.20).

❖ **Étude de la teneur en éléments minéraux et organiques des échantillons de sol**

Le suivi de la dynamique des éléments organiques et minéraux du sol dans les différentes parcelles expérimentales nécessite une analyse chimique des échantillons de sol des parcelles. Au niveau de chaque parcelle, le sol de trois (3) fosses d'environ 10 cm de côté et 10 cm de profondeur prélevé est mélangé. Un échantillon du mélange homogène est utilisé pour

l'analyse chimique permettant de déterminer les teneurs en matière organique et en éléments minéraux. Ainsi, 18 échantillons (9 échantillons par bloc) sont collectés dans des sacs plastiques puis transmis à l'Institut national de Pédologie (INP) de Dakar pour une analyse.

2. Au laboratoire

❖ L'identification des espèces récoltées

L'identification des spécimens a été faite au laboratoire de zoologie des invertébrés terrestres de l'Institut Fondamental d'Afrique Noire Ch. A. Diop (IFAN-Ch. A. Diop) de Dakar par comparaison avec des spécimens de référence sur les termites et également avec des ouvrages, de Silvestri (1914-15), de Sjöstedt (1925) et de Bouillon & Mathot (1965). La liste des termites identifiés est présentée selon la classification d'Inward *et al.* (2007). La classification des espèces selon le régime trophique est faite en se référant aux études antérieures sur les termites réalisées au Sénégal (Roy-Noël, 1974, 1982).

❖ Pesage et comptage de la macrofaune trouvée dans la station

Au laboratoire, les animaux sont comptés sous la loupe binoculaire. Ils sont ensuite pesés. La pesée est faite avec une balance Scaltec (portée = 220g ; sensibilité = 0,0001g; tarage et calibrage automatiques).

❖ Séchage et pesage des échantillons de sol

Pour déterminer la différence de poids entre échantillons de sol fraîchement prélevés et échantillons de sol séchés, les échantillons de sol sont séchés à l'étuve à une température de 70°C pendant 24 heures, puis pesés à nouveau pour voir la différence de poids entre échantillons fraîchement prélevés et échantillons séchés (voir fig. 20). Cet indice a été également mesuré un an après traitement des parcelles avec de la matière organique et application du chlorpyrifos-éthyl.

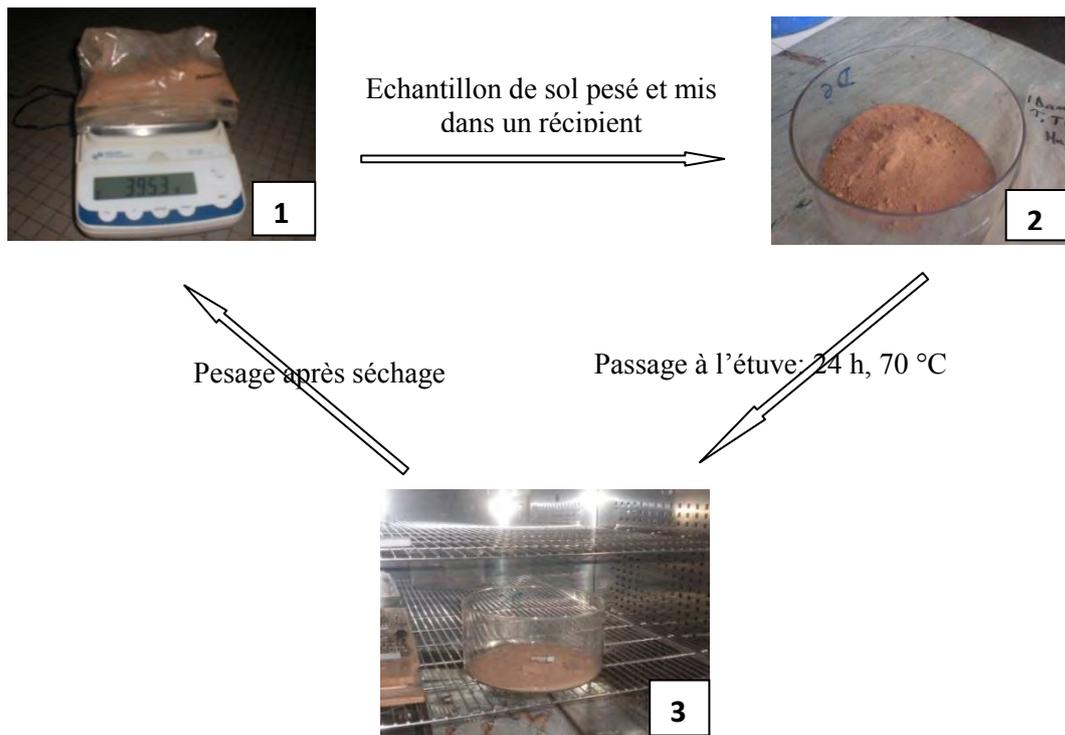


Figure 20. Évaluation de l'indice d'humidité du sol

❖ Analyses chimiques des échantillons de sol

Les échantillons de sol transmis à l'Institut National de Pédologie de Dakar sont analysés pour déterminer les teneurs en matière organique, carbone organique, azote, phosphore, potassium, et bases échangeables.

❖ Traitement des données

Les données brutes issues de l'inventaire de la macrofaune du sol permettent de déterminer certains paramètres d'appréciation de la faune du sol comme la fréquence, la densité et la biomasse.

- Calcul de la fréquence des termites

La fréquence des espèces de termites est un facteur quantitatif qui exprime le nombre de relevés où espèce est rencontrée sur le nombre total de relevés. Elle est obtenue par l'application de la formule suivante et permet de classer les espèces en espèces accidentelle ($F \leq 19\%$), accessoire ($20\% < F < 39\%$), peu fréquente ($40\% < F < 59\%$), fréquente ($60\% < F < 79\%$) et très fréquente ($80\% < F \leq 100\%$).

$$F = \frac{N_i}{N_t} \times 100$$

N_i = nombre de relevés contenant l'espèce ; N_t = nombres total de relevés.

- **Calcul de la densité de la macrofaune**

Pour déterminer la densité de la faune (nombre d'individus par m²), nous avons procédé à un comptage. La densité est le nombre moyen des individus des différents taxons récoltés au niveau des placettes ramené au mètre carré (m²). Le nombre moyen d'individus est calculé en divisant le nombre total des individus de ce bloc par le nombre de placettes. Cette moyenne est ramenée au mètre carré.

$$D = \frac{Ni}{Np \times Nc \times S}$$

Ni = nombre d'individus; Np = nombre de placettes; Nc = nombre de couches et
S = superficie.

- **Calcul de la biomasse de la macrofaune**

Le pesage permet de déterminer la biomasse des individus récoltés. La biomasse d'un bloc est le poids moyen en grammes des individus récoltés au niveau des placettes ramené au mètre carré.

$$B = \frac{Mi}{Np \times Nc \times S}$$

Mi = masse des individus ; Np = nombre de placettes ; Nc = nombre de couches et
S = superficie.

- **Analyse statistique des données**

L'analyse de la variance (ANOVA) et la comparaison des moyennes de densité et de biomasse (Newman-Keuls) ont été effectuées avec le logiciel XLSTAT 6.1.9 au seuil de 5% pour évaluer le degré de signification des différences observées.

CHAPITRE III. RESULTATS

I. Peuplements de termites du site de l'étude

1. Inventaire des espèces de termites

Au cours de cette étude, un total de 21 stations, réparties sur 5 biotopes ont été étudiées. Nous avons collecté 469 échantillons de termites sur une superficie de 34.800 m², compte non tenu des concessions.

La liste et la position systématique des espèces inventoriées de termites dans la zone d'études sont représentées dans le tableau I.

Tableau I. Espèces de termites récoltées et position systématique des espèces

Famille	Sous-famille	Genre Espèce
<i>Rhinotermitidae</i> Light, 1912	<i>Coptotermitinae</i> Holmgren, 1911	<i>Coptotermes intermedius</i> Silvestri, 1912
	<i>Psammotermitinae</i> Desneux, 1902	<i>Psammotermes hybostoma</i> Desneux, 1902
<i>Termitidae</i> Westwood, 1840	<i>Termitinae</i> Sjöstedt, 1926	<i>Amitermes evuncifer</i> Silvestri, 1912
		<i>Amitermes messinae</i> Fuller 1922
		<i>Angulitermes nilensis</i> Harris, 1962
		<i>Cubitermes curtatus</i> Silvestri, 1914-1915
		<i>Eremotermes nanus</i> Harris 1960
		<i>Microcerotermes</i> spp
		<i>Promirotermes holmgreni infera</i> Silvestri, 1914-1915
	<i>Macrotermitinae</i> Kemner, 1934	<i>Macrotermes subhyalinus</i> Rambur, 1842
		<i>Microtermes grassei</i> Ghidini, 1955
		<i>Microtermes lepidus</i> Sjöstedt, 1924
		<i>Microtermes subhyalinus</i> Silvestri, 1914
		<i>Odontotermes</i> spp
	<i>Nasutitermitinae</i> Hare 1937	<i>Trinervitermes geminatus</i> Wasmann, 1897
		<i>Trinervitermes trinervius</i> Rambur, 1842
		<i>Trinervitermes oeconomus</i> Tragardh, 1904

L'étude qualitative a permis de recenser au moins 17 espèces de termites réparties dans 12 genres, 5 sous-familles et 2 familles. La richesse générique semble importante alors que la richesse spécifique est moyenne. Toutes les espèces recensées par cette étude ont été signalées antérieurement au Sénégal.

Pour ce qui est des genres *Microcerotermes* et *Odontotermes*, l'état de confusion qui règne dans leur systématique ne permet pas, à l'heure actuelle, une discrimination objective des espèces citées dans la littérature. La révision de ces genres est nécessaire.

2. Répartition des termites en groupes trophiques et dans les différents biotopes étudiés

2.1. Groupes trophiques

Les espèces de termites recensées peuvent se trouver dans les quatre groupes trophiques.

2.1.1. Groupe des fourrageurs

Les fourrageurs se nourrissent de débris de feuilles, de graines, de chaumes de graminées qu'ils découpent et ramènent au nid.

Trinervitermes trinervius, *T. geminatus* et *T. oeconomus* ont été trouvées dans les vallées sèches (*thiangol*).

Trinervitermes trinervius et *T. geminatus* ont été trouvées dans les zones de pâturage (*seno* et *sangre*).

Nous avons constaté que le genre *Trinervitermes* peut occuper secondairement des nids de *Cubitermes*.

2.1.2. Groupe des lignivores

Les termites lignivores se nourrissent strictement de végétaux ligneux mort et/ou vivants. Six (06) espèces appartenant à ce groupe ont été recensées dans les différents biotopes.

Amitermes evuncifer

Elle a été trouvée dans les concessions, les agro systèmes et le *sangre*. Sa présence est sans doute liée à la présence de ligneux dans ces biotopes (bois mort, arbres et arbustes). Dans les relevés au niveau des concessions et des agro systèmes, cette espèce a été trouvée souvent dans du bois mort servant de piquet de clôture. Dans les relevés du *sangre*, elle est trouvée sur du bois mort en décomposition ou dans des souches d'arbres.

Amitermes messinae

Elle a été trouvée dans les agro systèmes et le *sangre* où elle est le plus souvent sur du bois mort en décomposition.

Eremotermes nanus

Cette espèce anécique est trouvée dans les agrosystèmes sur milieu sableux.

Coptotermes intermedius

Elle édifie le plus souvent son nid dans les troncs d'arbres vivants ou morts (tombés ou en place). Cette espèce peut occuper secondairement le nid d'autres espèces lorsqu'elle ne dispose pas d'arbres morts de gros diamètre pour faire son nid. Elle a été trouvée dans les agrosystèmes, les vallées sèches (*thiangol*) et dans le *sangre* où elle est souvent dans des troncs d'arbres morts.

Microcerotermes spp.

L'identification des *Microcerotermes* est limitée au genre du fait du flou qui existe dans la discrimination des espèces. Elles occupent le bois mort non décomposé où elles font leurs récoltes. Nous les avons trouvés dans les agro systèmes, les vallées sèches (*thiangol*) et le *sangre*. Elles sont plus représentées dans le *Sangre* que dans les deux autres biotopes.

Psammotermes hybostoma

C'est une espèce qu'on trouve dans les zones sableuses et qui construit des nids hypogés. Elle a été trouvée dans les agrosystèmes où elle est très bien présente, dans les concessions, les vallées sèches (*thiangol*) et le *seno*. Elle est souvent récoltée sur de la bouse de vache, sur du bois mort et sur des souches et cannes de graminées.

2.1.3. Groupe des humivores

Les termites de ce groupe se nourrissent d'humus et leur répartition est très liée à la teneur en matière organique du sol. Ils ingèrent le sol riche en matière organique, qui peut aussi servir à confectionner leur nid après le transit intestinal (Sarr, 1995).

Cubitermes curtatus

Elle a été récoltée uniquement dans le *sangre* où il a été récoltée dans de la litière.

Angulitermes nilensis :

Elle a été récoltée dans des piquets en bois mort servant de clôture au niveau des agrosystèmes et dans de la litière au niveau du *thiangol*.

Promirotermes holmgreni infera

Elle a été récoltée dans le *sangre* sous de la litière.

2.1.4. Groupe des champignonnistes

Les champignonnistes récoltent leur nourriture sur des arbres, sur du bois mort, sur de la litière et sur des herbes graminéennes et non graminéennes. Les boulettes de bois mâchées et

qui ont transitées par le tube digestif des ouvriers sont stockées dans le nid sous forme de meules. Des champignons symbiotiques du genre *Termitomyces* s'y développent et dégradent la lignine, mettant ainsi à la disposition des ouvriers la cellulose qui est ingérée et digérée. Les champignonnistes se rencontrent dans la sous-famille des *Macrotermitinae*.

Odontotermes spp.

Des espèces du genre *Odontotermes* ont été trouvées dans tous les biotopes. Dans les concessions, elles font des placages de récolte sur des troncs d'arbres mais aussi dans des chambres et dans des greniers de stockage de céréales. Dans les autres biotopes, elles sont récoltées sur de la bouse de vache, sur du bois mort et sous des placages de récolte sur les arbres, sur de la litière ou au sol sur des herbes et divers débris d'origine organique. Certaines espèces du genre *Odontotermes* peuvent occuper secondairement des nids vivant ou abandonnés du genre *Macrotermes*.

Microtermes grassei

C'est une espèce qui a été récoltée uniquement dans les agro systèmes où elle construit des placages sur de la bouse de vache et sur des piquets de clôture.

Microtermes lepidus

L'espèce est trouvée dans tous les biotopes à l'exception des concessions. Le plus souvent, elle est récoltée dans du bois mort non décomposé.

Microtermes subhyalinus

C'est une espèce qui a été récoltée dans le *thiangol* et les zones de pâturage (*seno* et *sangre*). Elle construit des placages de récolte sur des arbustes et sur du bois mort.

Macrotermes subhylinus

Cette espèce construit des nids épigés. Elle a été rencontrée dans les zones de pâturage (limite *seno-sangre* et *sangre*). Elle construit des placages de récolte sur des arbres, des arbustes, sur du bois mort et sur l'herbe. L'espèce effectue ses activités de récolte la nuit ; c'est ainsi que nous avons ouvert ses nids afin de la récolter.

2.2. Etudes quantitative et qualitative des peuplements de termites dans les différents biotopes étudiés

2.2.1. Peuplements des termites dans les différents biotopes

a) Dans les habitations

Dans les concessions nous avons rencontré 3 espèces de Termites (fig.21): *Amitermes evuncifer* (10%), *Odontotermes* spp. (20%) et *Psammotermes hybostoma* (70%). Ces espèces ont été récoltées sur des poutres, clôtures, bois mort et bois œuvré. Dans ce biotope, *P.*

hybostoma est considérée comme une espèce fréquente, *A. evuncifer* et *Odontotermes* spp. sont considérées comme des espèces accidentelles.

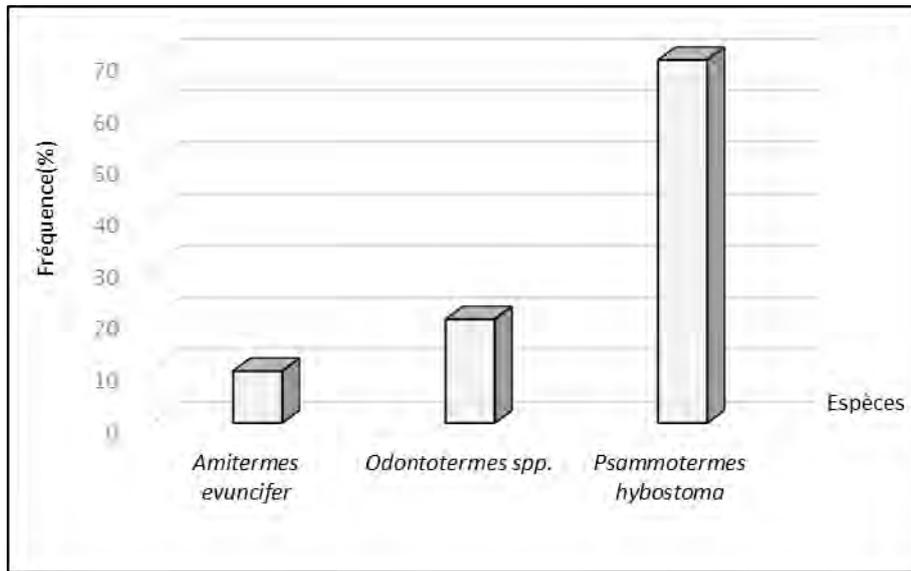


Figure 21: Fréquence (%) des espèces de termites dans les habitations

b) Dans les agrosystèmes (champs de mil)

Au niveau des agro systèmes champs de mil nous avons recensé les espèces suivantes :

- *Amitermes. evuncifer*
- *Amitermes messinae*
- *Angulitermes nilensis*
- *Coptotermes intermedius*
- *Eremotermes nanus*
- *Microcerotermes* spp.
- *Microtermes grassei*
- *Microtermes lepidus*
- *Psammotermes hybostoma*
- *Odontotermes* spp.

Amitermes est rencontré sur les piquets de clôture et sur les arbres.

Angulitermes nilensis, *Coptotermes intermedius* et *Eremotermes nanus*. ont été rencontrées sur les piquets de clôtures.

Les *Microcerotermes* spp. sont rencontrés sur des piquets de clôture, sur des arbres, sur du bois mort, des tiges de *Cassia tora*, de « Gombo » et d'Oseille en place, des souches de canne de mil et dans le sol.

Les *Microtermes*, *Odontotermes* et *Psammotermes hybostoma* sont récoltés sur des cannes de mil, des bouses de vaches, des arbres, des piquets de clôtures, du bois mort, des herbes graminéennes et non graminéennes.

Les espèces *Amitermes evuncifer*, *A. messinae*, *Psammotermes. hybostoma*, *Microcerotermes spp* sont récoltées à la fois dans les aires de culture et sur les clôtures.

Les espèces *Angulitermes nilensis*, *Coptotermes intermedius*, *Eremotermes sp*, *Microtermes grassei*, *M. lepidus* et *Odontotermes spp* sont récoltées uniquement sur l'aire de culture

Le calcul de la fréquence au niveau du biotope montre que *Psammotermes hybostoma* est une espèce fréquente dans ce biotope; alors que les autres espèces rencontrées dans les agrosystèmes sont accidentelles (fig. 22).

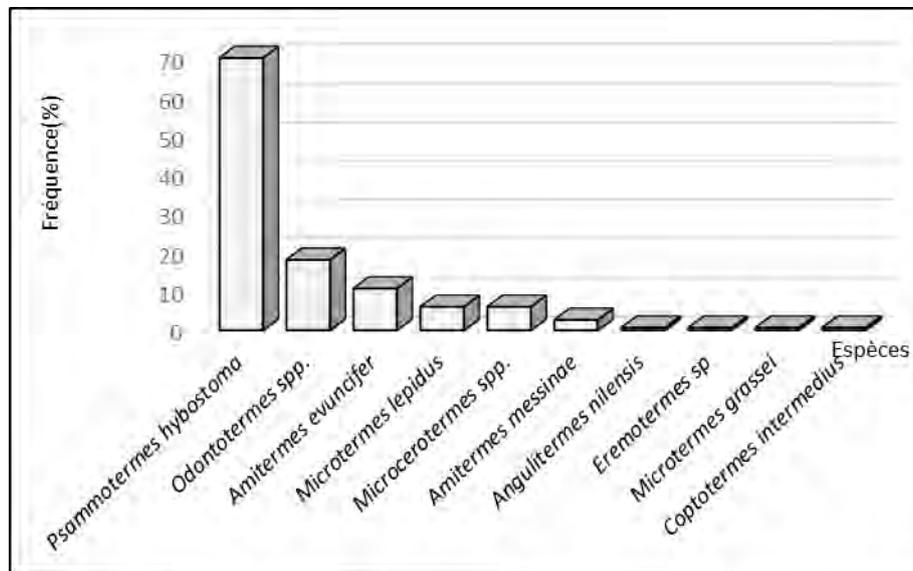


Figure 22. Fréquence (%) des espèces de Termites dans les agrosystèmes (champs de mil)

c) Dans le *seno* (zone de pâturage)

Les espèces rencontrées dans le *seno* sont :

- *Amitermes evuncifer*
- *Angulitermes nilensis*
- *Macrotermes subhyalinus*
- *Microcerotermes spp.*
- *Microtermes grassei*
- *M. lepidus*
- *M. subhyalinus*
- *Psammotermes hybostoma*

- *Odontotermes* spp.
- *Trinervitermes geminatus*
- *T. trinervius*

Les espèces ont été récoltées sur du bois mort, sur des arbres vivants, sous des placages au sol sur bois mort ou sur des herbes, dans des nids. Dans ce biotope, toutes les espèces rencontrées sont considérées comme étant accidentelles à l'exception du genre *Microcerotermes* qui est considéré comme accessoire (fig. 23).

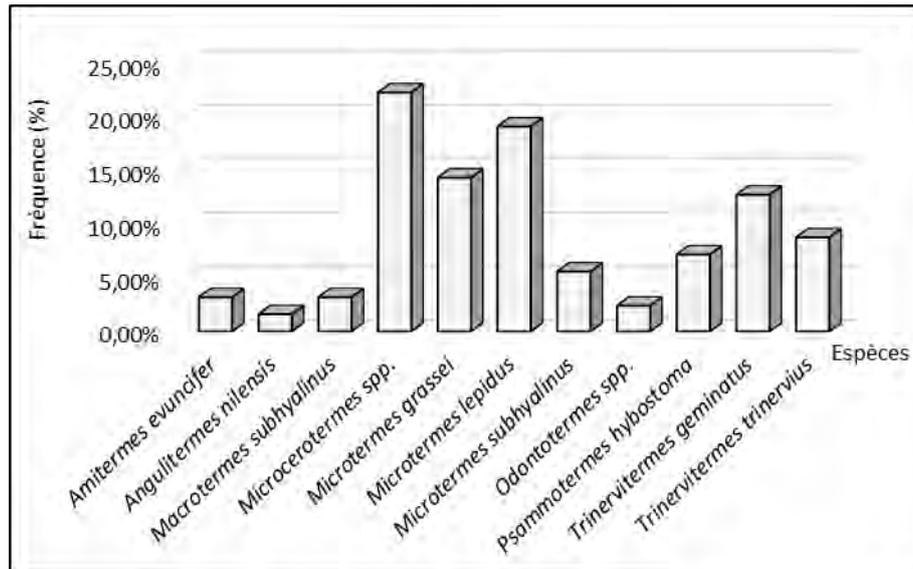


Figure 23. Fréquence (%) des espèces de Termites dans le seno

La densité des nids permet d'avoir une idée de la population des termites. Pour avoir une vision plus complète sur le peuplement du *seno*, la densité des nids de Termites a été évaluée. Les termitières épigées recensées appartiennent aux genres *Macrotermes* et *Trinervitermes*. Dans l'ensemble des 4 stations du *seno*, 22 nids sont comptés, soient 5,5 nids/station, ce qui donne 135,7 nids/ha.

d) Dans le sangre (zone de pâturage)

Les espèces rencontrées dans le *sangre* sont :

- *Amitermes evuncifer*
- *A. messinae*
- *Coptotermes intermedius*
- *Cubitermes curtatus*
- *Macrotermes subhyalinus*
- *Microcerotermes* spp.
- *Microtermes lepidus*

- *M. subhyalinus*
- *Promoirotermes holmgreni*
- *Odontotermes* spp.
- *Trinervitermes geminatus*
- *T. trinervius*

Les termites sont récoltées sur du bois mort ou vivant à l'abri de galeries et des placages, sous l'écorce ou dans du bois, sur des bouses de vaches sur des herbes graminéennes et non graminéennes, dans des tiges de plantes annuelles, dans des nids...

Dans ce biotope, *Macrotermes subhyalinus* est l'espèce la plus fréquemment rencontrée et elle est considérée comme accessoire. Les espèces restantes sont considérées comme accidentelles.

Dans l'ensemble des 4 stations du *sangre*, 24 nids de termites ont été dénombrés soient 6 nids par station soient 150 nids à l'hectare. Signalons que ces nids épigés sont construits par *Cubitermes*, *Macrotermes* et *Trinervitermes* (fig. 24).

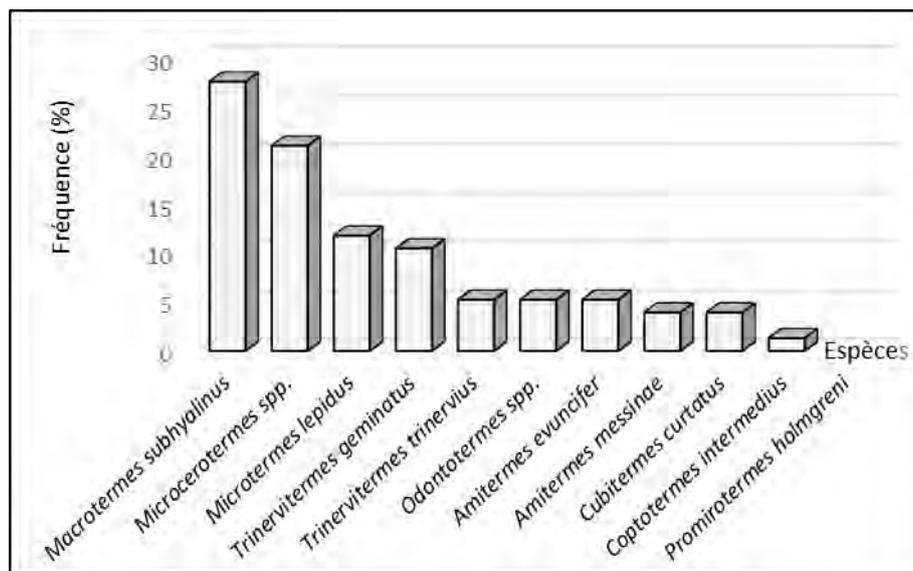


Figure 24. Fréquence (%) des espèces de Termites dans le *sangre*

e) Dans les vallées sèches (*thiangol*)

Les espèces de termites recensées dans les zones de dépression ou vallées sèches appelées communément *thiangol* sont:

- *Angulitermes nilensis*
- *Coptotermes intermedus*
- *Microcerotermes* spp.
- *Microtermes lepidus*

- *Microtermes subhyalinus*
- *Odontotermes spp.*
- *Psammotermes hybostoma*
- *Trinervitermes geminatus*
- *Trinervitermes oeconomus*
- *Trinervitermes trinervius*

La récolte de termites du *thiangol* s'est effectuée sur ou dans des bois morts ou vivants, sur de la litière, dans le sol, sous des placages faits sur des arbres, sur de la bouse de vache et sur des nids épigés ou hypogés. L'espèce la plus représentative dans le *thiangol* est *Odontotermes spp.* Qui est considérée comme une espèce accessoire (fig. 25). Toutes les autres espèces rencontrées dans ce biotope sont considérées comme étant accidentelles.

Dans ce biotope, 22 nids de termites ont été dénombrés soit 5,5 nids/station ou 135,7 nids/ha.

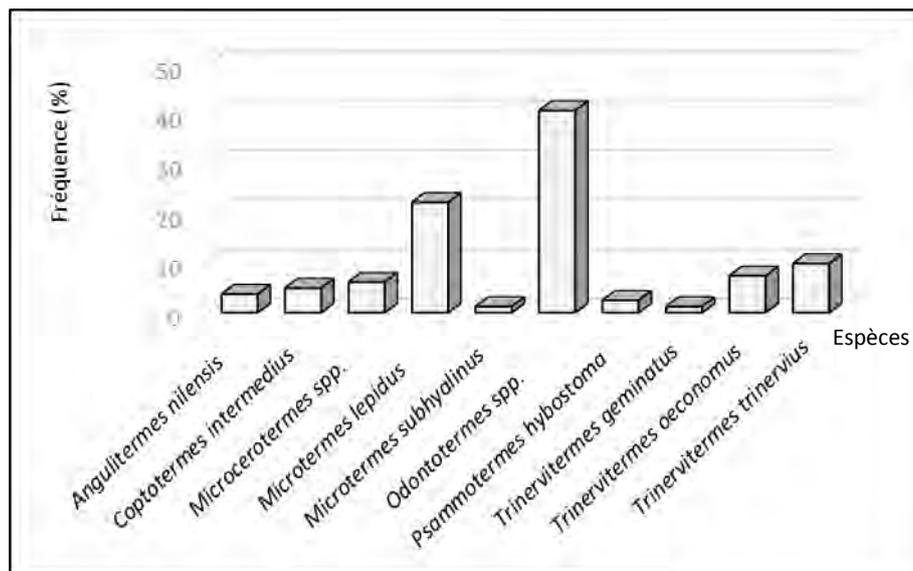


Figure 25. Fréquence (%) des espèces dans le *thiangol*

2.2.2. Comparaison des peuplements de termites

a) Comparaison qualitative

En examinant les peuplements de termites des différents biotopes étudiés, on note que le genre *Odontotermes* est représenté dans tous les biotopes (tab. II). Cependant, d'autres espèces telles que *Macrotermes subhyalinus*, *Cubitermes curtatus*, *Promicrotermes holmgreni*, sont uniquement présentes en zones de pâturage. L'espèce *Psammotermes hybostoma* est présente dans tous les biotopes à l'exception du *sangre*; probablement du fait que le *sangre* n'est pas une zone sablonneuse et que l'espèce *P. hybostoma* évolue en zone sablonneuse. Les

espèces *Microcerotermes* spp. et *Microtermes lepidus* sont absentes au niveau des concessions, mais présentes dans les agrosystèmes, dans les zones de pâturage et dans les *thiangol*. *Amitermes messinae*, et *Angulitermes nilensis* sont présentes dans les agrosystèmes et dans les zones de pâturage. Le genre *Trinervitermes* est représenté dans les zones de pâturage (*seno*, *sangre*) et dans les vallées sèches (*thiangol*).

La comparaison des peuplements du *seno* et du *sangre* qui sont tous les deux des zones de pâturage, montre que:

- ✓ les espèces *Amitermes evuncifer*, *Microcerotermes* spp, *Macrotermes subhyalinus*, *Microtermes lepidus*, *Microtermes subhyalinus*, *Odontotermes* spp., *Trinervitermes geminatus* et *T. trinervius* sont présentes à la fois dans les deux biotopes;
- ✓ les espèces *Psammotermes hybostoma*, *Coptotermes intermedius*, *Microtermes grassei* et *Angulitermes nilensis* ne sont présentes que dans le *seno*;
- ✓ *Amitermes messinae*, *Cubitermes curtatus* et *Promirotermes holmgreni* sont présentes que dans le *sangre*.

Du point de vue trophique, on constate que:

- ✓ dans le *sangre* et le *seno*, tous les groupes trophiques sont représentés;
- ✓ au niveau des agrosystèmes, trois groupes trophiques sont représentés, les lignivores, les champignonnistes et les humivores ;
- ✓ dans les habitations, seulement deux groupes trophiques sont représentés, lignivores et champignonnistes.
- ✓ dans le *thiangol* tous les groupes trophiques sont représentés.

Sur l'ensemble des biotopes, les espèces lignivores sont plus représentées avec une fréquence de 35,29%, suivies des espèces champignonnistes avec une fréquence de 29,41% et en fin des espèces humivores et fourrageurs avec des fréquences de 17,65%

Tableau II. Répartition des espèces de termite dans les biotopes

Espèces	Biotope				
	Concessions	Agrosystèmes	<i>Seno</i>	<i>Sangre</i>	<i>Thiangol</i>
<i>Coptotermes intermedius</i>		+		+	+
<i>Psammotermes hybostoma</i>	+	+	+		+
<i>Amitermes evuncifer</i>	+	+	+	+	
<i>Amitermes messinae</i>		+		+	
<i>Angulitermes nilensis</i>		+	+		+
<i>Cubitermes curtatus</i>				+	
<i>Eremotermes nanus</i>		+			
<i>Microcerotermes spp</i>		+	+	+	+
<i>Promirotermes holmgreni</i>				+	
<i>Macrotermes subhyalinus</i>			+	+	
<i>Microtermes grassei</i>		+	+		
<i>Microtermes lepidus</i>		+	+	+	+
<i>Microtermes subhyalinus</i>			+		+
<i>Odontotermes spp.</i>	+	+	+	+	+
<i>Trinervitermes geminatus</i>			+	+	+
<i>Trinervitermes trinervius</i>			+	+	+
<i>Trinervitermes oeconomus</i>					+

NB : le signe + montre que l'espèce est présente dans ce biotope

b) Comparaison quantitative

L'analyse quantitative montre que le nombre d'espèces de termites récolté est plus important dans les zones de pâturage (*seno* et *sangre*) avec une moyenne de 11,50 espèces. Cette moyenne est de 10 espèces dans les agrosystèmes et les zones de dépression (*thiangol*). Elle est de 3 espèces dans les concessions (fig. 26)

L'étude des fréquences des espèces donne un indice sur l'abondance relative des espèces.

Odontotermes spp.: les espèces du genre *Odontotermes* sont présentées dans tous les biotopes mais avec des fréquences variées. En effet, elles ont des fréquences de 20% dans les habitations, 18,12% dans les agrosystèmes, 2,38% dans le *seno*, 5,26% dans le *sangre* et 40,74% dans le *thiangol*.

Amitermes. evuncifer: elle a des fréquences respectives de 10 %, 10,74%, 3,17% et 5,26% dans les habitations, les agrosystèmes, le *seno* et le *sangre*.

Psammotermes hybostoma: elle est rencontrée dans les concessions, les agro systèmes, le *seno* et dans le *thiangol* avec des fréquences respectives de 70%, 59,06%, 7,14 % et 2,46%.

Microcerotermes spp.: les espèces du genre *Microcerotermes* ont des fréquences de 0,67% dans le *seno*, 21,05% dans le *sangre*, 6,04% dans les agrosystèmes et 6,17% dans le *thiangol*

Microtermes lepidus: elle a une fréquence de 19,05% dans le *seno*, 11,84% dans le *sangre*, 6,04 dans les agrosystèmes et 22,22% dans le *thiangol*.

Angulitermes nilensis: elle a des fréquences de 0,67% dans les agrosystèmes, 1,59% dans le *seno* et 3,7% dans le *thiangol*.

Microtermes grassei: elle a une fréquence de 0,67% dans les agrosystèmes, 14,29% dans le *seno*.

Amitermes messinae: elle a une fréquence de 2,68% dans les agrosystèmes et 3,95% dans le *sangre*.

Macrotermes subhyalinus: sa fréquence est de 3,17% dans le *seno*, 27,63% dans le *sangre* et 1,23% dans le *thiangol*.

Microtermes subhyalinus: elle a une fréquence de 5,65% dans le *seno* et 2,63% dans le *sangre*.

Trinervitermes geminatus: elle a une fréquence de 12,7% dans le *seno*, 10,53% dans le *sangre* et 1,23% dans le *thiangol*.

Trinervitermes trinervius: elle est représentée avec des fréquences de 8,73% dans le *seno*, 5,26% dans le *sangre* et 9,87% dans le *thiangol*.

Trinervitermes. Oeconomus: elle n'est présente que dans le *thiangol* avec une fréquence de 7,4%.

Coptotermes intermedius: elle a une fréquence de 0,67% dans les agrosystèmes, 1,32% dans le *sangre* et 4,93% dans le *thiangol*.

Cubitermes curtatus: elle n'est présente que dans le *sangre* avec une fréquence de 3,95%.

Eremotermes nanus : elle n'est présente que dans les agrosystèmes avec une fréquence de 0,67%.

Promirotermes holmgreni: elle a été rencontrée aussi dans un seul biotope, le *sangre*, avec une fréquence de 1,32 %.

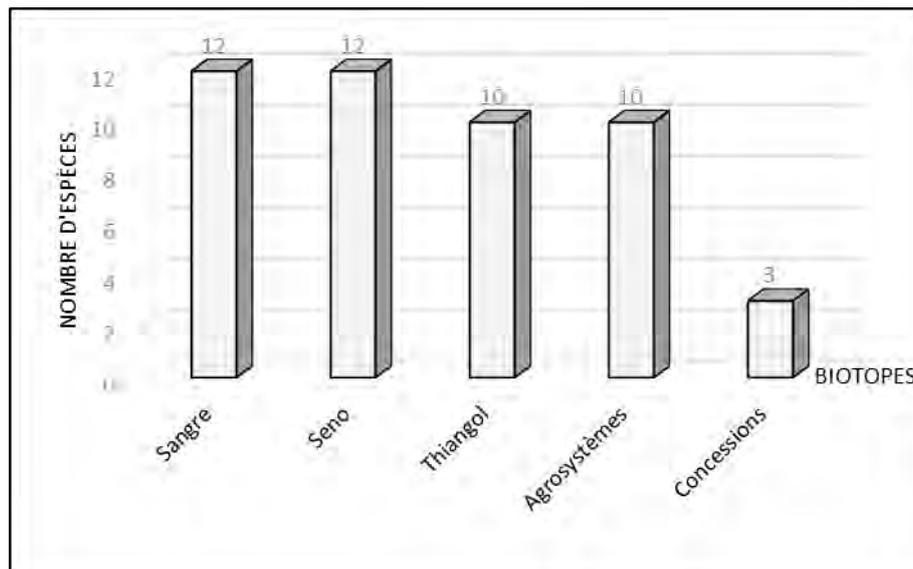


Figure 26. Variation de la richesse spécifique suivant les biotopes

3. Impacts des termites dans les habitations et les agrosystèmes

La distribution et la fréquence des espèces de Termites dans les biotopes étudiés sont fortement influencées par l'effet anthropique qui favorise selon les milieux certaines espèces dont l'impact peut se révéler directement ou indirectement nuisible à l'homme et à son environnement.

3.1. Impact dans les habitations

Au niveau des habitations les deux espèces lignivores (*Amitermes evuncifer* et *Psammotermes hybostoma*) et les champignonnistes *Odontotermes* spp. sont à l'origine d'un certain nombre de dégâts.

Amitermes evuncifer et *Odontotermes* sont surtout rencontrés au niveau des clôtures dont les piquets sont consommés obligeant ainsi leur renouvellement régulier.

Psammotermes hybostoma se rencontre à la fois sur les clôtures et dans les bâtiments où elle s'attaque à toute matière d'origine végétale (toitures, portes et fenêtres en bois, le mobilier, les habits, denrées stockées...).

Le renouvellement constant des clôtures dont les piquets proviennent des arbres coupés au niveau du *seno* et du *sangre* imprime une importante pression sur ces milieux et accélère leur dégradation.

3.2. Impact dans les agrosystèmes (champs de mil)

L'échantillonnage s'étant déroulé en saison sèche, nous n'avons pas pu nous rendre compte, dans les agrosystèmes (champs de mil), de la nuisance des Termites sur les cultures.

Cependant, d'après NDIAYE (communication personnelle), les Termites sont des ravageurs mineurs au niveau des champs de mil. Les Termites (*Odontotermes* et surtout *Psammotermes*) ne sont véritablement nuisibles que pendant les semis. Les attaques de Termites peuvent être évitées en traitant simplement les semences.

L'aspect nuisible que nous avons constaté dans les agrosystèmes lié aux termites est l'attaque des clôtures des champs. Un nombre relativement important d'espèces de Termites s'attaque aux piquets des clôtures. Ces Termites, lignivores (*Amitermes*, *Eremotermes*, *Microcerotermes*, *Coptotermes* et *Psammotermes*) et champignonnistes (*Odontotermes* spp. et *Microtermes* spp.) consomment les piquets et obligent un renouvellement quasi annuel des clôtures qui se fait aux dépens des arbres des formations *seno* et *sangre*.

Dans l'aire des champs nous avons noté l'activité importante des *Odontotermes*, *Microtermes* et *Psammotermes* qui dégradent les résidus de cultures (cannes de mil notamment) et les bouses de vaches utilisées pour la fertilisation. La dégradation de la matière organique permettrait le retour au sol des minéraux C, N, P, K... Par leur activité de construction (nids, galeries, placages), ces termites remanient et aèrent le sol augmentant ainsi sa porosité et sa capacité d'absorption et de rétention de l'eau.

II. Impact des différents traitements

1. Impact sur la macrofaune du sol

1.1. Inventaire de la macrofaune du sol

Dans les deux années de récolte de la macrofaune du sol de la station d'expérimentation, 8988 macros invertébrées ont été récoltés. L'identification des spécimens récoltés a donné au moins 22 espèces réparties en 21 genres, 6 sous-familles, 13 familles, 8 ordres, 3 classes, 2 sous-embranchements et 1 embranchement (tab. III). Signalons que, pour certains spécimens, dans leur identification, on s'est arrêté au genre ou à la famille.

Tableau III. Diversité taxonomique de la macrofaune du sol de la station d'expérimentation

Embranchement	Sous-embranchement	Classe	Ordre	Famille	Sous-famille	Genre espèce	
Arthropodes	Chélicérates	<i>Arachnida</i> Cuvier, 1812	<i>Araneae</i> Clerck, 1757	<i>Clubionidae</i> Wagner, 1887			
				<i>Drassidae</i> Sundevall, 1833			
				<i>Oniscidae</i> Latreille, 1802			
	Antennates ou Mandibulates	<i>Insecta</i> Linnaeus, 1758	<i>Crustacea</i> Brünnich, 1772	<i>Isopoda</i> Latreille, 1817			
				<i>Collembola</i> Lubbock 1870	<i>Isotomidae</i> Schäffer, 1896		
			<i>Coleoptera</i> Linnaeus, 1758	<i>Tenebrionidae</i> Latreille, 1802			<i>Hyperops tagenoides</i>
							<i>Tentyria</i>
							<i>Zophosis trilineata</i>
				<i>Staphylinidae</i> Latreille, 1802		<i>Scaphidium</i>	
				<i>Curculionidae</i> Latreille, 1802		<i>Dendroctonus</i>	
				<i>Chrysomelidae</i> Latreille, 1802		<i>Phaedon</i>	
				<i>Hymenoptera</i> Linnaeus, 1758	<i>Formicidae</i> Latreille, 1809	<i>Myrmicinae</i> Lepeletier, 1835	
							<i>Monomorium sp</i>
							<i>Tetramorium</i>
							<i>Pheidole</i>
						<i>Crematogaster</i>	
			<i>Ponerinae</i> Lepeletier, 1835				<i>Anochetus</i>
					<i>Pachycondyla sennaarensis</i>		
			<i>Camponotinae</i> Latreille, 1802		<i>Camponotus</i>		
	<i>Dorylinae</i> Schneirla, 1971		<i>Dorylus</i>				
	<i>Heteroptera</i> Linnaeus, 1758	<i>Pentatomidae</i> Leach, 1815		<i>Piezodorus</i>			
	<i>Collembola</i> Lubbock, 1870	<i>Tomoceridae</i> Schäffer, 1896		<i>Plutomurus</i>			
	<i>Isoptera</i> Linnaeus, 1758	<i>Rhinotermitidae</i> Light, 1912	<i>Psammotermitinae</i> Desneux, 1902	<i>Psammotermes hybostoma</i>			
<i>Termitidae</i> Westwood, 1840		<i>Termitinae</i> Sjöstedt, 1926	<i>Microtermes lepidus</i>				
			<i>Microtermes grassei</i>				
			<i>Microcerotermes sp</i>				
			<i>Odontotermes sp</i>				

1.2. Fréquence d'occurrence des différents groupes taxonomiques

Tableau IV. Effectifs des taxons récoltés dans la station d'expérimentation

Taxons	Parcelles non traitées	Parcelles traitées
Isopodes	41	1
Aranéides	54	59
Collemboles	16	1
Isoptères	525	210
Hétéroptères	9	23
Coléoptères	744	318
Hyménoptères (Formicidae)	2647	1817
Indéterminés	20	13
Total	4056	2442

En première année d'inventaire de la macrofaune du sol, 6498 individus ont été récoltés dans les deux blocs de l'essai. Les différents taxons rencontrés sont notés dans le tabl. IV. Il s'agit :

- des Chélicérates composés par les Arachnides de l'Ordre des Aranéides (Araignées),
- des Mandibulates qui comportent des:
 - Crustacés terrestres de l'Ordre des Isopodes (Cloportes),
 - Insectes avec les Ordres des Collemboles, des Isoptères (Termites), des Hétéroptères (Punaises terrestres), des Coléoptères et des Hyménoptères (Fourmis).

Globalement, dans les deux blocs, les groupes taxonomiques les plus importants en nombre d'individus sont : les Hyménoptères (Formicidae), les Coléoptères, les Isoptères et les Aranéides. Les effectifs des Isopodes, des Hétéroptères sont faibles. Les effectifs de Chilopodes, de Scorpions, de Pseudoscorpions, de Thysanoures, d'Acariens, d'Orthoptères et d'Homptères étant trop faibles, ces taxons sont regroupés sous le terme générique «Indéterminés».

L'analyse de la variance de l'effectif moyen par taxon et par parcelle entre le bloc traité et le bloc non traité au chlorpyriphos-éthyl (tab.V) montre des différences significatives au seuil de 5 %.

Tableau V. Effectifs moyens par parcelle des taxons dans les deux blocs réunis

Taxons	Moyenne estimée
Hyménoptères	27,61 ^a
Indéterminés	5,49 ^b
Isopodes	4,54 ^b
Coléoptères	1,19 ^c
Aranéides	0,72 ^c
Hétéroptères	0,19 ^c
Collembolés	0,11 ^c
Isopodes	0,08 ^c

L'appartenance au même groupe (a, b ou c) signifie qu'il n'y a pas de la différence statistiquement significative entre les effectifs observés (Test Newman-Keuls, seuil de 5 %).

1.3. Biomasse de la macrofaune du sol

La comparaison des moyennes de la biomasse de l'ensemble des taxons dans chacun des deux blocs, montre que cette moyenne est plus importante dans le bloc non traité que dans celui traité au chlorpyriphos-éthyl. Le test de Newman-Keuls avec un intervalle de confiance de 95% montre que la différence de biomasse observée entre les deux blocs est significative.

Tableau VI. Moyennes de la biomasse (en g/m²) dans les deux blocs

Blocs	Moyenne estimée
Non traité	1,66 ^a
Bloc traité	1,13 ^b

1.3.1. Biomasse de la macrofaune et qualité de matière organique apportée

Au niveau des parcelles, les biomasses les plus importantes sont rencontrées dans les parcelles recouvertes de cannes de mil avec une moyenne de 0,12 g/m². Elles sont moins importantes dans les parcelles témoins où nous avons une moyenne de 0,03 g/m² (fig. 27).

La comparaison de ces moyennes montre que la différence n'est pas significative entre les parcelles recouvertes de canne de mil et celles recouvertes de crottes d'Ovins de Caprins. Cependant, cette différence reste significative entre les parcelles témoins et les autres recouvertes de matières organiques.

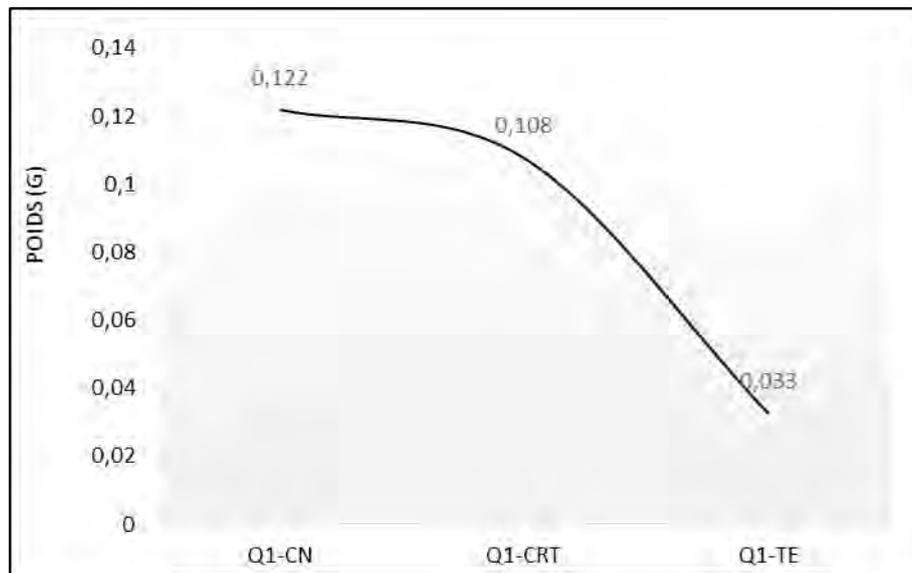


Figure 27. Biomasse de la macrofaune du sol dans les parcelles

CN = cannes de mil; CRT = crottes d'ovins et de caprins; TE: témoin sans apport de MO

1.3.2. Répartition verticale de la biomasse de la macrofaune du sol

En fonction de la profondeur, la distribution de la biomasse n'est pas homogène. De la couche superficielle (0-10 cm) à la couche 20-30 cm on observe une diminution de la biomasse (tab. VII). Les moyennes les plus importantes sont enregistrées au niveau des couches superficielles c'est-à-dire entre 0 et 10 cm de profondeur (C1) puis dans les couches 10 à 20 cm de profondeur (C2) et en fin dans les couches 20 à 30 cm de profondeur (C3). La différence de ces moyennes reste significative entre la couche la plus profonde et les deux premières couches.

Tableau VII. Moyennes de la biomasse (g/m²) suivant les couches

Couche	Moyenne
C1	1,93 ^a
C2	1,44 ^a
C3	0,81 ^b

Les mêmes lettres en exposant (a ou b) sur des chiffres signifient que la différence observée n'est pas statistiquement significative (Test Newman-Keuls, seuil de 5 %).

1.4. Densité de la macrofaune du sol

Les densités moyennes de la macrofaune du sol dans le bloc non traité au chlorpyriphos-éthyl et dans celui traité sont respectivement 87,23 ind./m² et 72,56 ind./m². La différence entre les densités moyennes des deux blocs n'est statistiquement significative (Test Newman-Keuls, seuil de 5 %).

Tableau VIII. Densités moyennes (ind./m²) dans les blocs

Bloc	Moyenne
Non traité	87,23
Traité	72,56

1.4.1. Densité de la macrofaune et qualité de la matière organique apportée

Dans les parcelles, les densités les plus élevées sont observées dans les parcelles recouvertes de canne de mil suies de celles recouvertes de crottes d'Ovins et de Caprins et enfin dans celles témoins c'est-à-dire n'ayant pas reçu un traitement de matière organique (fig. 28). Ces différences observées sont aussi valables dans le bloc traité au chlorpyriphos-éthyl que dans celui non traité. Elles restent, statistiquement, non significatives (Test Newman-Keuls, seuil de 5 %).

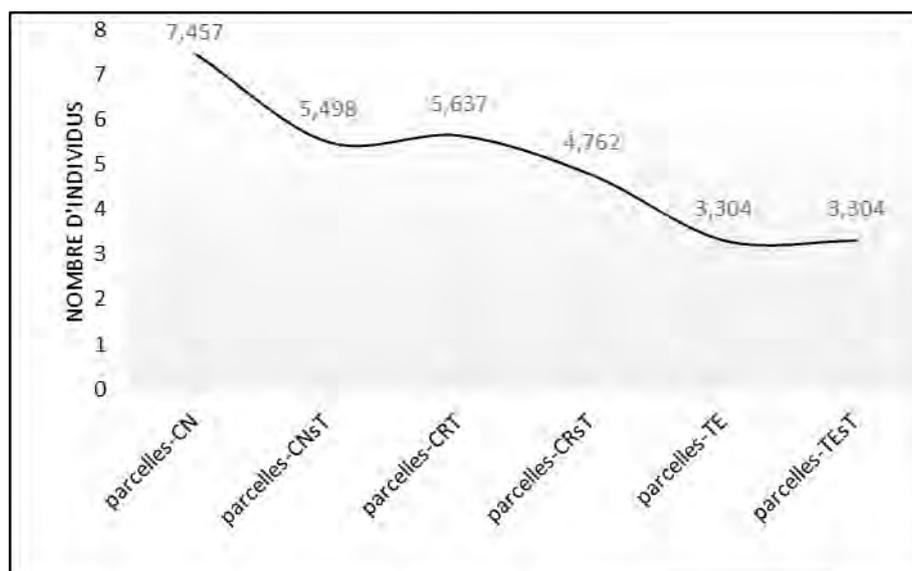


Figure 28. Variation de la densité moyenne dans les parcelles

1.4.2. Répartition verticale de la densité de la macrofaune du sol

Suivant la profondeur, la densité de la macrofaune du sol a été localisée dans toutes les couches (tab.IX). Cependant, la densité moyenne la plus importante a été observée dans les couches 10-20 cm où elle est de 95,96 ind.m⁻², puis dans les couches 0-10 cm où elle est de 88,48 ind.m⁻² et dans les couches 20-30 cm où nous avons 55,26 ind.m⁻². La différence observée entre ces densités moyennes est nettement significative entre les couches 10-20 cm et 20-30 cm.

Ces résultats peuvent s'expliquer du fait que la couche 10-20 cm constitue une couche intermédiaire où la macrofaune peut trouver, à la fois, de la matière organique, de l'humidité et de l'air.

Tableau IX. Moyennes de la densité (ind./m²) suivant les couches

Couche	Moyenne
C1	88,48 ^a
C2	95,96 ^a
C3	55,26 ^b

2. Impact sur la matière organique du sol

2.1. Teneurs en matière organique des deux blocs

La matière organique du sol, déterminée par la méthode d'analyse chimique, présente des valeurs variant entre 1 et 5%. La teneur la plus importante est observée dans le bloc traité au chlorpyrifos-éthyl (5,56%). La teneur la plus faible est enregistrée dans le bloc non traité (1,06%). La teneur moyenne en matière organique des échantillons de sol du bloc traité est de 2,62%. Elle est de 2,41% dans le bloc témoin (tab.X).

La différence de ces moyennes n'est pas significative, même si cette moyenne est plus importante dans le bloc traité. D'après ces résultats, le sol du bloc traité est relativement riche en matière organique, probablement à cause de la présence beaucoup moins importante de macrofaune du sol dans ce bloc que dans celui non traité.

Tableau. X : Teneur moyenne (%) en matière organique du sol dans les blocs

Bloc	Moyenne
Non traité	2,41
Traité	2,62

2.1. Teneurs en matière organique du sol dans les parcelles

Dans le bloc traité au chlorpyrifos-éthyl, la matière organique déterminée présente des valeurs qui varient entre 1 et 5 %. Les pourcentages moyens les plus importants sont observés dans les parcelles recouvertes des crottes d'Ovins et de Caprins avec une moyenne de 3,04 %, puis dans les parcelles témoins avec une moyenne de 2,73 % et les pourcentages les plus faibles sont enregistrés dans les parcelles recouvertes de cannes de mil avec une moyenne de 2,12 %. Par contre, dans le bloc non traité, les pourcentages en matière organique déterminés varient entre 1 et 4 %. Les moyennes les plus importantes sont enregistrés dans les parcelles recouvertes de cannes de mil avec une moyenne de 2,73 % puis dans les parcelles témoins avec une moyenne de 2,56 % et la moyenne la plus faible est enregistrée dans les parcelles recouvertes de crottes (1,94 %). La différence de ces pourcentages moyens n'est pas significative (fig. 29).

Les teneurs en matière organique du sol des différentes parcelles ne sont pas, par conséquent, spécifiques à la nature du sol mais plutôt de l'apport de matière organique mais aussi par le

traitement au chlorpyriphos-éthyl qui influe sur la macrofaune du sol (qui joue un rôle très important dans la minéralisation de cette matière organique).

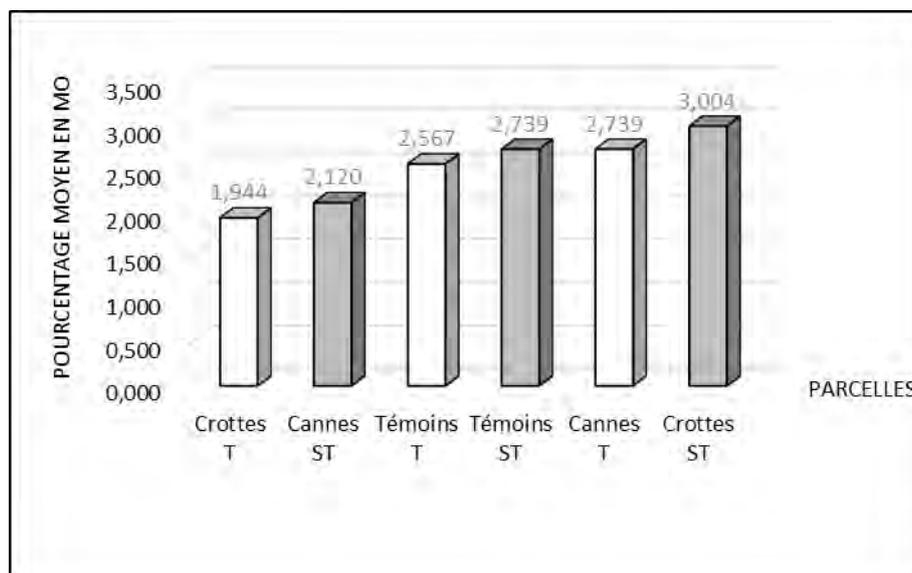


Figure 29. Teneur moyenne en matière organique du sol des parcelles

3. Impact sur la teneur en éléments minéraux du sol

3.1. Teneurs en carbone organique du sol

3.1.1. Dans les deux blocs

Les valeurs moyennes en carbone organique obtenues sont de 1,52% dans le bloc traité au chlorpyriphos-éthyl et 1,40% dans le bloc non traité. La différence entre ces moyennes reste non significative.

Tableau XI : Teneur moyenne (%) en carbone organique du sol dans les blocs

Bloc	Moyenne
Non traité	1,40
Traité	1,52

3.1.2. Dans les parcelles

Dans le bloc non traité, les valeurs moyennes en carbone organique sont de: 1,48% dans les parcelles témoins, 1,58% dans les parcelles qui ont reçu un apport de cannes de mil et 1,12% dans les parcelles qui ont reçu un apport de crottes (fig. 30).

Dans le bloc traité au chlorpyriphos-éthyl, la moyenne la plus importante en carbone organique est enregistrée dans les parcelles qui ont reçu des crottes (1,74%). Cette moyenne est de 1,58% dans les parcelles témoins et 1,23% dans les parcelles qui ont reçu un apport de

cannes de mil.

Le carbone organique est le principal constituant des matières organiques. Il représente environ 50% de celles-ci. Donc ces résultats viennent corroborer ceux de la teneur en matière organique dans les blocs mais également dans les parcelles.

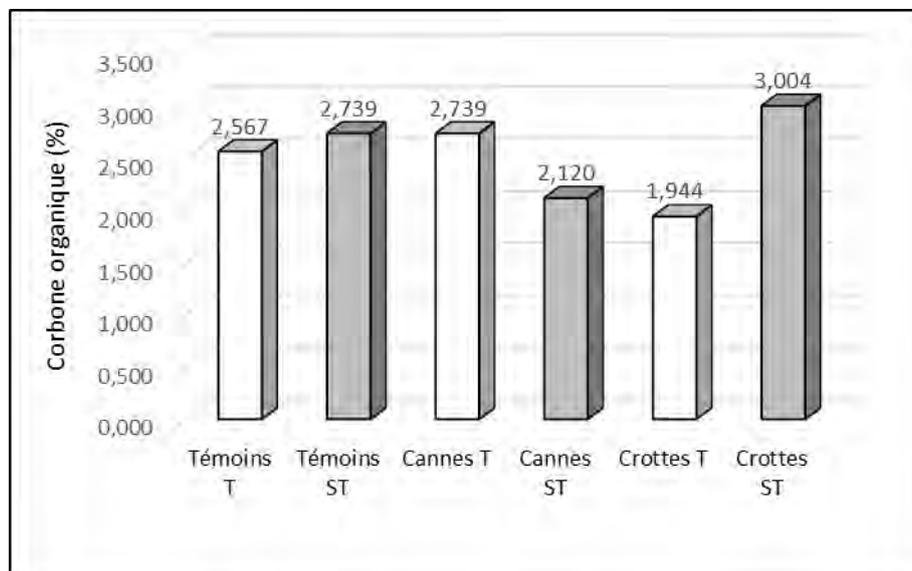


Figure 30: Teneur moyenne en carbone organique du sol dans les parcelles

3.2. Teneurs en azote du sol

Selon N'Dayegamiye et *al.* (2007), de tous les éléments nutritifs, l'azote est celui qui est le plus difficile à gérer en fertilisation. Mais en même temps, il est l'élément nutritif le plus important pour la croissance des cultures et les niveaux de rendement. En effet, c'est principalement l'azote qui détermine le développement de la plante et des racines et qui stimule l'absorption optimale des autres éléments nutritifs du sol.

3.2.1. Dans les deux blocs

Les échantillons de sol prélevés dans les différentes parcelles du bloc traité au chlorpyriphos-éthyl et du bloc non traité montrent un pourcentage moyen en azote de 0,11%. Cette moyenne est de 0,10% dans le bloc traité au chlorpyriphos-éthyl et 0,11% dans le bloc non traité (tab.XII). La différence observée entre les deux moyennes n'est pas significative.

Cette différence en pourcentage d'azote dans les blocs pourrait s'expliquer par une minéralisation moins importante dans le bloc traité au chlorpyriphos-éthyl due à la réduction de l'activité de la macrofaune du sol par le chlorpyriphos-éthyl.

Tableau. XII: Valeur moyenne (%) en azote du sol des blocs

Bloc	Moyenne
Traité	0,10
Non traité	0,11

3.2.2. Dans les parcelles

Dans les parcelles du bloc non traité, le pourcentage moyen en azote le plus important est enregistré dans les parcelles qui ont reçu un apport de cannes de mil (0,14%). Cette moyenne est de 0,10% dans les parcelles témoins et 0,08% dans les parcelles qui ont reçu un apport de crottes. Dans les parcelles du bloc traité au chlorpyriphos-éthyl, le pourcentage moyen en azote est de 0,11% dans les parcelles qui ont reçu un apport de matière organique (cannes de mil et crottes). Il est de 0,09 dans les parcelles témoins (fig. 31).

Ces résultats montrent une minéralisation en azote plus importante dans les parcelles qui ont reçu des cannes de mil même si les différences observées entre les moyennes ne sont pas significatives.

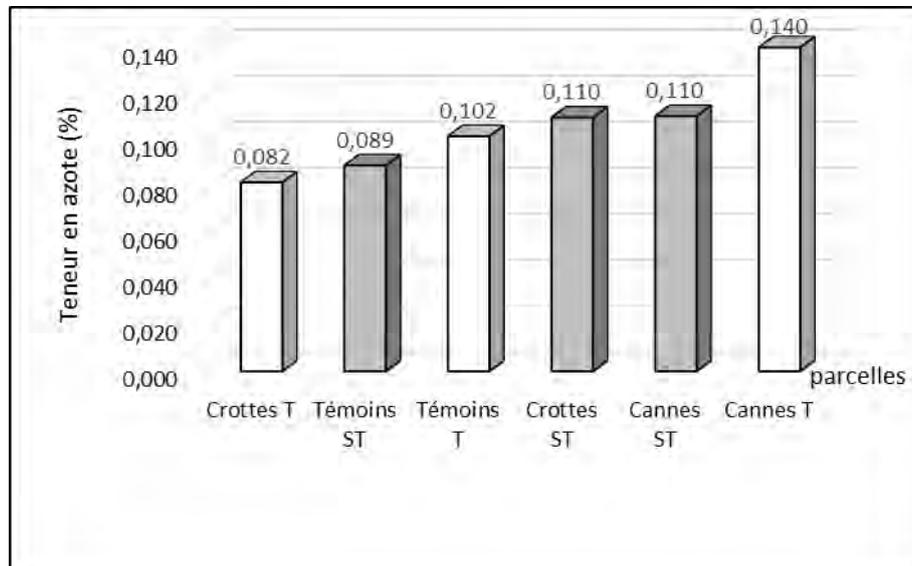


Figure 31. Teneurs moyennes (%) en azote du sol des parcelles

3.3. Variations du rapport Carbone / azote

Le rapport carbone/azote du sol un indicateur plus ou moins bon du fonctionnement du sol. En effet, si ce rapport est supérieur à 12, cela montre une dégradation trop lente de la matière organique. Si le rapport est faible c'est-à-dire inférieur à 8, il met en évidence une activité très

importante au niveau du sol.

3.3.1. Dans les deux blocs

Le rapport C/N des échantillons de sol de la station d'expérimentation présente une moyenne de 14,04. La moyenne du même rapport dans le bloc non traité est de 13,32 et 14,69 dans le bloc traité au chlorpyriphos-éthyl (tab.XIII). Même si cette moyenne est plus importante dans le bloc traité que dans le bloc non traité, la différence des moyennes n'est pas significative.

Tableau XIII: Rapport C/N du sol des blocs du sol des blocs

Bloc	Moyenne
Traité	14,69
Non traité	13,32

3.3.2. Dans les parcelles

Dans le bloc non traité, le rapport C/N présente une moyenne de 14,69 au niveau des parcelles témoins. Cette moyenne est de 11, 01 dans les parcelles recouvertes de cannes de mil et 14,48 dans les parcelles recouvertes de crottes. Dans le bloc traité au chlorpyriphos-éthyl, les moyennes sont de 18,02 dans les parcelles témoins, 10,57 dans les parcelles recouvertes de cannes de mil et 15,47 dans les parcelles recouvertes de crottes (fig.32). Sur l'ensemble des parcelles des deux blocs, la comparaison des moyennes ne montre pas de différence significative même s'il y a des entre ces moyennes.

Les résultats obtenus sur l'ensemble des deux blocs, exceptées les parcelles recouvertes de cannes de mil, montrent une dégradation trop lente car ayant des valeurs de C/N supérieures à 12. Cette dégradation est beaucoup plus lente dans les parcelles témoins que dans ceux recouvertes de crottes. Ces mêmes résultats permettent de dire que l'activité au niveau du sol est plus importante dans les parcelles recouvertes de cannes de mil.

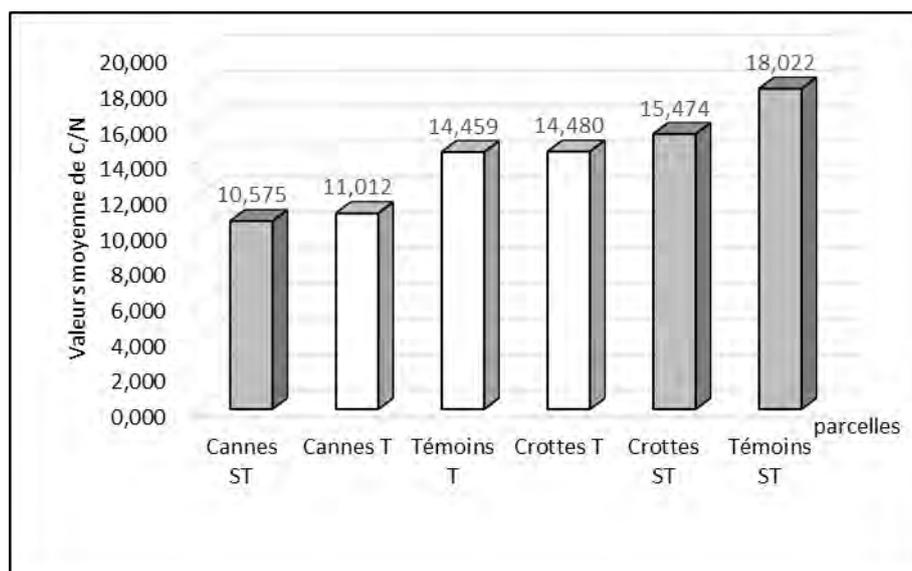


Figure 32. Variation du rapport C/N du sol dans les parcelles

3.4. Les teneurs en bases échangeables (S)

Parmi les caractéristiques chimiques des sols tropicaux, la composition du complexe absorbant tient une place essentielle. D'elle dépendent un certain nombre de propriétés fondamentales du sol: propriétés physiques, réaction et pouvoir tampon, conservation dans les sols arables des bases indispensables à la nutrition des végétaux (Assié 2004).

Les bases échangeables sont principalement le calcium et le potassium en premier lieu, le magnésium et le sodium ensuite. La somme de ces quatre cations, donc leur pourcentage total s'appelle la somme des bases échangeables notée S. on les appelle des bases échangeables car si ces ions sont globalement perdus par le sol, cela provoque une hausse des ions H^+ et donc une acidification.

3.4.1. Dans les blocs

Dans la station d'expérimentation, la moyenne en bases échangeables des échantillons de sol est de 2,52%. Cette moyenne est de 2,05% dans le bloc non traité et 2,99% dans le bloc traité au chlorpyrifos-éthyl. La différence entre ces deux moyennes reste significative.

Tableau XIV. Moyenne de la somme des bases échangeables (S) du sol dans les blocs

Blocs	Moyenne(%)
Non traité	2,05 ^a
Traité	2,99 ^b

3.4.2. Dans les parcelles

Les moyennes les plus importantes sont enregistrées dans les parcelles du bloc traité au chlorpyriphos-éthyl avec 3,25% dans les parcelles recouvertes de crottes, 2,97% dans les parcelles recouvertes de cannes de mil et 2,74% dans les parcelles témoins.

Dans le bloc non traité, les moyennes les plus importantes sont aussi enregistrées dans les parcelles recouvertes de crottes (2,43%) puis dans celles recouvertes de cannes de mil (2,04%) et enfin dans les parcelles témoins (1,67%). L'analyse de comparaison de ces moyennes montre des différences significatives entre les parcelles avec crottes du bloc traité et les parcelles témoins et celles des cannes de mil du bloc non traité (fig. 33).

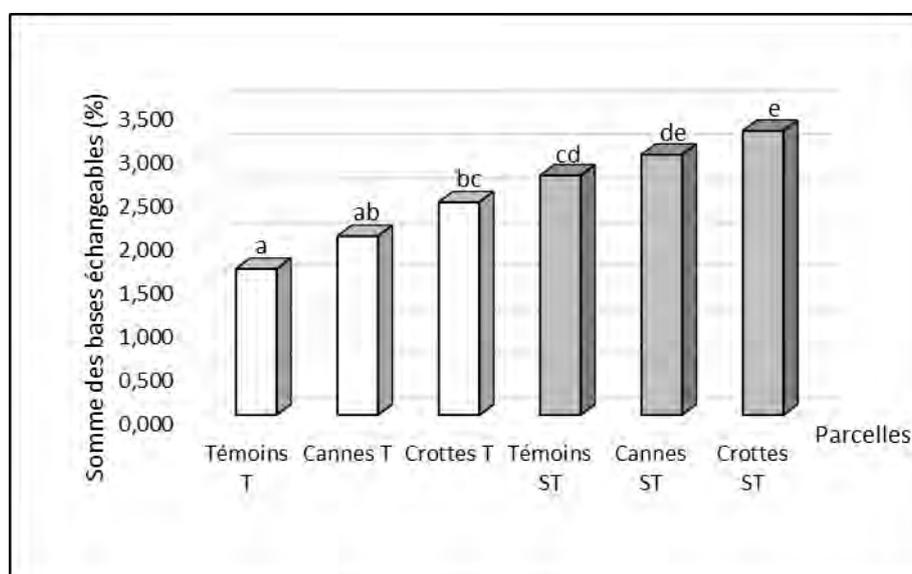


Figure 33. Moyennes de la somme des bases échangeables du sol dans les parcelles

3.5. Teneurs en potassium

3.5.1. Dans les deux blocs

Le potassium échangeable est une donnée très couramment utilisée dans la pratique agronomique habituelle; outre qu'il est facile à mesurer, il paraît bien représenter la forme du potassium la plus facilement accessible aux racines et en définitive, il se relie assez bien aux disponibilités immédiates du sol en cet élément.

Dans les blocs de la station d'expérimentation, la moyenne en potassium des échantillons de sol est de 0,66%. Cette moyenne est plus importante dans le bloc traité (0,87%) que dans le bloc non traité (0,46%). La différence entre ces deux moyennes reste significative. Cela pourrait s'expliquer par le fait que le potassium mesuré (potassium échangeable) est fixé sur

le complexe absorbant du sol sous forme de cation K^+ et que lorsque la solution du sol s'appauvrit en potassium, le complexe libère des cation K^+ . Et d'après nos résultats précédents il est normale qu'il ait un appauvrissement de la solution du sol dans le bloc traité car le chlorpyrifos-éthyl a impacté sur l'activité de la macrofaune du sol qui participe à la minéralisation dans le sol.

Tableau XV : Teneur moyenne (%) en potassium du sol dans les blocs

Bloc	Moyenne (K^+)
Non traité	0,46 ^a
traité	0,87 ^b

3.5.2. Dans les parcelles

Dans les parcelles, les teneurs en potassium les plus importantes sont enregistrées dans les parcelles recouvertes de cannes de mil et de crottes du bloc traité avec des moyennes respectives de 1,12% et 0,82%. Puis dans les parcelles recouvertes de cannes de mil du bloc non traité (0,81%), dans les parcelles témoins du bloc traité (0,67%). Et enfin dans les parcelles recouvertes de crottes (0,36%) et dans celles témoins (0,23%) du bloc non traité. L'analyse de comparaison de ces moyennes montre des différences significatives entre les parcelles avec canne de mil du bloc traité et les parcelles témoins des deux blocs mais aussi avec celles recouvertes de crottes du bloc non traité (fig. 34).

Ces résultats montrent une libération de cation K^+ plus importante dans les parcelles qui enregistrent les plus grandes moyennes et par conséquent un appauvrissement plus important de la solution du sol de ces parcelles.

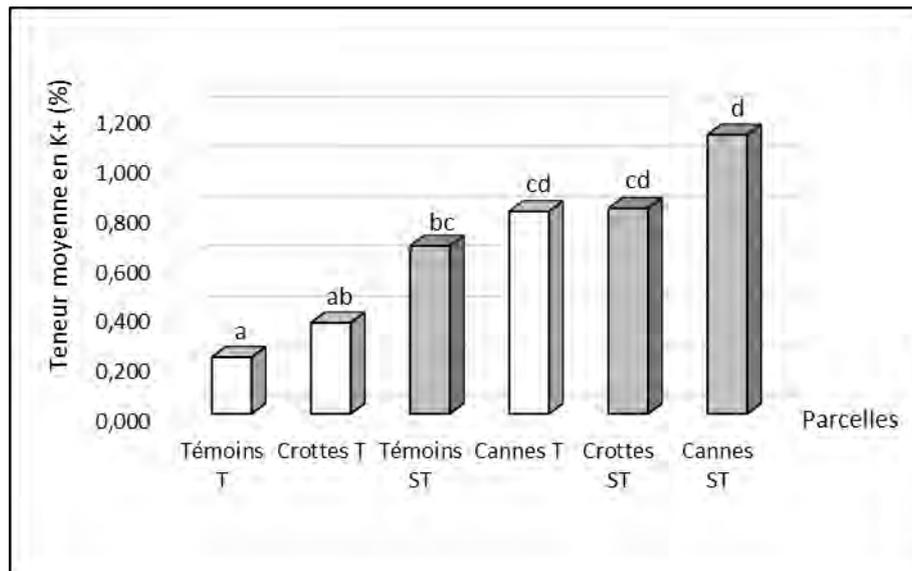


Figure 34. Teneur moyenne en potassium du sol dans les parcelles

3.6. Teneurs en phosphore

Le phosphore est élément essentiel à la croissance des plantes. Dans le sol, le phosphore est très peu mobile, voire immobile. Cette immobilité est un avantage car le phosphore ne sera pas pratiquement lessivé dans la plupart des sols. Cela est également un désavantage car la plante aura des difficultés à trouver la quantité de phosphore nécessaire à sa croissance.

D'après la Fédération Nationale de l'Industrie des Engrais, les différents engrais phosphatés sont obtenus à partir des phosphates naturels et peuvent être classés en fonction de leur type de solubilité. La seule forme de phosphore susceptible d'être utilisée de façon significative par les cultures quels que soient le sol, l'année de l'apport est le P_2O_5 soluble à 100% dans l'eau et le citrate d'ammonium neutre. Les autres formes sont, soit lentes, soit inefficaces selon le pH du sol.

3.6.1. Dans les deux blocs (tab.XVI)

La moyenne la plus importante en P_2O_5 est enregistrée dans le bloc traité au chlorpyriphos-éthyl (5,16%). La moyenne la plus faible reste 3,42% et elle est enregistrée dans le bloc non traité. Malgré la différence qui existe entre ces deux moyennes, l'analyse statistique montre que cette différence n'est pas significative.

Tableau XVI: Moyenne de P_2O_5 (%) du sol dans les blocs

Bloc	Moyenne (P_2O_5)
Non traité	3,42
Traité	5,16

3.6.2. Dans les parcelles

Les moyennes les plus importantes en P_2O_5 sont enregistrées dans les parcelles avec cannes de mil et dans celles avec crottes d'Ovins et de Caprins du bloc traité au chlorpyriphos-éthyl avec respectivement 5,51% et 5,20%. Dans les parcelles témoins de ce bloc, elle est de 4,75%. Dans les parcelles du bloc non traité, la moyenne de P_2O_5 est de 4,29% dans les parcelles qui ont reçu un apport de crottes, 3,06% dans parcelles qui ont reçu un apport de cannes de mil et 2,91% dans les parcelles témoins (fig. 35). Les différences observées dans les différentes parcelles, ne sont pas significatives.

Ce résultat s'explique en partie par une fertilisation par apport de matière organique qui renouvelle les réserves en phosphore. Il faut également signaler que la réduction de la macrofaune du sol dans le bloc traité au chlorpyriphos-éthyl entraîne un développement moins important de la flore dans ce bloc et par conséquent une utilisation moins importante de P_2O_5 par les végétaux de ce bloc.

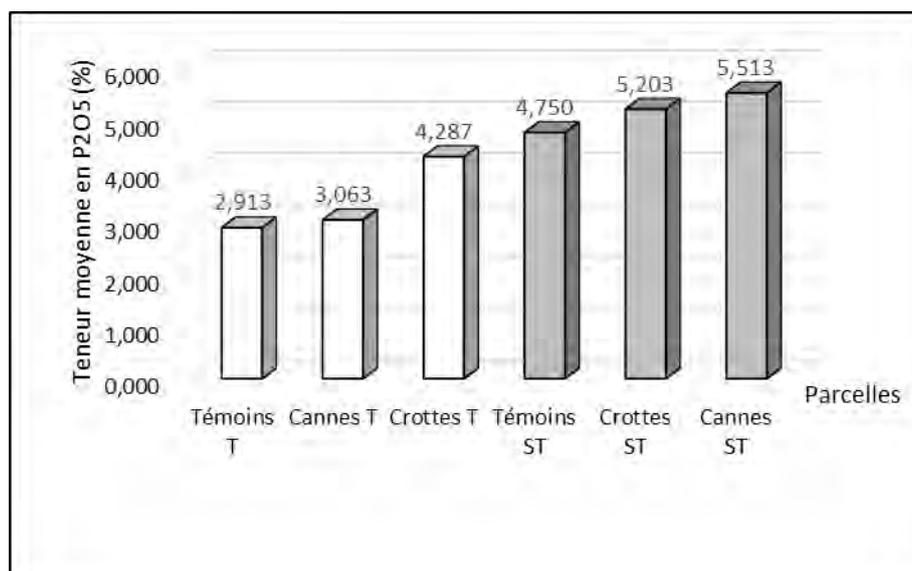


Figure 35. Teneur moyenne en phosphore du sol dans les parcelles

4. Impact sur les paramètres physiques du sol

4.1. Indice d'infiltration de l'eau

La capacité d'infiltration est un bon indicateur de la qualité physique du sol, car il y a une relation directe avec la qualité de la structure et la présence de macropores continus dans le champ. Elle peut être étudiée de différentes manières. Une observation visuelle peut déjà en donner une première idée. Afin d'obtenir une estimation plus exacte, il convient d'utiliser des

méthodes quantitatives telle que la mesure du temps d'infiltration.

4.1.1. Temps d'infiltration de l'eau dans les blocs

Pour un volume d'eau de 70,65 cm³, soit 0,07065 L, le temps moyen d'infiltration est de 5,04 secondes dans la station d'expérimentation. Ce temps moyen est de 3,6 secondes dans le bloc non traité et 6,12 secondes dans le bloc traité au chlorpyriphos-éthyl (tab.XVII). La différence de ces moyennes entre les deux blocs est significative et pourrait s'expliquer par un sol moins perméable dans le bloc traité où l'activité de la macrofaune du sol, qui participe à l'aération et à la perméabilité du sol, est réduite par le chlorpyriphos-éthyl.

Tableau XVII: Temps moyen (h) d'infiltration de l'eau dans les blocs

Bloc	Moyenne (seconde)
Non traité	3,6 ^a
Traité	6,12 ^b

4.1.2. Temps d'infiltration de l'eau dans les parcelles

Dans les parcelles du bloc non traité, les temps moyens d'infiltration les moins importants sont enregistrés dans les parcelles témoins avec 2,88 secondes, puis dans les parcelles qui ont reçu des crottes avec 3,6 secondes et dans les parcelles qui étaient recouvertes de cannes de mil (3,96 secondes). Il en est de même pour les parcelles du bloc traité au chlorpyriphos-éthyl où les temps moyens les plus faibles sont observés dans les parcelles témoins, suivies des parcelles qui étaient recouvertes de crottes et de celles qui ont reçu des cannes de mil avec respectivement 5,76 secondes, 6,12 secondes et 6,84 secondes (fig. 36). Ces différences de moyenne restent significatives entre les parcelles témoins du bloc non traité et toutes les parcelles du bloc traité au chlorpyriphos-éthyl.

Ces résultats montrent également que l'infiltration de l'eau est plus rapide dans les parcelles avec crottes que dans les parcelles avec cannes de mil.

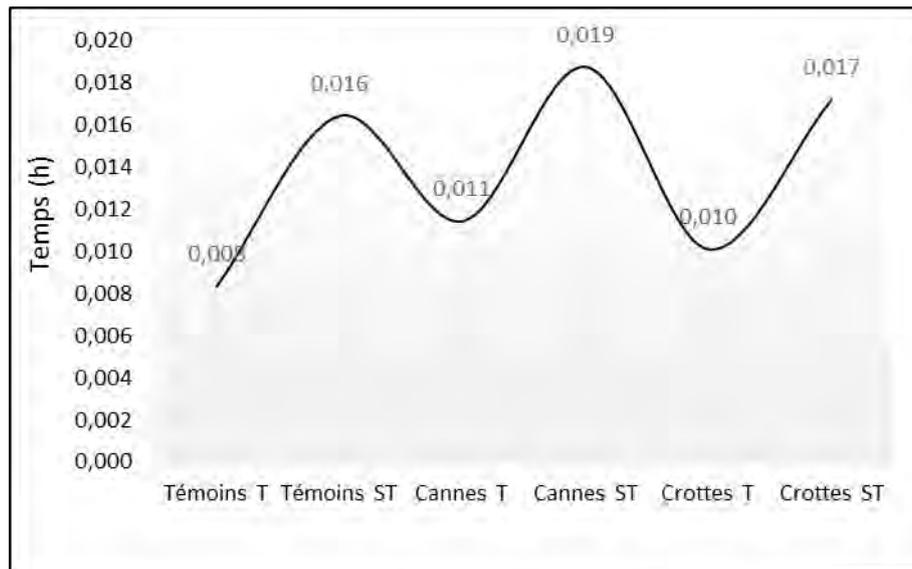


Figure 36. Temps moyen (h) d'infiltration de l'eau dans les parcelles

4.2. Indice d'humidité du sol

L'humidité du sol joue un rôle important dans le maintien de la vie sur la terre. Elle permet la croissance de la végétation et conditionne également la mise en place du peuplement végétal (germination des semences, émergence, implantation du système racinaire, etc.). Son évaluation est donc importante en agronomie et constitue un paramètre d'alerte pour la désertification.

4.2.1. Indice d'humidité du sol dans les blocs

Des échantillon de sol sont fraîchement prélevés et pesés, puis séchés à l'étuve pendant 24 h à 70°C et pesés de nouveau. Les différences de poids qui existent sur les mêmes échantillons avant et après séchage permettent d'estimer l'eau qui se trouvait dans ces échantillons de sol. Pour 54 échantillons de sol pesant chacun 350 g avant séchage, la moyenne de différence de poids obtenue après séchage à l'étuve est de 2,29 g sur l'ensemble des deux blocs. Cette moyenne est de 2,08 g dans le bloc non traité et 2,49 g dans le bloc traité au chlorpyriphos-éthyl (tab.XVIII). Cette différence de moyenne n'est pas significative. Cependant ces résultats montrent une humidité du sol plus importante dans le bloc trait que dans celui non traité. Cela pourrait s'expliquer par une infiltration limitée dans le bloc trait qui est liée à la réduction de l'activité de la macrofaune dans ce bloc.

Tableau XVIII: Différence poids moyen (g) du sol dans les blocs

Bloc	Moyenne
Non traité	2,08
Traité	2,49

4.2.2. Indice d'humidité du sol dans les parcelles.

Dans les parcelles du bloc non traité, les moyennes de différence de poids des échantillons de sol avant et après séchage sont de 1,22 g dans les parcelles témoins, 2,61 g dans les parcelles qui ont reçu des cannes de mil et 2,42 g dans les parcelles qui ont reçu des crottes. Dans les parcelles du bloc traité, elle est de 2,14 g dans les parcelles témoins, 2,87 g dans les parcelles avec cannes de mil et 2,46 g dans les parcelles avec crottes (fig. 37). Ces différences observées restent significatives entre les parcelles témoins du bloc témoin et les autres parcelles. Ces résultats montrent aussi une humidité du sol plus importante dans les parcelles qui étaient recouvertes de cannes de mil.

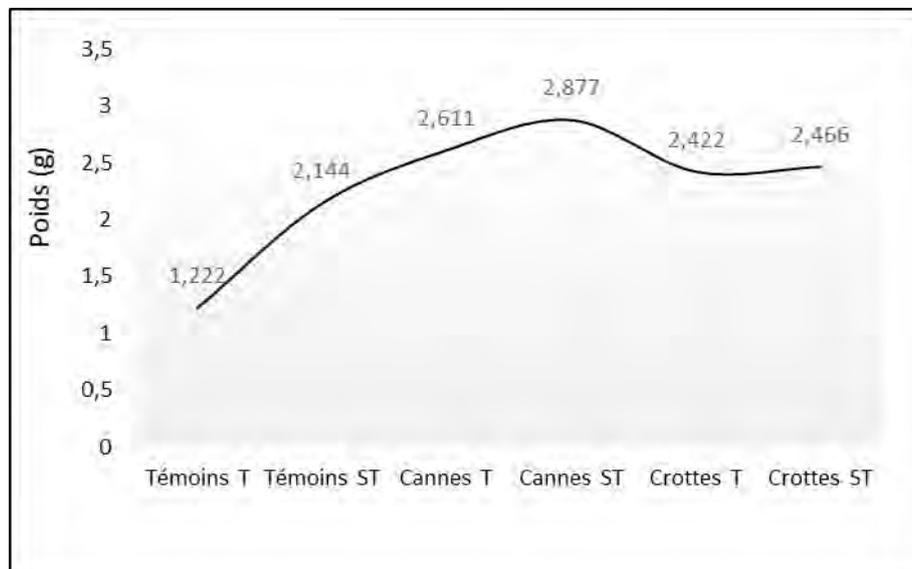


Figure 37. Différence poids moyen des échantillons de sol dans les parcelles

5. Évolution de la macrofaune du sol et des paramètres abiotiques étudiés

5.1. Évolution de la macrofaune du sol

5.1.1. Évolutions de la biomasse de la macrofaune du sol

La biomasse de la macrofaune du sol connaît une évolution si on se réfère aux analyses comparatives des données obtenues en première et deuxième année d'expérimentation.

5.1.1.1. Dans les parcelles non traités au chlorpyriphos-éthyl

Dans les parcelles témoins, la moyenne de la biomasse de la macrofaune du sol enregistrée en première année est de $0,99 \text{ g.m}^{-2}$. En deuxième année, cette moyenne est de $0,93 \text{ g.m}^{-2}$.

Dans les parcelles qui ont reçu un apport de cannes de mil, la moyenne de la biomasse

obtenue en première année est de $2,11 \text{ g.m}^{-2}$ alors celle obtenue en deuxième année est $2,80 \text{ g.m}^{-2}$.

Dans les parcelles qui ont reçu un apport de crottes d'Ovins et de Caprins, les moyennes de la biomasse de la macrofaune du sol enregistrées sont de $1,87 \text{ g.m}^{-2}$ en première année et $2,06 \text{ g.m}^{-2}$ en deuxième année (fig. 38). Les différences de moyennes ne sont pas significatives.

Ces résultats montrent que l'apport de matière organique (cannes de mil, crottes d'Ovins et de Caprins) dans les parcelles, influe sur la macrofaune du sol et par conséquent sur leurs activités.

5.1.1.2. Dans les parcelles traitées au chlorpyrifos-éthyl.

Dans les parcelles témoins c'est-à-dire n'ayant pas reçu d'apport de matière organique, les moyennes de la biomasse de la macrofaune du sol sont de $0,45 \text{ g.m}^{-2}$ en première année et $0,21 \text{ g.m}^{-2}$ en deuxième année.

Dans les parcelles qui ont reçu un apport de cannes de mil, les moyennes de la biomasse enregistrées sont de $1,34 \text{ g.m}^{-2}$ en première année et $0,86 \text{ g.m}^{-2}$ en deuxième année.

Les moyennes de la biomasse obtenues, en première et deuxième année, dans les parcelles qui ont reçu des crottes d'Ovins et de Caprins sont respectivement $1,62 \text{ g.m}^{-2}$ et $1,60 \text{ g.m}^{-2}$. Ce qui montre que la biomasse n'a, presque, pas évolué dans ces parcelles (fig. 39).

Ces résultats montrent qu'il y a une diminution non significative de la biomasse de la macrofaune du sol, dans ce bloc et durant cet intervalle de temps. Cette diminution s'explique par le fait que cet insecticide a impacté négativement sur l'évolution de la macrofaune du sol.

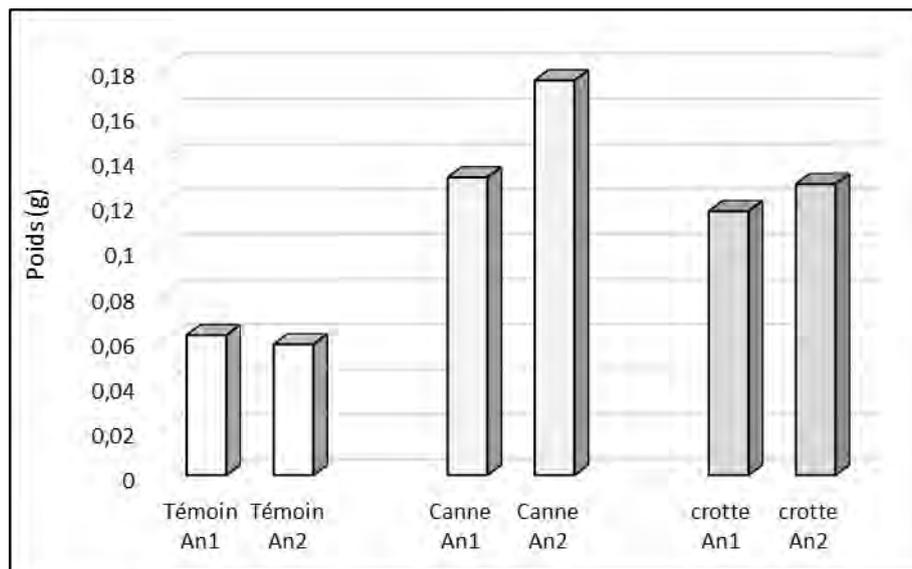


Figure 38. Évolution de la Biomasse dans le bloc non traité

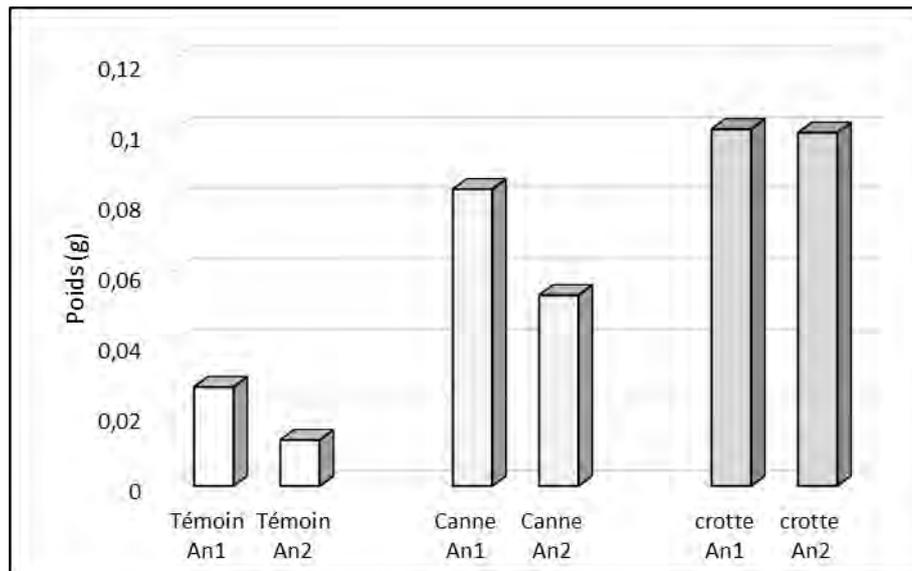


Figure 39. Évolution de la Biomasse dans le bloc traité au chlorpyriphos-éthyl

5.1.2. Évolution de la densité de la macrofaune du sol de la station

L'analyse statistique de données obtenues en première et deuxième année d'expérimentation montre que, la densité de la macrofaune du sol, a connu une évolution dans les deux blocs de la station d'expérimentation.

5.1.2.1. Dans les parcelles non traitées au chlorpyriphos-éthyl

Dans les parcelles témoins c'est-à-dire n'ayant pas reçu un apport de matière organique (cannes de mil, crottes d'Ovins et de Caprins), la moyenne de la densité de la macrofaune du sol enregistrée en première année est de 53,55 ind.m⁻². En deuxième année, cette moyenne est de 54,61 ind.m⁻².

Dans les parcelles qui ont eu un apport de cannes de mil, la moyenne de la densité de la macrofaune en première année est de 137,75 ind.m⁻². Elle est de 155,74 ind.m⁻² en deuxième année.

Dans les parcelles ayant reçu des crottes d'Ovins et de Caprins, les moyennes de la densité de la macrofaune du sol en première et deuxième année sont respectivement 107,41 ind.m⁻² et 125,34 ind.m⁻² (fig. 40).

Dans toutes les parcelles du bloc non traité, on note une augmentation, non significative, de la densité de la macrofaune du sol. Augmentation qui s'explique par l'apport de matière organique dans certaines parcelles.

5.1.2.2. Dans les parcelles traitées au chlorpyriphos-éthyl

Dans les parcelles témoins, la moyenne de la densité de la macrofaune du sol enregistrée en première année est de 25,49 ind.m⁻². Cette moyenne est de 14,96 ind.m⁻² en deuxième année

d'expérimentation.

Dans les parcelles qui ont reçu un apport de cannes de mil, les moyennes de la macrofaune du sol obtenues en première et en deuxième année sont respectivement de 93,18 ind.m⁻² et 49,52 ind.m⁻².

Dans les parcelles ayant reçu un apport de crottes d'ovins et de caprins, la densité moyenne de la macrofaune du sol est de 62,08 ind.m⁻² en première année. En deuxième année, elle est de 20,36 ind.m⁻² (fig. 41).

La différence observée entre les densités moyennes n'est significative que dans les parcelles qui ont reçu un apport de crottes d'ovins et de caprins. Ces résultats montrent que la densité de la macrofaune du sol a connu une diminution en deuxième année. Ce qui montre, encore, que le chlorpyrifos-éthyl a impacté négativement sur la macrofaune du sol.

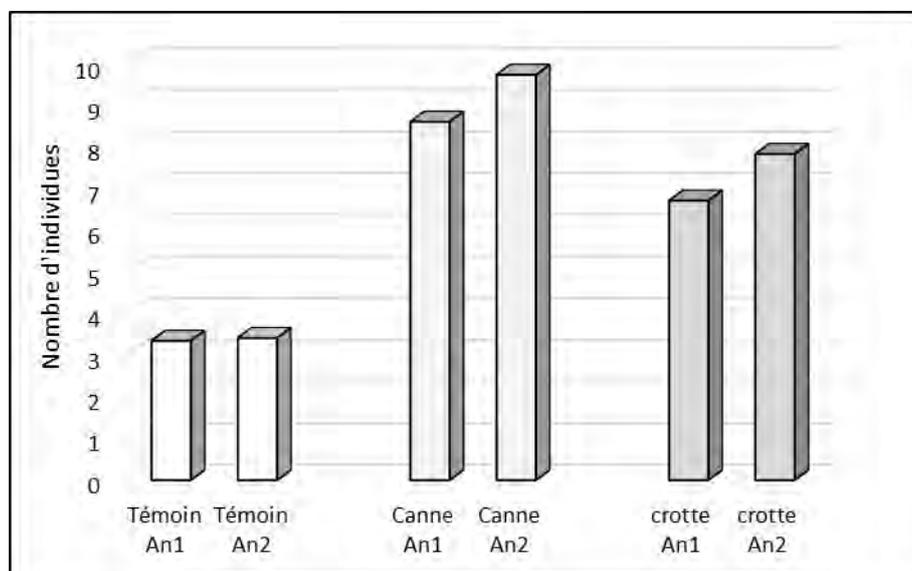


Figure 40. Évolution de la densité dans les parcelles du bloc non traité

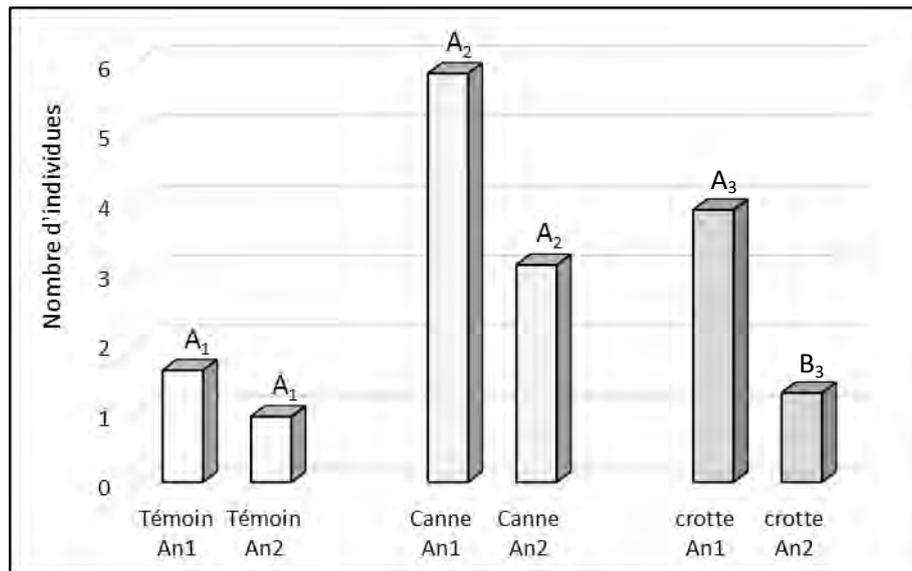


Figure 41. Évolution de la densité dans les parcelles du bloc traité

5.2. Évolution de la matière organique du sol

5.2.1. Dans les parcelles non traitées au chlorpyrifos-éthyl

La matière organique du sol, élément essentiel dans la fertilisation des sols, connaît une évolution, si l'on croit l'analyse comparative des pourcentages moyens en matière organique des échantillons de sol prélevés dans la station d'expérimentation en première et deuxième année d'expérimentation.

Dans les parcelles témoins, la matière organique du sol connaît une diminution significative entre la première et la deuxième année d'expérimentation. En effet, le pourcentage moyen de matière organique obtenu sur les échantillons de sol en première année est de 2,74% alors que celui obtenu sur des échantillons de sol en deuxième année est de 0,35%.

Dans les parcelles ayant reçu un apport de canes de mil, le pourcentage moyen de matière organique des échantillons de sol est de 2,12% en première année et il est de 0,45% en deuxième année. La différence entre ces deux pourcentages moyens n'est pas significative.

Dans les parcelles qui ont reçu des crottes d'Ovins et de Caprins, les pourcentages moyens de matière organique des échantillons de sol sont de 3,04% en première année et 0,63% en deuxième année (fig. 42). Donc une diminution significative de la matière organique du sol de ces parcelles entre la première et la deuxième année.

Cette diminution de matière organique du sol observée sur toutes les parcelles du bloc témoin s'explique, sans doute, par l'augmentation de la macrofaune du sol dans ce bloc et par conséquent, l'augmentation de leurs activités dont la décomposition de la matière organique du sol.

5.2.2. Dans les parcelles traitées au chlorpyriphos-éthyl

Dans les parcelles témoins, c'est-à-dire ayant pas reçu un apport de matière organique, les pourcentages moyens en matière organique des échantillons de sol, sont de 2,57% en première année et 1,58% en deuxième année.

Dans les parcelles qui ont reçu un apport de cannes de mil, le pourcentage moyen en matière organique des échantillons de sol, est de 2,74% en première année. En deuxième année, il est de 1,63%.

Dans les parcelles ayant reçu un apport de crottes d'ovins et de caprins, les échantillons de sol prélevés en première année et en deuxième année ont des pourcentages moyens en matière organique de 1,94% et 0,87% (fig. 43).

Dans toutes les parcelles de ce bloc, les différences entre les pourcentages moyens en matière organique du sol ne sont pas significatives; même si les teneurs en matière organique du sol sont plus importantes en première qu'en deuxième année.

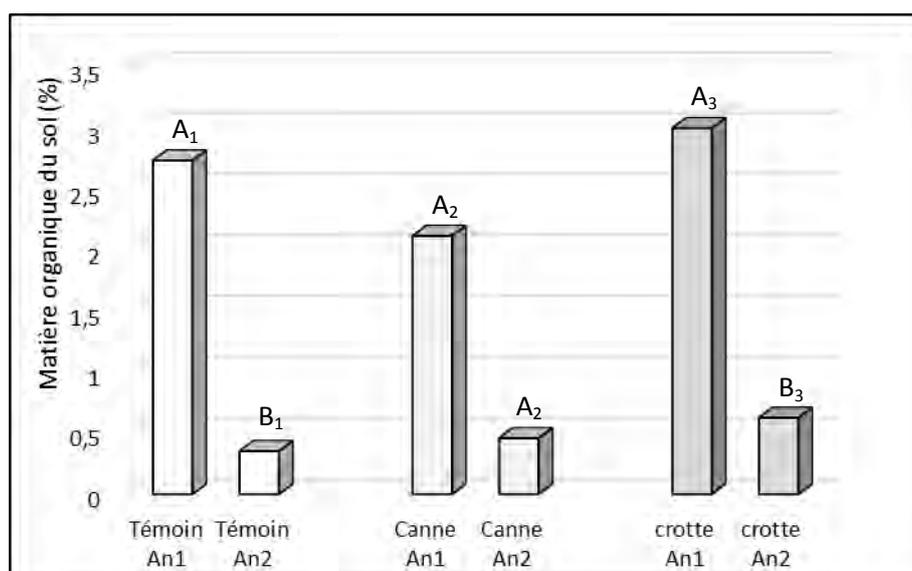


Figure 42. Évolution de la matière organique du sol dans les parcelles du bloc non traité

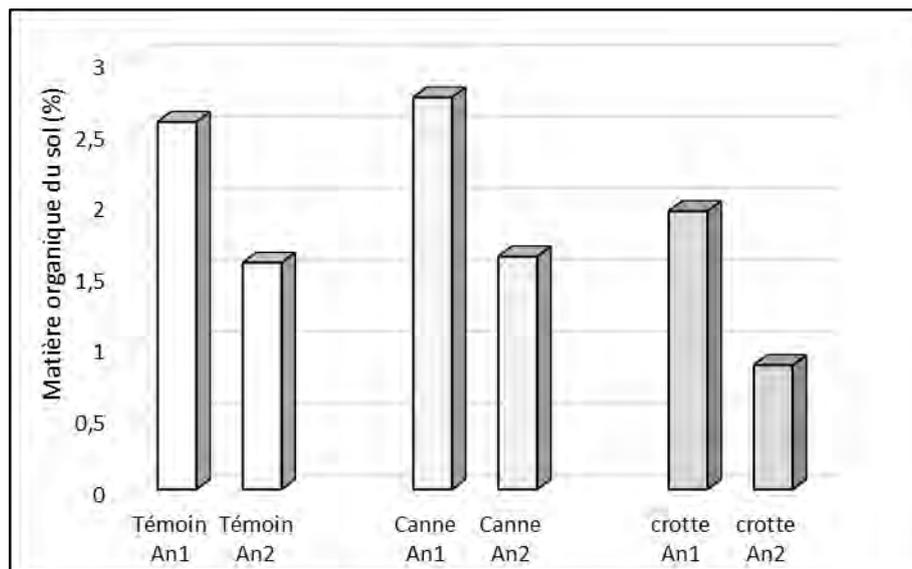


Figure 43. Évolution de la matière organique du sol dans les parcelles du bloc traité

5.3. Évolution du carbone organique du sol

5.3.1. Dans les parcelles non traitées au chlorpyrifos-éthyl

En première et deuxième année d'expérimentation, les valeurs moyennes en carbone organique des échantillons de sol sont respectivement 1,47% et 0,21% dans les parcelles témoins. D'où une teneur plus importante en carbone organique en première année.

Dans les parcelles qui ont reçu un apport de canne de mil, le pourcentage moyen en carbone organique des échantillons de sol est de 1,59% en première année. Ce pourcentage moyen en deuxième année, est de 0,27%.

Dans les parcelles qui ont reçu un apport de crottes d'Ovins et de Caprins, les pourcentages moyens en carbone organique des échantillons de sol sont de 1,13% en première année et 0,36% en deuxième année (fig. 44).

La différence observée entre les pourcentages moyens en première et deuxième année n'est significative qu'aux parcelles qui ont reçu des crottes d'Ovins et de Caprins.

La diminution de carbone organique observée dans toutes parcelles du bloc témoin entre la première et la deuxième année, montre encore une activité dans le sol plus importante en deuxième qu'en première année dans ce bloc.

5.3.2. Dans les parcelles traitées au chlorpyrifos-éthyl

En première année, le pourcentage moyen en carbone organique, des échantillons de sol, est de 1,59% ; il est de 0,34% en deuxième année dans les parcelles n'ayant pas reçu un apport de matière organique.

Dans les parcelles qui ont reçu un apport de cannes de mil, les pourcentages moyens en carbone organique des échantillons de sol sont de 1,23% en première année et 0,36% en deuxième année.

Dans les parcelles qui ont reçu un apport de crottes d'Ovins et de Caprins, les pourcentages moyens en carbone organique du sol sont de 1,74% en première année et 0,50% en deuxième année (fig. 45).

L'analyse comparative des pourcentages moyens en carbone organique du sol, dans les parcelles de ce bloc, montre que les différences ne sont pas significatives entre la première et la deuxième année ; même si les teneurs en carbone organique du sol sont plus importantes en première qu'en deuxième année. Cette évolution du carbone organique du sol révèle une activité plus importante dans le sol en première année qu'en deuxième année.

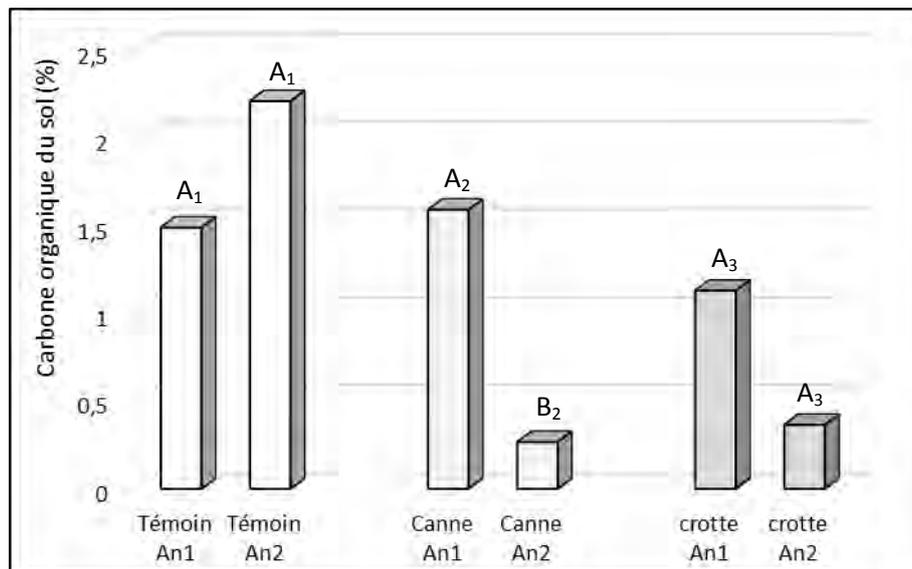


Figure 44. Évolution du carbone organique du sol dans les parcelles du bloc non traité

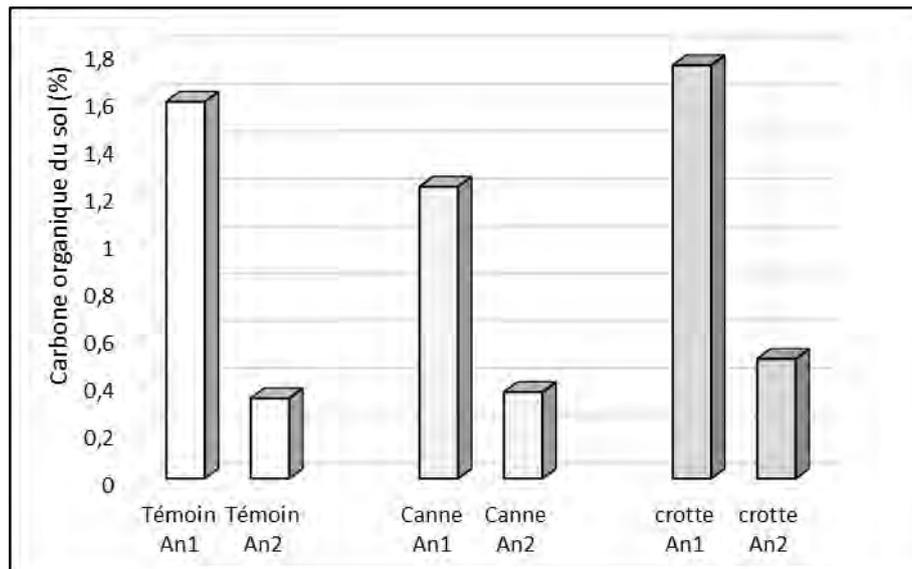


Figure 45. Évolution du carbone organique du sol dans les parcelles du bloc traité

5.4. Évolution des éléments minéraux du sol

5.4.1. Évolution de l'azote du sol

5.4.1.1. Dans les parcelles non traitées chlorpyriphos-éthyl

Le pourcentage moyen en azote des échantillons de sol prélevés dans les parcelles témoins (qui n'ont pas reçu d'apport de matière organique) est de 0,10% en première année d'expérimentation. Il est de 0,12% pour les échantillons de sol prélevés en deuxième dans les mêmes parcelles.

Dans les parcelles ayant reçu un apport de cannes de mil, le pourcentage moyen en azote est 0,14% en première année. Il est de 0,18% en deuxième année.

Dans les parcelles qui ont reçu un apport de crottes d'Ovins et de Caprins, les valeurs moyennes en azote sur les échantillons de sol sont de 0,08% en première année et 0,018% en deuxième année (fig. 46).

Même si on observe une augmentation de la teneur en azote du sol en deuxième année, cette augmentation n'est pas significative. Cette faible hausse de la teneur en azote du sol en deuxième année s'explique, évidemment par une minéralisation plus importante en deuxième année. Minéralisation qui serait lié à une augmentation de la macrofaune du sol dans ces parcelles du bloc témoin.

5.4.1.2. Dans les parcelles traitées au chlorpyriphos-éthyl

L'azote du sol a connu une évolution significative dans les parcelles témoins du bloc traité au chlorpyriphos-éthyl. En effet, les pourcentages moyens en azote des échantillons de sol

prélevés dans ces parcelles, sont de 0,09% en première année et 0,03% en deuxième année.

Cette évolution de l'azote du sol est également significative dans les parcelles qui ont reçu un apport de cannes de mil. Les pourcentages moyens en azote du sol sont de 0,11% en première année et 0,03% en deuxième année dans ces parcelles. Dans les parcelles qui ont reçu un apport de crottes d'Ovins et de Caprins, l'évolution de l'azote du sol n'est pas significative. Le pourcentage moyen en azote des échantillons de sol est de 0,11% en première année. En deuxième année, il est de 0,05% (fig. 47).

Ces résultats montrent que les teneurs en azote du sol sont plus importantes en première qu'en deuxième année. Cette diminution de la teneur en azote s'explique par une baisse de l'activité dans le sol et par conséquent une minéralisation moins importante en deuxième année dans les parcelles du bloc traité au chlorpyriphos-éthyl.

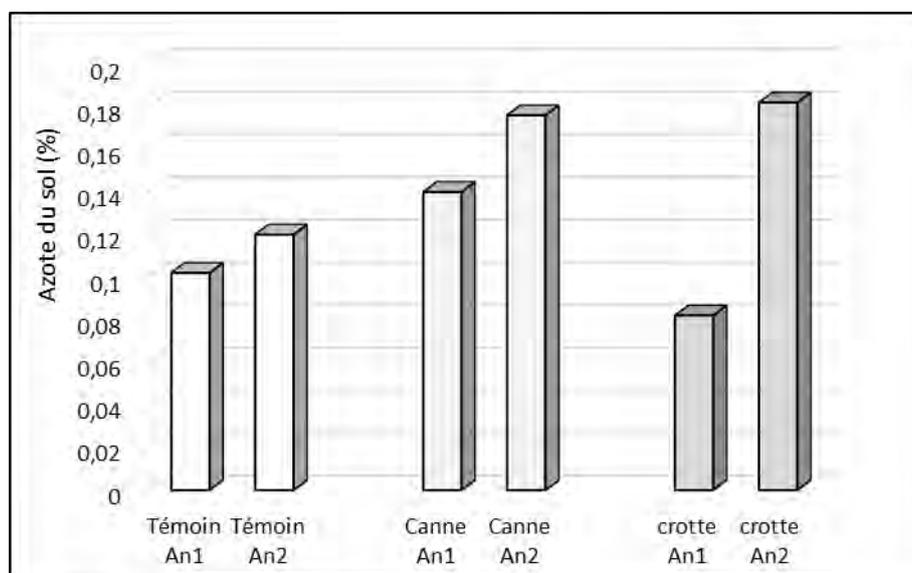


Figure 46. Évolution de l'azote du sol dans les parcelles du bloc non traité

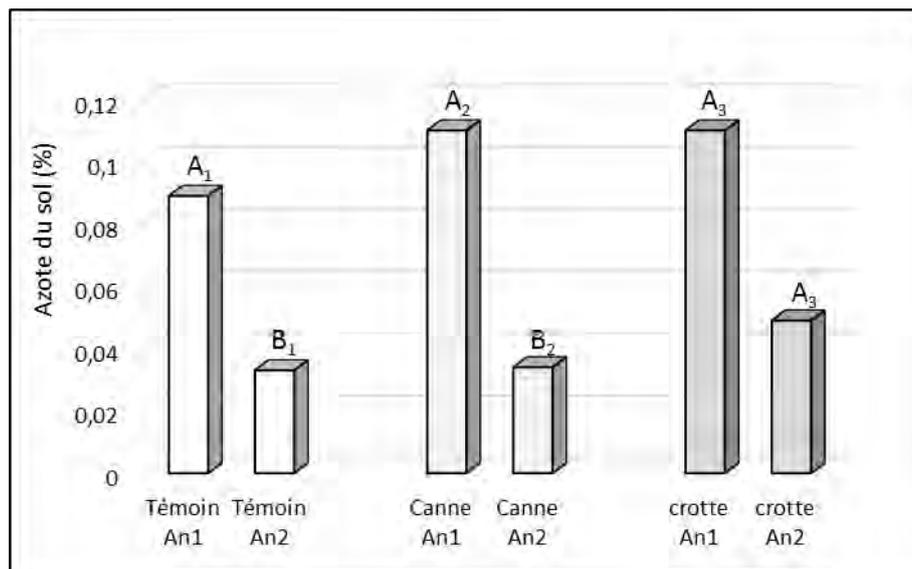


Figure 47. Évolution de l'azote du sol dans les parcelles du bloc traité

5.4.2. Évolution du rapport carbone/azote (C/N)

5.4.2.1. Dans les parcelles non traitées chlorpyriphos-éthyl

Rappelons que le rapport carbone/azote (C/N) du sol est un indicateur du fonctionnement plus ou moins bon du sol.

Dans les parcelles témoins, sur les échantillons de sol prélevés en première année, la moyenne du rapport C/N est de 14,69. Sur les prélèvements de sol effectués en deuxième année dans ces parcelles, la moyenne du rapport C/N est de 10,59.

Dans les parcelles ayant reçu un apport de cannes de mil, les moyennes du rapport C/N des échantillons de sol sont de 11,01 en première année et 10,37 en deuxième année.

Dans les parcelles ayant reçu un apport de crottes d'Ovins et de Caprins, les moyennes du rapport C/N du sol sont de 14,48 en première année et 10,65 en deuxième année (fig. 48).

La différence des moyennes du rapport C/N entre la première et la deuxième année est significative dans les parcelles témoins et celles ayant reçu un apport de crottes d'Ovins et de Caprins. L'analyse comparative des moyennes du rapport C/N du sol montre également que la valeur moyenne de ce rapport est plus faible en deuxième qu'en première année. Par conséquent, même si ce rapport n'est pas inférieur à huit (08), l'activité au niveau du sol est plus importante en deuxième année.

5.4.2.2. Dans les parcelles traitées au chlorpyriphos-éthyl

En première et en deuxième année, les moyennes du rapport C/N du sol dans les parcelles témoins, sont respectivement 18,02 et 10,35. Dans les parcelles qui ont reçu un apport de cannes de mil, la moyenne du rapport C/N du sol est de 10,56 en première année. En

deuxième année, la valeur moyenne de ce rapport est de 10,77. Dans les parcelles qui ont reçu un apport de crottes d'Ovins et de Caprins, la valeur moyenne de rapport C/N du sol est de 15,47 en première année. Elle est de 10,35 en deuxième année (fig.49).

Dans ce bloc traité au chlorpyriphos-éthyl, l'évolution du rapport C/N du sol montre une activité dans le sol plus important en deuxième année; même si cette évolution n'est pas significative.

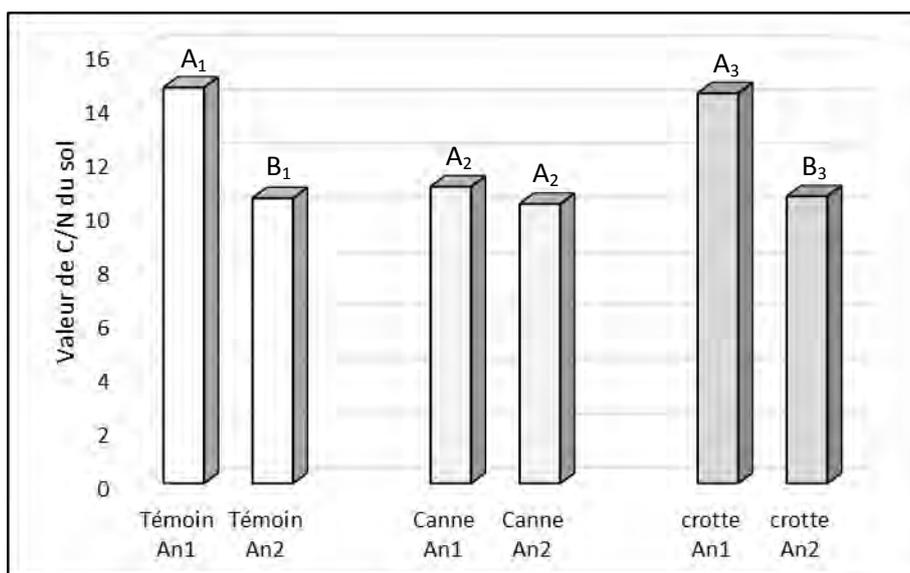


Figure 48. Évolution du rapport C/N du sol dans les parcelles du bloc non traité

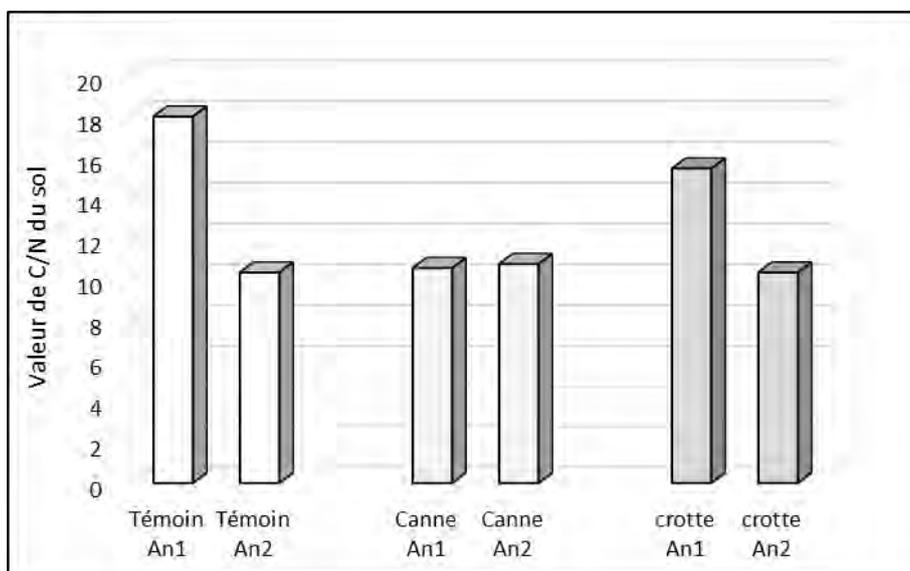


Figure 49. Évolution du rapport C/N du sol dans les parcelles du bloc traité

5.4.3. Évolution du potassium (K⁺)

5.4.3.1. Dans les parcelles non traitées chlorpyriphos-éthyl

Dans ces parcelles, le pourcentage moyen de K⁺ du sol en première année est de 0,23%; alors

qu'en deuxième année, il est de 0,08%. Dans les parcelles qui ont reçu un apport de cannes de mil, le pourcentage moyen de K^+ du sol est de 0,81% en première année. En deuxième année, il est de 1%. Dans les parcelles qui ont reçu un apport de crottes d'Ovins et de Caprins, le pourcentage moyen de K^+ du sol est de 0,36% en première année et 0,13% en deuxième année (fig. 50).

Ces résultats montrent une différence significative entre les pourcentages moyens en K^+ du sol enregistrés en première et deuxième année dans les parcelles témoins et celles qui ont reçu un apport de crottes. Cette diminution du K^+ du sol observée dans les parcelles en deuxième année peut s'expliquer par une fixation beaucoup plus importante du K^+ sur le complexe absorbant du sol.

5.4.3.2. Dans les parcelles traitées au chlorpyriphos-éthyl

Dans les parcelles témoins de ce bloc, le pourcentage moyen en K^+ du sol le plus important est enregistré en première année avec une teneur de 0,67%. En deuxième année, la teneur en K^+ du sol est de 0,11%. Dans les parcelles ayant reçu un apport de cannes de mil, les teneurs en K^+ du sol sont de 1,12% en première année et 0,27% en deuxième année. Dans les parcelles de ce bloc qui ont reçu un apport de crottes d'Ovins et de Caprins, la teneur en K^+ du sol en première année est de 0,82%. En deuxième année, cette teneur est de 0,14% (fig. 51). Les différences entre les teneurs en K^+ du sol de la première et la deuxième année montrent des différences significatives.

Dans tous les deux blocs, il y a une diminution de la teneur en K^+ du sol en deuxième année. Cette diminution est plus importante dans le bloc témoins. Par conséquent, on peut s'attendre à une fixation plus importante de K^+ par le complexe absorbant du sol en deuxième année, dans les parcelles du bloc témoin.

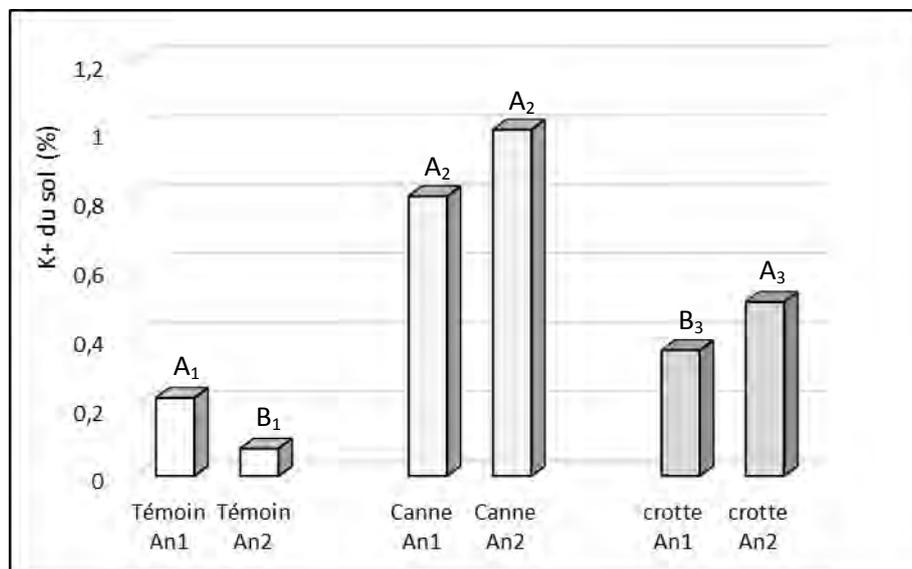


Figure 50. Évolution de K^+ du sol dans les parcelles du bloc non traité

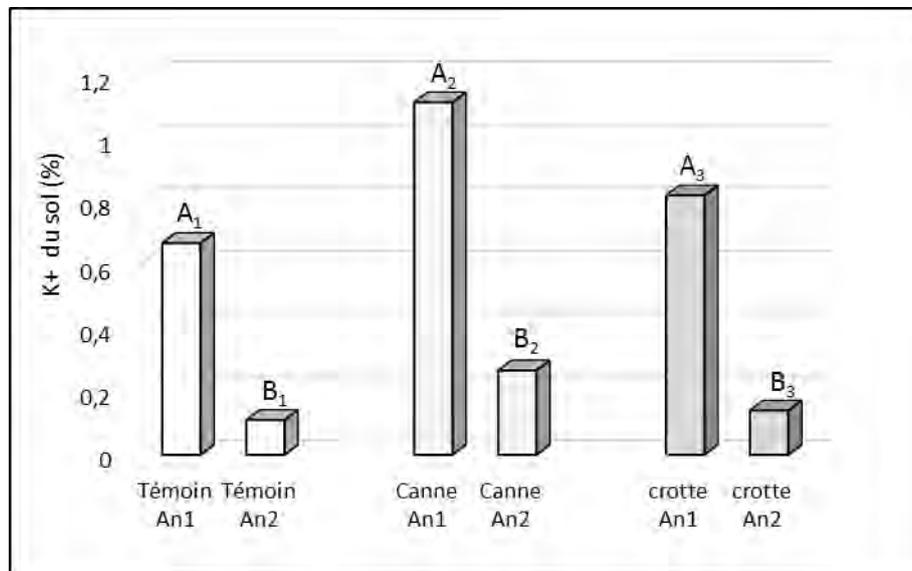


Figure 51. Évolution de K^+ du sol dans les parcelles du bloc traité

5.4.4. Évolution du phosphore (P_2O_5)

5.4.4.1. Dans les parcelles non traitées chlorpyriphos-éthyl

Les parcelles témoins de ce bloc, le pourcentage moyen en P_2O_5 du sol est de 2,91% en première année ; alors qu'en deuxième année, il est de 3,22%. Dans les parcelles qui ont reçu un apport de cannes de mil, la teneur moyenne en P_2O_5 du sol est de 3,06% en première année ; alors qu'en deuxième année elle est de 4,61%. Dans les parcelles ayant reçu un apport de crottes d'Ovins et de Caprins, les teneurs moyennes en P_2O_5 du sol sont de 4,29% en première année et 5,63% en deuxième année (fig. 52).

Dans toutes les parcelles de ce bloc, on note une augmentation de la teneur en P_2O_5 du sol en deuxième année, mais qui n'est pas significative. Cette teneur plus importante en P_2O_5 du sol en deuxième année est sans doute liée à une activité dans le sol plus importante en deuxième qu'en première année.

5.4.4.2. Dans les parcelles traitées au chlorpyriphos-éthyl.

En première année, la teneur en P_2O_5 du sol est de 4,75% dans les parcelles témoins. Dans ces dernières, cette teneur est de 3,06% en deuxième année. Dans les parcelles qui ont reçu un apport de cannes de mil, les teneurs moyennes en P_2O_5 du sol, en première et deuxième année sont respectivement 5,51% et 2,61%. Dans les parcelles qui ont reçu un apport de crottes d'Ovins et de Caprins, la teneur moyenne en P_2O_5 du sol est de 5,20% en première année. En

deuxième année, elle est de 4,20% (fig. 53).

On observe alors une diminution, non significative, de la teneur en P_2O_5 du sol en deuxième année, dans les parcelles du bloc traité au chlorpyriphos-éthyl. Diminution qui serait liée à une baisse de l'activité dans le sol de ce bloc.

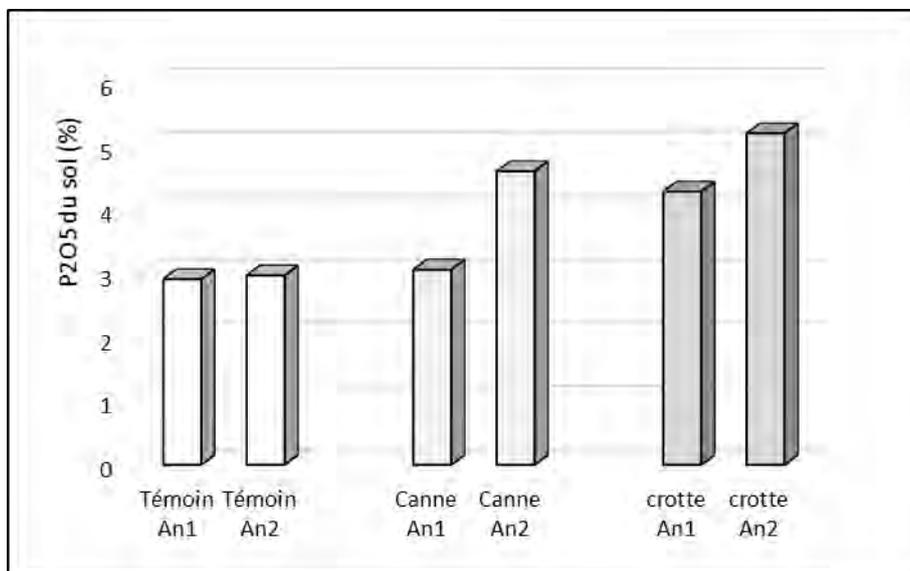


Figure 52. Évolution de P_2O_5 du sol dans les parcelles du bloc non traité

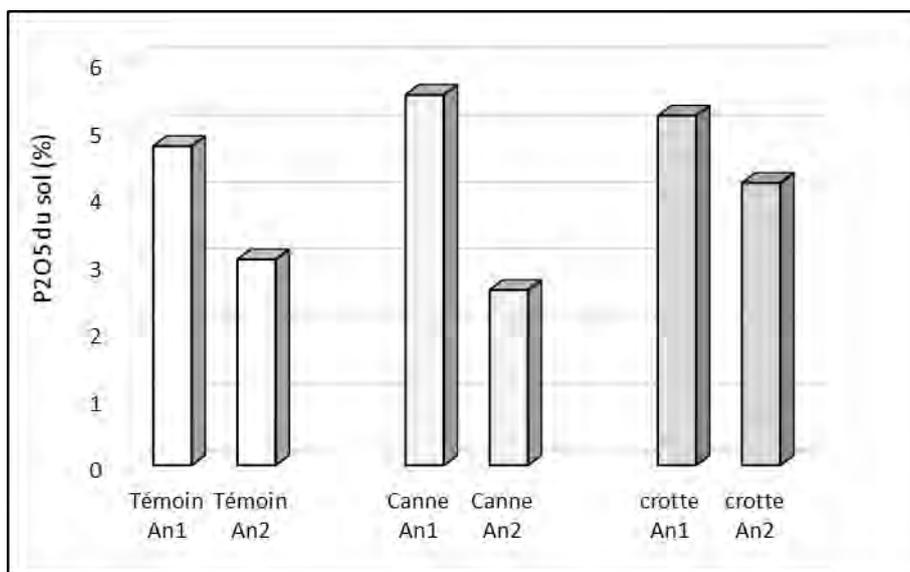


Figure 53. Évolution de P_2O_5 du sol dans les parcelles du bloc traité

5.4.5. Évolution de la somme des basses échangeables (S)

5.4.5.1. Dans les parcelles traitées chlorpyriphos-éthyl

En première et deuxième année d'expérimentation, les pourcentages moyens de S du sol, dans les parcelles témoins, sont, respectivement 1,67% et 1,50%. Dans les parcelles qui ont reçu un apport de cannes de mil, le pourcentage moyen de S du sol est de 2,05% en première année. En deuxième année, le pourcentage moyen de S du sol est de 2,29%. Dans les parcelles qui

ont reçu un apport de crottes d'Ovins et de Caprins, les pourcentages moyens de S du sol en première et deuxième année sont de 2,43% et 3,01% (fig. 54).

Dans toutes les parcelles, la différence entre les pourcentages moyens de S du sol en première et deuxième année n'est pas significative. Néanmoins, on note une évolution.

C'est seulement dans les parcelles qui ont reçu un apport de crottes d'Ovins et de Caprins qu'il y a une augmentation du pourcentage de S du sol ; ce qui montre que l'apport de crotte est plus approprié que l'apport de cannes de mil pour faire hausser l'activité dans le sol.

5.4.5.2. Dans les parcelles traitées au chlorpyriphos-éthyl.

Dans les parcelles témoins, le pourcentage moyen de S du sol est de 2,74% en première année. En deuxième année, ce pourcentage moyen est de 2,06%. Dans les parcelles qui ont reçu un apport de cannes de mil, les pourcentages moyen de S du sol est de 2,98% en première année ; il est de 2,36% en deuxième année. Dans les parcelles qui ont reçu un apport de crottes d'Ovins et de Caprins, les pourcentages moyens de S du sol sont de 3,25% en première année et 3,19% en deuxième année (fig. 55).

La différence observée entre les pourcentages moyens de S du sol en première et deuxième année, n'est pas significative dans toutes les parcelles du bloc traité au chlorpyriphos-éthyl.

Même si cette différence n'est pas significative, on peut noter une hausse des ions H^+ dans les parcelles de ce bloc. Cette hausse de H^+ pourrait s'expliquer par l'impact négatif du chlorpyriphos-éthyl sur la macrofaune du sol.

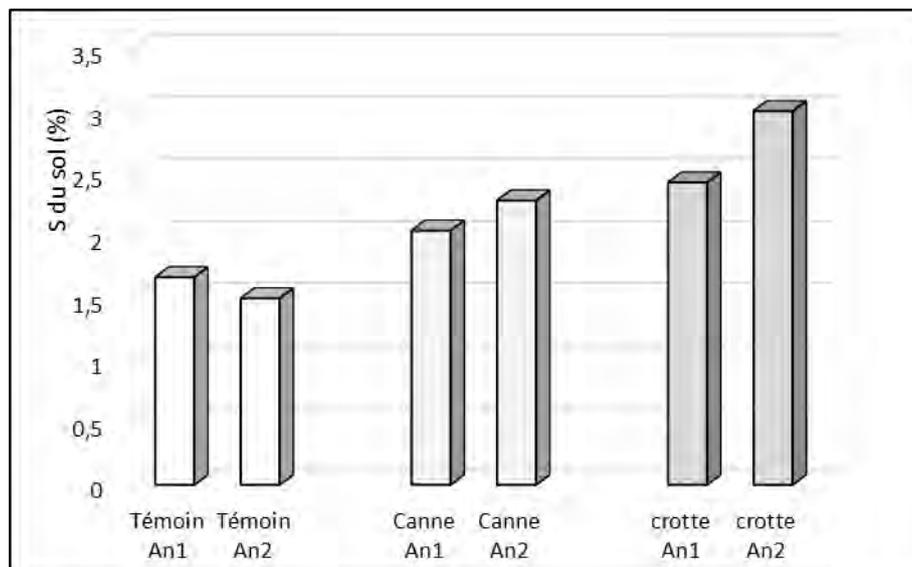


Figure 54. Évolution de la somme des bases échangeables (S) du sol dans les parcelles du bloc non traité

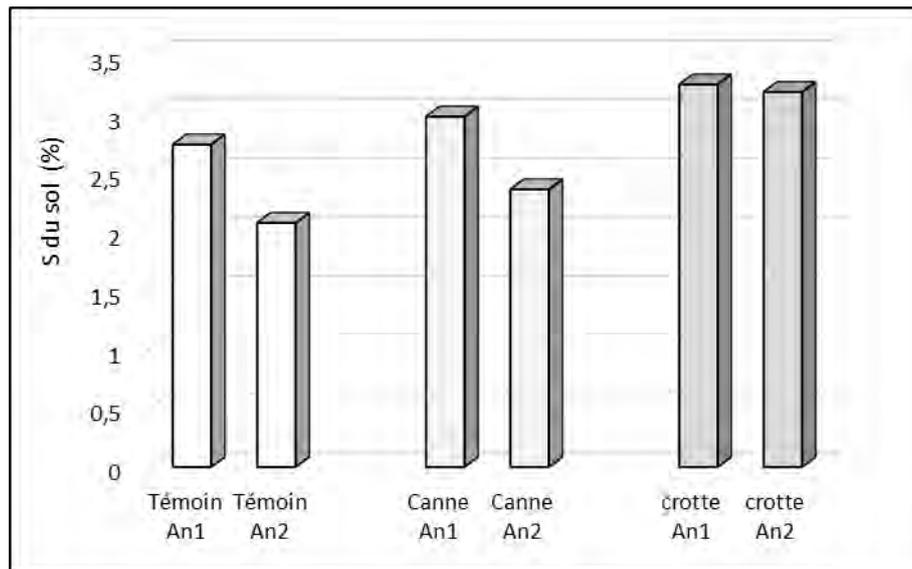


Figure 55. Évolution de la somme des bases échangeables (S) du sol les parcelles du bloc traité

5.5. Évolution du temps d'infiltration de l'eau

5.5.1. Dans les parcelles non traitées chlorpyriphos-éthyl

La capacité d'infiltration de l'eau, qui est un bon indicateur de la qualité du sol, connaît une évolution dans le temps. Dans les parcelles témoins, les temps moyen d'infiltration de l'eau sont les mêmes en première et en deuxième année, c'est-à-dire 2,88 secondes. Dans les parcelles ayant reçu un apport de cannes de mil, on note une moyenne de 3,96 secondes en première année et 2,52 secondes en deuxième année. Dans les parcelles qui ont reçu un apport de crottes d'Ovins et de Caprins, les valeurs moyennes du temps d'infiltration de l'eau sont de 3,6 secondes en première année et 3,24 secondes en deuxième année (fig. 56).

La différence des valeurs moyennes du temps d'infiltration n'est significative que dans les parcelles avec cannes de mil ; même si ce temps connaît une diminution dans les parcelles avec crottes. Cette baisse du temps d'infiltration de l'eau, dans les parcelles qui ont reçu un apport de matière organique, montre un sol plus aéré dans ces parcelles. Aération qui serait liée à l'activité dans le sol.

5.5.2. Dans les parcelles traitées au chlorpyriphos-éthyl

Dans les parcelles témoins de ce bloc, les temps moyens d'infiltration de l'eau sont de 5,76 secondes en première année et 4,32 secondes en deuxième année. Dans les parcelles qui ont reçu un apport de cannes de mil, on a une moyenne du temps d'infiltration de l'eau qui est égale à 6,84 secondes en première année. En deuxième année, cette valeur moyenne est de 4,32 secondes. Dans les parcelles ayant reçu un apport de crottes d'Ovins et de Caprins, les

temps moyens d'infiltration de l'eau en première et deuxième année sont 6,12 secondes et 4,68 secondes (fig. 57).

L'analyse comparative de ces valeurs moyennes montre des différences non significatives dans toutes les parcelles de ce bloc traité. Par conséquent, le temps d'infiltration de l'eau dans ces parcelles n'a, presque, pas évolué en deuxième année.

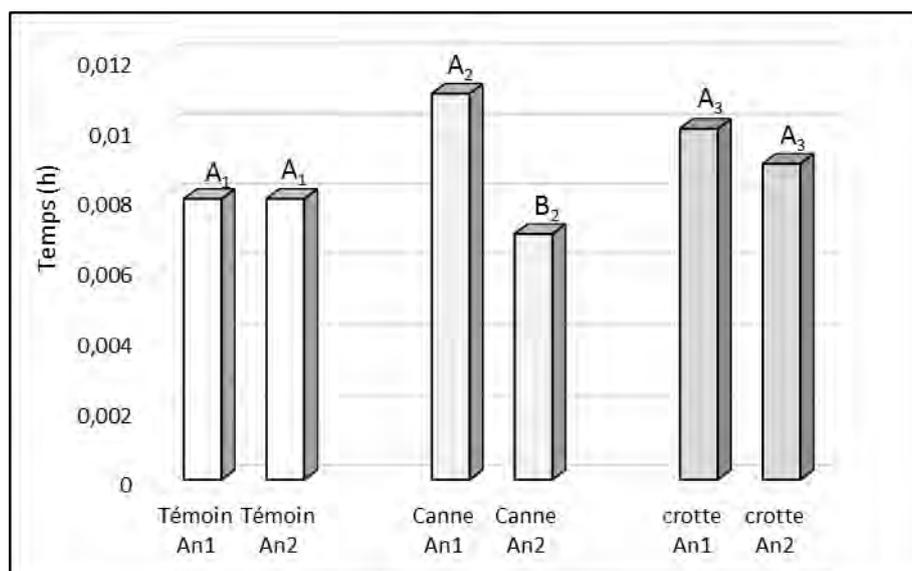


Figure 56. Évolution du temps d'infiltration de l'eau dans les parcelles du bloc non traité

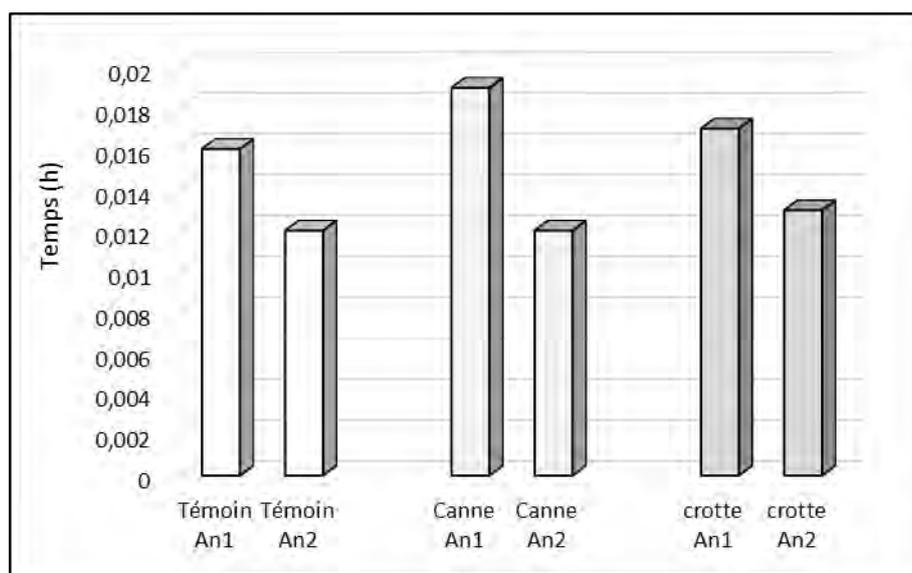


Figure 57. Évolution du temps d'infiltration de l'eau dans les parcelles du bloc traité

5.6. Évolution de l'indice d'humidité du sol

5.6.1. Dans les parcelles non traitées chlorpyrifos-éthyl

L'humidité du sol joue un rôle important dans le maintien de la vie sur la terre. Cette humidité du sol a connu une évolution significative entre la première et la deuxième année, si l'on croit aux analyses comparatives des différences de poids moyens des échantillons de sol.

Dans les parcelles témoins, la valeur moyenne de différence de poids des échantillons de sol est de 1,22 g en première année ; alors qu'en deuxième année, elle est de 0,73 g. Dans les

parcelles qui ont reçu un apport de cannes de mil, on note des moyennes de 2,61 g en première année et 0,644 g en deuxième année. Dans les parcelles qui ont reçu un apport de crottes d’Ovins et de Caprins, les valeurs moyennes des différences de poids des échantillons de sol sont de 2,42 g en première année et 0,64 g en deuxième année (fig. 58).

L’humidité du sol étant liée à l’infiltration et à la rétention de l’eau dans le sol. Ces résultats montrent alors, qu’en deuxième année, la baisse du temps d’infiltration de l’eau qui synonyme d’une infiltration rapide de l’eau dans le sol, entraîne une faible rétention d’eau dans le sol et par conséquent une humidité du sol moins importante en deuxième qu’en première année.

5.6.2. Dans les parcelles traitées au chlorpyrifos-éthyl

Dans les parcelles de ce bloc traité au chlorpyrifos-éthyl, les analyses comparatives des valeurs moyennes, de différences de poids des échantillons de sol, montrent de différences significatives.

Dans les parcelles témoins de ce bloc, les moyennes obtenues sur les différences de poids des échantillons de sol sont de 2,14 g en première année et 5,66 g en deuxième année. Dans les parcelles qui ont reçu un apport de cannes de mil, on note une moyenne de 2,87 g en première année et 6,6 g en deuxième année. Dans les parcelles ayant reçu un apport de crottes d’Ovins et de Caprins, on a des moyennes de 2,24 g en première année et 5,74 g en deuxième année (fig. 59).

Cette augmentation des différences de poids notée en deuxième année montre un sol plus humide en deuxième année. Cette humidité peut s’expliquer par un sol qui n’est pas bien aéré et en ce sens qui ne laisse pas l’eau s’infiltré facilement ; autrement dit, un sol peu perméable.

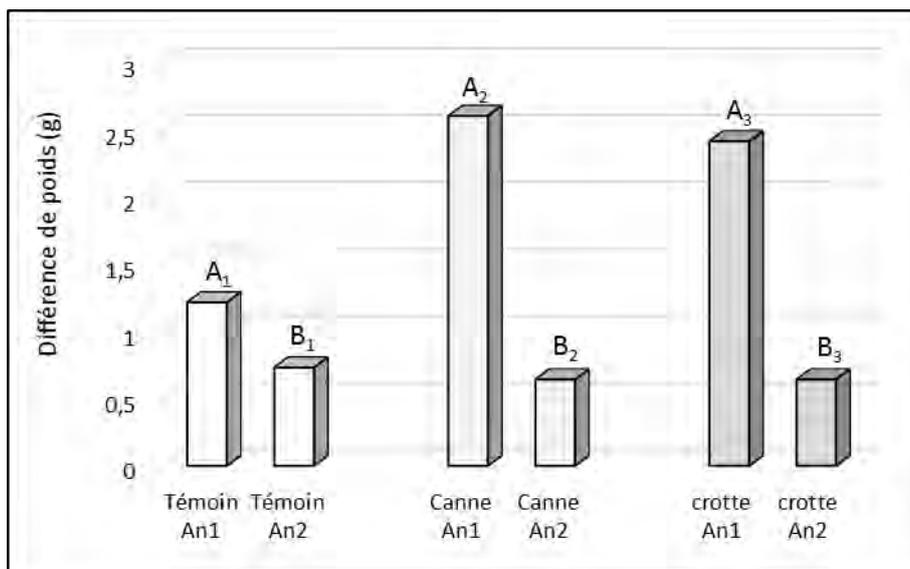


Figure 58. Évolution de l’humidité du sol dans les parcelles du bloc non traité

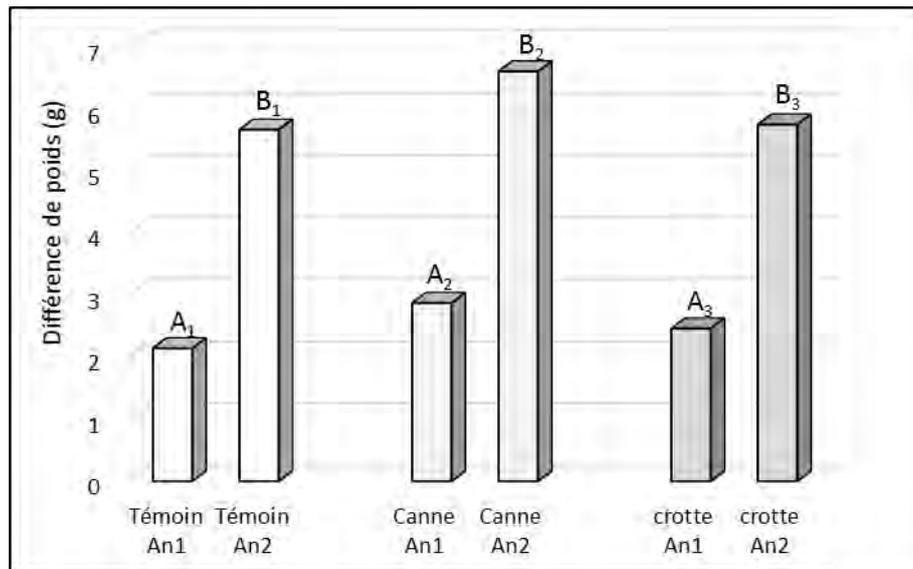


Figure 59. Évolution de l'humidité du sol dans les parcelles du bloc traité

CHAPITRE IV. DISCUSSION

Les études effectuées sur les peuplements de termites ont montré que la composition spécifique des termites varie en fonction de l'état des écosystèmes (Wood, 1976). Il faut signaler que les activités anthropiques sont capables de modifier cette diversité. Dans les écosystèmes arides et semi-arides, la macrofaune du sol, en général et les termites, en particulier, jouent un rôle important dans le processus de décomposition de la matière organique et agissent ainsi sur la dynamique de la fertilité des sols (Wood et Sands, 1978 ; Grassé, 1986 ; Sarr, 1999). L'importance de leur rôle dans les agro écosystèmes justifie notre étude sur l'écologie des peuplements de termites, mais aussi les autres composantes de la macrofaune du sol et leur rôle dans le sol d'une savane sahélienne dégradée. A cet effet, nous avons effectué une étude qualitative permettant d'évaluer : la diversité des espèces de termites dans les différents biotopes étudiés ; le peuplement de la macrofaune du sol dans un agrosystème et les teneurs en éléments minéraux du sol de cet agrosystème. Une étude quantitative nous a permis d'apprécier : la dynamique des peuplements de termites dans les différents biotopes étudiés ; l'évolution de la macrofaune du sol suite à des apports de matières organiques et traitement du sol au chlorpyrifos-éthyl et en fin la dynamique de certains éléments minéraux du sol.

1. La richesse spécifique de termites

Notre étude a montré que la richesse spécifique de termites varie selon les biotopes étudiés. L'étude qualitative a permis de recenser, dans l'ensemble des biotopes étudiés, au moins espèces de termites qui se répartissent en 12 genres. Dans la presqu'île du Cap-Vert, partie occidentale du Sénégal, les études effectuées par Roy-Noël (1971) ; Roy-Noël & Wane (1977) ; Agbogba & Roy-Noël (1986) ; Ndiaye (1996) ; Han & Ndiaye (1996a, 1996b) ont permis de recenser 39 espèces de termites. Dans le bassin arachidier de Sénégal (partie centrale), les études de Sarr (1999) ont permis de recenser 20 espèces de termites. Dans le sud-est du Sénégal, parc de Niokolo Koba, Roy-NOËL (1969) a recensé 30 espèces de termites. Dans la partie septentrionale du Sénégal, 23 espèces de termites ont été recensé par Lepage (1974) et Agbogba (1990).

Les observations faites sur l'inventaire des termites au Sénégal, dans différentes zones écologiques, permettent de constater que toutes les espèces que nous avons trouvées dans notre zone d'étude (Danthiady) ont été signalées au Sénégal.

La faible diversité spécifique des Termites dans notre zone d'étude par rapport au Ferlo septentrional pourrait s'expliquer par la dégradation des écosystèmes qui ont entraîné la disparition de certaines espèces.

Ailleurs, en Afrique, Josens (1972) qui a travaillé dans une savane en Côte d'Ivoire (Lamto-Pakobo) a rencontré, entre autres, les espèces *Coptotermes intermedius*, *Amitermes evuncifer*, *Promirotermes holmgreni*, *Macrotermes subhyalinus*, *Trinervitermes geminatus*, *T. trinervius* figurant dans notre inventaire. Ceci montre que les espèces rencontrées dans cette zone dégradée qui devient de plus en plus aride possèdent un potentiel écologique leur permettant de s'adapter à des conditions de milieux difficiles.

L'étude quantitative des espèces sur les biotopes étudiés a montré la dominance de *Psammotermes hybostoma*. Dans le Ferlo septentrional cette espèce est constante dans les relevés de Lepage (1974).

La distribution des Termites au niveau des biotopes étudiés montre une régression progressive de la diversité des espèces du milieu le moins anthropisé, le *sangre*, au milieu le plus anthropisé, les habitations. Wood *et al.* (1977) ont fait la même observation dans une savane guinéenne du Nigeria. Ces auteurs notent une variation du nombre d'espèces de Termites en savane boisée naturelle (23), en savane boisée secondaire (22), en pâturage (20) et en culture de maïs (4 à 8).

D'après Lee & Wood (1971), il y a peu de travaux sur l'estimation de l'ensemble des nids de termites d'un habitat donné. La densité des nids épigés toutes espèces confondues notés au niveau du *seno* (137,5 nids/ha) et au niveau du *sangre* (150 nids / ha) sont de loin inférieure au chiffre 1000 / ha que Sands (1959) a noté en Afrique de l'Ouest. Cette différence importante peut s'expliquer d'une part par le faible nombre de termites constructeurs de nids épigés (*Macrotermes subhyalinus*, *Cubitermes curtatus*, *Trinervitermes geminatus* et *T. trinervius*) et, d'autre part, par la limitation des ressources liées au climat de la zone et à la dégradation du milieu.

Par son impact, l'Homme peut entraîner la disparition de certaines espèces et favoriser le développement d'autres (Roy-Noël, 1978). Ainsi, du fait des activités humaines, on note un développement important de *Psammotermes* au niveau des habitations et des agro systèmes et l'élimination des espèces édifcatrices de nids épigés telles que *Macrotermes subhyalinus* et les *Trinervitermes*. On peut également relever la relative diversité des Termites, lignivores notamment, au niveau des clôtures des habitations et des champs.

2. Diversité des peuplements de termites

Les résultats obtenus à Danthiady ont montré que la répartition des groupes trophiques de termites est influencée par la nature des biotopes (type de sol, couverture végétale) et l'action anthropique. La végétation influe sur la répartition des termites par le fait que la matière organique est la principale source de nourriture des termites et d'autre part, la végétation influence la dynamique des sols (Menaut et *al.*, 1985). La forte pression anthropique dans les concessions et les agro systèmes s'accompagne d'une prédominance des termites du groupe des lignivore avec 66,66% dans les concessions et 60% dans les agro systèmes et du groupe des champignonnistes avec 33,33% dans les concessions et 40% dans les agro systèmes. Cette prédominance des termites lignivores dans les concessions et les agrosystèmes pourrait s'expliquer, d'une part par la disponibilité et le type de matière organique qui s'y trouve et d'autre part, par la période que nous avons effectué l'inventaire des termites (saison sèche).

Les termites du groupe des lignivores ont la fréquence la plus élevée sur l'ensemble de biotopes étudiés. Cependant, les travaux de Sarr (1999), Wood & Sands (1978) ont montré une prédominance du groupe des champignonnistes. Ces mêmes auteurs constatent que les *Macrotermitinae* constituent le groupe le plus fréquent dans les savanes des zones semi-arides. Par contre, nos résultats montrent que ce sont les *Termitinae* qui sont les plus fréquents, même si le genre *Odontotermes* est présent dans tous les biotopes étudiés. L'espèce *Macrotermes subhyalinus* est caractéristique des zones de pâturage (*seno* et *sangre*). Et cela est, sans doute, lié, en partie, à la nature du sol qui est plus ou moins argileux dans ces zones de pâturages. L'espèce *Psammotermes hybostoma* est présente dans tous les biotopes à l'exception du *Sangre*. Cette observation pourrait s'expliquer par le fait que *P. hybostoma* évolue dans des sols sableux et que tous les biotopes étudiés ont un sol sableux à l'exception du *Sangre* dont le sol est plus ou moins argileux.

Chez les fourrageurs (*Trimervitermes*) et les humivores (*Angulitermes*, *Cubitermes*, *Promirotermes*), l'influence du milieu sur la répartition des espèces semble plus nette. Simplement par le fait que leurs colonies, de petite taille et moins protégées, sont plus sensibles aux facteurs du milieu, dont le feu. Ces observations sont en accord avec celles de Tano (1994) qui montrent une réduction des populations de nids vivants de *Trinervitermes* par l'effet de feu de brousse. Cette action de feu s'observe aussi bien sur de courtes que de longues périodes (Sands, 1959, Benzie, 1986).

Les perturbations du milieu suite à l'action de l'Homme par la déforestation, la création des zones de pâturage et les cultures, ont une influence négative sur les peuplements de termites

(Roy-Noël, 1978 ; Sarr, 1999). La simplification des biotopes a pour conséquence une diminution de la diversité spécifique.

L'exploitation abusive des biotopes par des ramassages et coupes de bois et le surpâturage sont des facteurs limitant des lignivores et des humivores. L'espèce *Coptotermes intermedius*, qui construit ses nids dans les troncs d'arbres morts ou vivants ou dans les grosses branches, est sans doute l'espèce la plus touchée par la coupe et le ramassage de bois.

3. Impact des termites dans les concessions et les agrosystèmes

Les attaques des termites sur les clôtures obligent leur renouvellement quasi annuel, ce qui augmente la pression sur les ressources végétales de la savane. Comme le souligne Nel *et al.* (1996) à propos de *Psammotermes hybostoma* qui compromet les campagnes de reboisement en Mauritanie, ces Termites sont un facteur de développement dont il faut prendre compte.

L'aspect ravageur ou nuisible noté dans des milieux donnés ne doit occulter le rôle des Termites sur le sol et le fonctionnement des écosystèmes.

Nous avons noté une présence importante de Termites, *Psammotermes hybostoma*, *Microtermes* spp. et *Odontotermes* spp. dans l'aire des champs. Cependant, nous ne pouvons pas évaluer les dégâts causés par ces derniers sur les cultures du fait que notre étude s'est faite en saison sèche. Ces Termites dégradent une grande masse de matière organique (résidus de culture, apport de matière sous forme de fumure animale) et transportent des quantités importantes de sol d'un horizon à un autre. D'après Mando & Brussaard (1999), les Termites contribuent à la dégradation des cannes de mil à plus de 70 % dans les conditions du Sahel.

4. Effet de la mise en culture sur le sol.

La matière organique du sol dans la station d'expérimentation de Danthiady est à des niveaux relativement faible avec des teneurs presque inférieures à 2% ; situation qui expose le sol à la dégradation. Ce sol a subi plusieurs décennies de culture ; ce qui a probablement laissé son impact sur les stocks organique de ce sol qui sont généralement faibles. Cet état des teneurs réduites des sols utilisés pour l'agriculture est confirmé par les travaux de Arrouays *et al.*, 1994; FAO, 2008. Ce basse teneur en matière organique doit se répercuter négativement sur la structure du sol qui serait édifiée grâce aux colloïdes minéraux et dont la stabilité est imparfait ; ce qui pourrait générer de nombreuses déficiences de production et de résistance aux facteurs de dégradation (Ben Hassine *et al.*, 2008).

5. Effet de l'apport de matière organique dans la station d'expérimentation

La minéralisation de la matière organique du sol constitue une source importante d'éléments nutritifs pour les végétaux. Grâce à leurs propriétés d'adsorption, les composés organiques

jouent aussi un rôle essentiel dans l'immobilisation et/ou la transformation d'un certain nombre de fertilisants (azote, phosphore...) et de micropolluants (rôle de filtre environnemental). En outre, les matières organiques permettent de renforcer la cohésion entre les particules minérales, ce qui améliore la rétention de l'eau et la structure des sols, tout en réduisant leur sensibilité à l'érosion.

5.1. Densité et biomasse de la macrofaune du sol

Les résultats de notre étude montrent que les fourmis et les termites sont les insectes dominants de la faune du sol dans l'écosystème sahélien. L'étude qualitative a permis de recenser une prédominance des fourmis et des termites ce qui confirme leur qualificatif de la macrofaune la plus importante du sol par certains auteurs (Wood & Sands, 1978, Grassé 1986, Sarr 1999).

Les résultats montrent une faune peu diversifiée du point de vue taxonomique. Cette observation serait liée à la pauvreté du sol en matière organique. Les Arthropodes du sol vivent essentiellement dans la litière dont ils se nourrissent (Chotte *et al.*, 2001). Le nombre de microarthropodes est en relation avec la teneur en matière organique. La station d'étude est un champ cultivé de manière continue depuis une cinquantaine d'années avec des conséquences négatives sur les peuplements de la faune du sol. Comme le notent Fournier *et al.* (1998), les pratiques agricoles occasionnent de multiples dommages sur la biodiversité.

5.1.1. Actions du chlorpyrifos-éthyl sur la macrofaune du sol

a) Sur la densité

Cette étude a montré que le chlorpyrifos-éthyl a eu un impact négatif sur la faune du sol puisque la densité de la faune du bloc traité est significativement inférieure à celle du bloc non traité. L'étude confirme le caractère non spécifique du chlorpyrifos-éthyl qui impacte négativement la densité de la pédofaune (Samb *et al.*;2014) De manière générale, nos résultats confirment ceux de Tadros (1983) réalisés aux Etats Unis. Le chlorpyrifos-éthyl a entraîné une chute nette à 11,45 % des communautés d'arthropodes du sol trois mois après traitement. Dans notre étude, l'évaluation est faite 9 mois après le traitement. Comme le chlorpyrifos-éthyl est un insecticide de classe modérément toxique et peu persistant dans les sols, l'impact observé est moins marqué pour certains groupes.

Les Coléoptères et les Collembolés ont montré des différences significatives. Ces deux groupes ont été plus sensibles aux effets du produit chimique. Mamadou *et al.* (2005) au

Niger ont montré que les Coléoptères sont sensibles au chlorpyriphos-éthyl. Mais son effet nocif qui était de 85 % sur une période de 1 à 12 jours avait baissé à 76 % pour une durée 16 à 24 jours. Le cycle de reproduction des Coléoptères qui est très lent, expliquerait ce fait. L'effet non significatif observé sur les Fourmis et les Termites serait dû au fait que ces insectes sont adaptés à des conditions d'extrêmes variabilités et de ce fait font preuve d'une remarquable reconstitution après perturbation par une substance xénobiotique (Bourlière, 1983). Les Fourmis et les Termites, grâce à leurs nids souterrains parviennent à se reconstituer rapidement. Mamadou & Sarr (2009), au Niger, ont montré que le chlorpyriphos-éthyl avait affecté l'activité des termites jusqu'à 75 %, 75 jours après un traitement. Au-delà de cette période, aucun effet du produit n'a été noté sur la densité des Termites. Van Der Valk & Kamara (2002) à Nioro du Rip, ont constaté que la toxicité des résidus du chlorpyriphos-éthyl diminuait rapidement trois mois après traitement. Cette diminution de toxicité est liée aux conditions climatiques qui influencent fortement la dégradation des pesticides. Selon Jäger-Mischke (1993) la température élevée accélère la dégradation des pesticides en région tropicale.

b) Sur la biomasse

L'impact du chlorpyriphos-éthyl s'observe également sur la biomasse de la faune du sol. Elle est significativement plus élevée dans le bloc non traité que dans le bloc traité. Ceci est en accord avec l'étude de Tadros (1983) qui a noté une baisse de la biomasse de la faune totale de 98 g/m² à 49 g/m² trois mois après l'application du chlorpyriphos-éthyl.

La comparaison des densités et biomasses dans les différentes parcelles révèle que les densités et les biomasses les plus importantes sont rencontrées dans les parcelles qui ont été traitées avec des cannes de mil, suivies de celles qui ont été traitées avec des crottes d'ovins et de caprins. Les densités et les biomasses les moins importantes sont enregistrées dans les parcelles témoins.

La répartition verticale de cette macrofaune du sol montre que les densités de même que les biomasses les plus importantes sont rencontrées dans les couches les plus superficielle à savoir la couche 0 à 10 cm puis celle 10 à 20 cm.

5.2. Effet sur les teneurs en éléments minéraux du sol

Le renouvellement des réserves organiques de ce sol par apport de cannes de mil et de crotte d'ovins et de caprins a permis d'améliorer les teneur en matière organique du sol et par

conséquent les teneurs en éléments minéraux du sol tel que l'azote, le phosphore, le potassium et le carbone organique du sol. Cela concorde avec les observations de Bolinder et *al.* (1994). Signalons que dynamique des éléments minéraux du sol est influée par l'apport de matière organique mais aussi par les facteurs liés à la minéralisation de la matière organique (macrofaune du sol, structure et texture du sol, nature de la matière organique...).

Les faibles teneurs en matière organique enregistrées dans échantillons de sol des parcelles témoins ne font que confirmer l'augmentation des risques de dégradation des sols, en particulier pour les sols cultivés où les teneurs en matière organique sont inférieures au seuil critique de 2 %. La diminution des teneurs en matière organique observée dans les agrosystèmes peut donc induire des effets potentiellement négatifs en termes de gestion durable de ces agrosystèmes. Signalons enfin que la variabilité des teneurs en matière organique dans les parcelles va impacter sur la minéralisation de cette matière organique et par conséquent sur la fertilité de ces sols.

5.3. Effet sur la structure du sol

Le renouvellement des réserves organiques de ce sol par apport de matière organique a impacté sur l'activité de la macrofaune du sol et par conséquent sur la structure du sol. Cet effet de l'activité dans le sol influence positivement l'infiltration de l'eau, l'aération du sol et par conséquent la pénétration des racines. Le temps moyen d'infiltration de l'eau dans les parcelles traitées au chlorpyrifos-éthyl (62,28 seconde pour un volume d'eau de 70650 mm³) est significativement plus élevé que dans les parcelles non traitées au chlorpyrifos-éthyl (34,9 seconde pour un volume d'eau de 70650 mm³). Whitford, 1991 a constaté que les zones étudiées, en l'absence de termites présentent une infiltration de 51 mm.h⁻¹. Par contre, dans les zones sous l'influence des termites, l'infiltration est de 88 mm.h⁻¹. Dans les savanes semi-arides au Burkina Faso, Mando (1997) a remarqué que l'activité des termites en de litière herbacée et ligneuse contribue à l'amélioration de l'humidification et des réserves hydriques des sols encroûtés. Cette remarque est en phase avec les observations sur la station de Danthiady où nous avons des indices d'humidité du sol plus importants dans les parcelles non traitées et qui ont reçu un apport de matière organique.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'étude sur la macrofaune du sol dans cette zone sahélienne du Sénégal a montré que la composition spécifique des termites varie selon l'état des biotopes. Cette composition spécifique est plus importante dans les zones de pâturage, à savoir le *seno* et le *sangre*, puis dans les zones de dépression (*thiangol*) et les agrosystèmes. Elle est moins importante dans les habitations.

La diversification et l'abondance relative des espèces de termites suivant les biotopes sont liées à la nature du sol, la disponibilité des ressources trophiques et à l'action anthropique. C'est ainsi que des espèces comme *Psammotermes hybostoma* n'évolue qu'en sol sableux, *Macrotermes subhyalinus* en sol argileux et les fourrageurs (*Trinervitermes*) en zone de pâturage et de dépression.

Cette étude a également permis de constater la prédominance de termites lignivores et champignonnistes dans la zone. Cependant, signalons que les termites humivores comme *Cubitermes curtatus* et *Promirotermes holmgreni* ne sont rencontrés que dans la zone de pâturage.

Du point de vue qualitatif, l'espèce *Odontotermes* spp est représentée dans tous les biotopes, *Amitermes evuncifer* est représentée dans tous les biotopes à l'exception du à l'exception du *Thiangol*. Il en est de même pour les espèces *Psammotermes hybostoma* qui n'est absent que dans le *Sangre*, *Microcerotermes* spp et *Microtermes lepidus* qui ne sont absent que dans les habitations. Le genre *Trinervitermes* n'est représenté que les zones de pâturage et de dépression.

L'activité des termites, dans les agrosystèmes et les habitations, occasionne des dégâts qui entraînent le renouvellement constant des clôtures dont les piquets proviennent des arbres coupés au niveau du *Seno* et du *Sangre* ; ce qui accélère la dégradation dans ces écosystèmes.

Dans la station d'expérimentation, l'inventaire de la macrofaune du sol a permis de recenser au moins 22 espèces. L'apport de matière organique dans les parcelles de la station d'expérimentation, ont montré que l'apport (canne de mil et crottes d'ovins et de caprins) a influé sur la macrofaune du sol. En effet, la densité et la biomasse de la macrofaune du sol sont plus importantes dans les parcelles qui ont reçu un apport de matière organique ; en particulier dans les parcelles qui ont reçu un apport de canne de mil.

Avec le traitement de parcelles au chlorpyrifos-éthyl, on constate une diminution de la densité et de la biomasse de la macrofaune du sol. Cette diminution influe sur l'activité au

niveau du sol, c'est-à-dire sur la décomposition de la matière organique, la minéralisation, l'infiltration de l'eau et l'humidité du sol. En effet, la diminution de la macrofaune, suite au traitement avec le chlorpyrifos-éthyl, entraîne réduction de la décomposition de matière organique et par conséquent, une minéralisation moins importante. La diminution de la macrofaune du sol suite au traitement avec le chlorpyrifos-éthyl, entraîne augmente du temps d'infiltration de l'eau.

Dans les parcelles non traitées au chlorpyrifos-éthyl et ayant reçu un apport de matière organique, le temps d'infiltration est plus rapide dans les parcelles qui ont reçu un apport de canne de mil. Pour ce qui est de l'humidité du sol, on constate qu'elle est plus importante dans les parcelles traitées. Dans les parcelles non traitées et qui ont reçu un apport de matière organique, elle est plus importante dans celles qui ont reçu un apport de canne de mil.

Signalons que dans le temps, il y a une évolution positive de l'activité dans le sol dans les parcelles ayant reçu un apport de matière organique et n'ayant pas été traitées au chlorpyrifos-éthyl.

L'étude a permis de mieux connaître le peuplement termitologique en particulier et de la macrofaune en général de la zone mais également, la compréhension des interactions sols - macrofaune qui est essentielle pour lutter efficacement contre la dégradation des sols.

L'intérêt de ces études, au-delà de la connaissance nécessaire de la macrofaune du sol, est le développement de technologies simples, peu coûteux, permettant d'améliorer la productivité des sols sur la durabilité.

Il serait intéressant que de telle étude puis se faire sur une période plus longue dans le but de suivre l'évolution de la dynamique des éléments minéraux du sol dans le temps. Etendre l'étude sur les autres composants de la pédofaune du sol mais également sur d'autres types de matières organiques utilisées pour la fertilisation des sols.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AGBOGBA, C., 1990. The termite population of the Lac de Guiers region (Sénégal). In Social Insect and the Environment. Proc. 11th International Congress, 45-46.
- AGBOGBA C. & ROY-NOËL J., 1986. L'attaque des arbres par les Termites dans la presque île du Cap-Vert (Sénégal). III. Cas du parc forestier de Hann sur sables ogoliens. *Bulletin de l'Institut fondamental d'Afrique noire*, Tome **44**, série A, n°3-4 : 341-364.
- AINA, P. O., 1984. Contribution of earthworm to porosity and water infiltration in a tropical soil under forest and long term cultivation. *Pedobiologia*, **26**, (2), 131-136.
- AMBUTA, JM. K., VALENTIN, C., LAVERDIERE, M., 1996 – Jachère et croûte d'érosion au Sahel. *Sécheresse*, **7**, 269-275.
- ANDERSON. G. 1980. Assessing organic Phosphorus in soils. In *F.E. Khasawneh, E.C. Sample, E.J. Kamprath (Eds.)*. The role of phosphorus in agriculture. ASA CSSA SSSA Madison WI. 411-431.
- ANGERS, D. A., BISSONNETTE, N., LEGERE, A., SAMSON, N., 1993. Microbial and biochemical changes induced by rotation and tillage in a soil under barley production. *Can. J. Soil Scien.* **73**, 39-50.
- ARROUAYS D., KICIN J. L., PELISSER et VION I., 1994. Evaluation des stocks de carbone des sols après déforestation : analyse spatio-temporelle à l'échelle d'un paysage pédologique. *Etude et gestion des sols*, n°2, 29-38
- ARSHAD, M. A., 1982. Influence of the termites *Macrotermes michaelseni* (Sjöestedt) on soil fertility and vegetation in a semi-arid savanna ecosystems. *Agro-ecosystems*, **8**, 47-58.
- ASSIE K. H., 2004. *L'effet de la compaction du sol sur l'enracinement de l'hévéa (hevea brasiliensis)*. Mémoire de DEA à l'Université d'Abobo-Adjamé, UFR des Siences et Gestion de l'Environnement.
- BACHELIER, G., 1963. *La faune du sol, son écologie et son action*. Collection Initiation ORSTOM Paris, Doc. Tech., N° 38, 391 p.
- BAGINE, R. K. N., 1984. Soil translocation by termites of the genus *Odontotermes* (Holmgren) Isoptera, Macrotermitinae) in an arid area of northern Kenya. *Oecol.*, **64**, 263-266.

- BARBAULT, R., 1992 (a). Ecologie des populations et des peuplements, un cadre pour analyser la dynamique de la biodiversité. *Bio*. 27-30
- BARBAULT, R., 1992 (b) – *Ecologie des peuplements, structure dynamique et évolution*. Ed. Masson, 273 p
- BARBAULT, R., HOCHBERG, M. E., 1992. Population and community level approaches to studying biodiversity in international research programs. *Act. Oecologica*. **13**, 1, 137-147.
- BEN HASSINE H., ALOUI T., GALLALI T., BOUZID T., EL AMRI S., BEN HASSEN R., 2008. Evolution quantitative et rôle de la matière organique dans les sols cultivés en zones subhumides et semi-arides méditerranéennes de la Tunisie. *Agrosolution*, Vol.19, N°2, 4-17.
- BENZIE, J. A. H., 1986. The distribution, abundance, and the effects of fire on mound building termites (*Trinervitermes* and *Cubitermes* spp., Isoptera: Termitidae) in northern guinea savanna West Africa. *Oecologia*, 70, 559-567.
- BEYE A., SOW P. C., VAN DER VALK H., 1998. *Effets du fénitrothion sur les coléoptères épigés de l'agrosystème du mil au Sénégal*. In Effets de la lutte antiacridienne sur l'environnement. Everts J. W., Mbaye D., Barry O., Mullié W. C eds. FAO, Projet Lucostox, Dakar, Sénégal. Tome **III**, pp.143-166.
- BILLE J. G., MORELL G., LEPAGE M. & POUPON H., 1972. Recherche écologique sur une savane sahélienne du Ferlo septentrional, Sénégal : Présentation de la région. *La Terre et la Vie*, Vol. **26** : 325-472.
- BLACK H. I. J., OKWAKAL M. J. N., 1997. Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function in the tropics: the role of termites. *Applied soil Ecology* 6: 37-53.
- BLANCHART, E., 1982. Restoration by earthworm (Megascollecidae) of the macroaggregate structure of a destructured savanna soil under field conditions. *Soil Biology and Biochemistry*, **24**, 12, 1587-1594
- BLANCHART E., LAVELLE P., BRAUDEAU E., LEBISSONNAIS Y., VALENTIN. C, 1997. Regulation of soil structure by geophagous earthworm activities in humid savannas of Côte d'Ivoire. *Soil Biology & Biochemistry*. 29: 431–439.

- BLANCHART, E., ALBRECHT, A., BROWN, G.G., DECAËNS, T., DUBOISSET, A., LAVELLE, P., MARIANI, L., ROOSE, E., 2004. Effects of tropical endogeic earthworms on soil erosion: a review. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **104**: 303-315.
- BOLINDER, M. A., ANGERS D. A. & VORONEY R. P., 1994. Analyse de la dynamique de la matière organique des sols du Québec sous different systems culturaux à l'aide du modèle de simulation century. *Agrosol*, vol. **7**, n°2, 12-17
- BOUILLON A. & MATHOT G., 1965 – *Quel est ce termites africain ?*, E.D de l'Université Léopoldville, « zooleo » N°1, 115 p.
- BOULIÈRE F. 1983. Ecosystems of the world 13. Tropical savannas. *Elsevier*, Amsterdam
- BOWMAN R. A, COLE C. V. 1976. An exploratory method for fractionation of organic.
- BOYER, P., 1971 – Les différents aspects des termites sur les sols tropicaux. Dans *La vie dans les sols, aspect nouveaux, études expérimentales*. Collection Internationale Géobiologie-Ecologie-Aménagement. Ed. Gauthier Villars, Paris, 279-334.
- BYERS J.-E., CUDDINGTON K., JONES C.-G., TALLEY T.-S., HASTINGS A., LAMBRINOS J.-G., CROOKS J.-A. & WILSON W.-G, 2006. – Using ecosystem engineers to restore ecological systems. *Trends in Ecology and Evolution* **21** (9), 493-500.
- CATANGUI, M. A., FULLER, B. W., WALZ, A. W., BOETEL, M. A., BRINKMAN, M. A., 1996. Abundance, diversity and spatial distribution of ants (Hymenoptera, Formicidae) on mixed-grass rang lands treated with diflubenzuron. *Environmental Entomology*, vol. **25**, 4, 757-766
- CHAPIN F. S., ZAVALA E. S., EVINER V. T., NAYLOR R. L., VITOUSEK P. M., REYNOLDS H. L., HOOPER D. U., LAVOREL S., SALA O. E., HOBBIE S. E., MACK M. C., DIAZ S. 2000 - Consequences of changing biodiversity. *Nature*. **405** : 234-242.
- CHOTTE J. L., DUPONNOIS R., CADET P., ADIKO A., VILLENAVE C., AGBOGBA C. ET BRAUMAN A., 2001.- *Jachère et biologie du sol en Afrique tropicale*. In : Floret et Pontanier ; eds. *La jachère en Afrique tropicale*; vol. 2, John Libbey Eurotext, Paris, 85-121.

- CROW, T. R., HANEY, A., WALLER, D. M., 1994 – Report on the scientific roundtable on biological diversity convened by the chequamegon and Nocolet national forest. General technical Report NC- 166. USDA. Forest services, North Central Forest Experiment Station, Saint Paul, Minnesota, USA..
- DAGET, J., 1976 – *Les modèles mathématiques en écologie*. Ed. Masson, 172 p.
- DAJOZ R. (1959). *Les insecticides*. Presses universitaires de France, Paris; 127p.
- DANFA A., BA A. L., VAN DER VALK H., ROULAND-LEFEVRE C., MULLIE W. C., EVERTS J. W., 2002. *Long-term effects of chlorpyrifos and fipronil on epigeal beetles and soil arthropods in semi-arid savanna of northern Senegal*. In: Everts J. W., Mbaye D., Barry O., Mullié W. eds. Environmental side-effects of locust and grasshopper control. Locustox Project. FAO/Plant Protection Directorate, Dakar, Senegal. Vol. 4, 184-209.
- DARLINGTON, J. P E. C., 1982. The underground passages and storage pits used in foraging by a nest of the termites *Macrotermes michaelseni* in Kadjiado, Kenya. *Journal of Zoology, London*, **198**, 237-243.
- DE VISSCHER M. N.,1991. L'environnement et la lutte antiacridienne: les perspectives et contraintes de la recherche. La lutte antiacridienne. Ed AUPELF-UREF, *John Libbey Eurotext*, 219-227.
- DIOP A., 2007. *Contribution à la connaissance de la macrofaune du sol dans les reboisements d'anacardiens et d'eucalyptus de la forêt classée de Mbao (Dakar, Sénégal)*. Mémoire de Diplôme d'Etude Approfondie de Biologie Animale ; Université Cheikh Anta Diop de Dakar, faculté des sciences et techniques ; 45p.
- ELDRIDGE, D. J., 1994. Nests of ants and termites influence infiltration in a semi-arid woodland, *Pedobiologia*, **38**, 481-492.
- ENDUBU, M., KOMBELE, B. M., LILUCHA, B. M., MAMBI, B., 1992. Perspectives d'utilisation des termitières dans l'amélioration de la fertilité des sols tropicaux, cas d'une expérience en pots de la végétation. *Tropicultura*, **10**, 2, 51-54.
- FAO, 2008. La séquestration du carbone dans le sol pour une meilleure gestion des terres. *FAO, Département du développement durable*. 63 pages.

- FELLER, C., 1995. La matière organique du sol, un indicateur de la fertilité. Application aux zones sahélienne et soudanienne. *Agriculture et Développement*, N°8, 25-31
- FELLER, C., LAVELLE, P., ALBRECHT, A., NICOLARDOT, B., 1993. La jachère et le fonctionnement des sols tropicaux, rôle de l'activité biologique et des matières organiques. Quelques éléments de réflexion. Dans C. Floret et R. Pontanier (eds). *La jachère en Afrique de l'Ouest*. Collection Colloques et Séminaires ORSTOM-Paris, 15-32.
- FOURNIER E, LOREAU M, HAVET P, 1998. Effect of new agricultural management practices on the structure and diversity of ground-beetle communities (Coleoptera, Carabidae). *Gibier Faune Sauvage, Game Wildl*, 15 (Hors série Tome 1): 43-53.
- GARNIER-SILLAM, E., BRAUDEAU, E. TESSIER, D., 1991. Rôle des termites sur le spectre poral des sols forestiers tropicaux. Cas de *Thoracotermes macrothorax* (Sjöestedt) Termitinae et de *Macrotermes mülleri* (Sjöestedt) Macrotermitinae. *Ins. Soc.* **38**, 397-412.
- GERMON, J. C., TAUREAU, J., THOMAS, J. M., 1994. Simplification du travail du sol. Dans *INRA (Ed)*. Paris, 123- 154.
- GRASSE P-P., 1986 – *Termitologia*, Tome **3**, Masson, Paris, 725 p.
- HAN S. H. & NDIAYE A. B., 1996a. – Dégâts causés par les Termites (Isoptera) sur les arbres fruitiers dans la région de Dakar (Sénégal). Actes colloques Insectes sociaux, **10** : 111-117.
- HAN S. H. & NDIAYE A. B., 1996b. – L'attaque des cultures maraîchères par les Termites (*Isoptera*) dans la région de Dakar (Sénégal). Actes colloques Insectes sociaux, **11** : 37-43.
- HERVE PH., 1958. Les coléoptères du sol. *Revue Forestière Française*, 107-118.
- HOLT, J. A., 1996. Termites and tropical landscapes, Implication for sustainable production. 2-10. In *Solo Suelo. XIII congress latini Americano de Ciencia do Solo*, 4 a 8 agosto. Aguas de Lindora SP-Brasil, edition CDESALQ.
- INWARD D. J.G., VOGLER A. P. & EGGLETON P., 2007. A comprehensive phylogenetic analysis of termites (Isoptera) illuminates key aspects of their evolutionary biology. *Molecular Phylogenetics and Evolution* **44**, 953–967.

- IVANOFF, D. B., REDDY, K. R., ROBINSON, S. 1998. Chemical fractionation of organic.
- JACKSON, G. P., FOX, B. J., 1996. Comparison of regeneration following burning, clearing or mineral sand mining at Tomago NSW, II. Succession of ant assemblages in a coastal forest. *Australian Journal of Ecology*, **21** 200-216.
- JÄGER-MISCHKE I.,1993. *Dangers de l'emploi des pesticides pour l'homme et la nature*. In: Pesticides et Agriculture tropicale : dangers et alternatives, *PAN & CTA*; 23-60.
- JONES, J. A., 1990. Termites, soil fertility and carbon cycling in dry tropical Africa, a hypothesis. *Journal of Tropical Ecology*, **6**, 291-305.
- JOSENS G., 1972. *Etudes biologique et écologique des Termites (Isoptera) de la savane de Lamto-Pakobo (Côte d'Ivoire)*. Thèse de Doctorat ès-Science, université Libre de Bruxelles, 362 p.
- KAILA, A. 1959. Retention of phosphates by peat samples. *J. Sci. Agric. Soc. Finland* 31.
- KONDOH M., WATANABÉ H., CHIBA S., ABE T., SHIBA M. AND SAITO S., 1980. Studies on the productivity of soils animals in Pasoh forest reserve, west Malaysia. V. Seasonal change in the density and biomass of soil macrofauna: oligochaeta, hirudinea and arthropoda; *Mem. Shiraune Gakuen*, coll. No.16: 1- 26.
- KOOYMAN, C. ONCK, R. F. M., 1987. Distribution of termites (Isoptera) I, Southwestern Kenya in relation to land use and the morphology of their galleries. *Biology and Fertility of Soil*, **3**, 69-73.
- KREBS, J. C., 1989 – *Ecological methodology*. Harper Collins Publisher, New York, 329-339.
- LAFLEUR B.,2003. Fourmis et fertilité des sols dans les pessières à lichens. *Le Naturaliste canadien*, vol. 127, n°2 : 22-25
- LAL, R., 1988. Effets of Macro fauna on soil properties in tropical ecosystems. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, **24**, 101-116.
- LAVELLE P., FRAGOSO C., 2000. *La macrofaune du sol : une ressource en danger dans un monde en changement*. Rapport du colloque international du 19 au 23 juin 2000, Bondy, 44p.
- LAVELLE, P., 1996. Diversity of sol fauna and ecosystem funtion. *Biology International*, **33**, 3-16.

- LAVELLE, P., MARTIN, A., BLANCHARD, E., GILOT, C., MELENDEZ, G., PASHANASI, 1991. Conservation de la fertilité des sols de savanes par la gestion de la macrofaune du sol. Actes des rencontres internationales. *Savanes d'Afrique, Terres fertiles*. Montpellier, 10-14 déc. Focal, Coop. CIRAD ; Ministère de la coopération.
- LAVELLE, P., SPAIN A. V., 2001. *Soil Ecology*. Kluwer Academic Publishers. 654 p
- LEE K. E. & WOOD T. G., 1971 – *Termites and soil*. Academic Press, London and New York, 251 p.
- LEE K. E., FOSTER R. C., 1991. Soil fauna and soil structure. *Aust.J. Soil Res.*, 29, 745-756.
- LEPAGE M., 1974. – *Les Termites d'une savane sahélienne (Ferlo Septentrional, Sénégal) : peuplement, population, consommation, rôle dans l'écosystème*. Thèse d'Etat, Université de Dijon, 344 p.
- LEPRUN, J. C., 1988. Matière organique et conservation des sols, exemples brésiliens. *Cahier ORSTOM, série Pédologie*, Vol. XXIV, n° 4, 333-334.
- LOBRY de BRUYN, L. A., CONACHER, A. J., 1990 – The role of termites and ants in soil modification, a review. *Aust. J. Soil Res.*, **28**, 55-93.
- MAJER, J. D., WALKER, T. C., BERLANDIER, F., 1987. The role of ants in degraded soil within Dryandra Stat Forest. *Mulga Res. Centre J.*, **9**, 15-26.
- MAMADOU A., MAZIH A., INEZDANE A., 2005. L'impact des pesticides utilisés en lutte contre le criquet pèlerin (*Shistocerca gregaria* Forskal, 1775) (Orthoptera, acrididae) sur deux espèces de *Pimelia* (coleoptera, tenebrionidae) au Niger. *Vertigo*, Vol. **6**, No.3, 8p.
- MAMADOU A., SARR M. -2009. Impact of two insecticides used in the control of the desert locust on *Psammotermes hybostoma* Desneux (Isoptera : Rhinotermitidae) in Niger. *African Entomology* 17(2): 147-153
- MANDO, A., 1997 – Effect of termites and mulch on the physical rehabilitation of structurally crusted soils in the Sahel. *Land Degradation and Development*, vol. **8**, 269-278.
- MANDO, A. & BRUSSARD, L., 1999. Contribution of termites to the breakdown of straw under Sahelian conditions. *Biology and Fertility of soils*, 29: 332-334.

- MANDO, A., MIEDEMA, R., 1997 – Termites induced changes in soil structure after mulching degraded (Crusted) soil in the Sahel. *Applied Soil Ecology*, **6**, 241-249.
- MC COMIE L. D., DHANARAJAN, G., 1993. The physical and chemical composition of mounds of *Macrotermes carbonarius* (Hagen) Termitidae, Macrotermitinae, in Penang, Malaysia. *Journal of Soil Sciences*, **44**, 227-233.
- MEDINA, E., HUBER, O., 1992 - The role of biodiversity in the functioning of savanna ecosystem. In *Biodiversity and global change* (O. T. Solbrig, O.N.M. Van Emden, P.G.W.J. Oordt, editors). Monograph N° 8, International Union of Biological Sciences, Paris. Chapter **13**, 139-158.
- MENAULT, J. C., BARBAULT, R., LAVELLE, P., LEPAGE, M., 1985. African savannas, biological systems of humification and mineralization. In *Ecology and management of the world's savannas*. Eds J. C. Tothill et J. J. Mott, Australian Academy of Sciences Canberra, 4-33.
- MHIRI, A., 2002. Le potassium dans les sols de Tunisie. Atelier sur la gestion de la fertilisation potassique, acquis et perspectives de la recherche.
- MICHEL P., 1969. *Le bassin des fleuves Sénégal et Gambie. Etude géomorphologique*. Thèse Doctorat ès Lettres, Strasbourg, 1167 p.
- MICHEL P., NAEGELE A., TOUPET C., 1969. Contribution à l'étude biologique du Sénégal septentrional. 1. Le milieu naturel. *Bulletin de l'Institut fondamental d'Afrique noire*, **31**, série A, n°3-4: 756-839.
- N'DAYEGAMIYE, A., GOULET, M., LAVERDIERE, M., 1997. Effet à long terme d'apports d'engrais minéraux et de fumier sur les teneurs en C et N des fractions densimétriques et des agrégats du loam limoneux Le Bras. *Can. J. Soil Scien.*, **77**, 351-358.
- N'DAYEGAMIYE, A., GIROUX, M., GRASSER, M. O., 2007. La contribution en azote du sol reliée à la minéralisation de la matière organique : facteur climatique et régies agricoles influençant les taux de minéralisation d'azote. CRAAQ-OAQ, Colloque sur l'azote.
- NDIAYE A. B., 1996. *Contribution à l'étude des Termites ravageurs d'arbres fruitiers au Sénégal: Inventaire, Systématique, Études écologique et dégâts*. Thèse de 3^{ème} cycle de Biologie animale, Université Ch. A. Diop, 101 p.

- NDIAYE A. B. & HAN S. H., 2006. – L'attaque des arbres fruitiers par les Termites dans la région de Thiès (Sénégal) (*Isoptera*). *Bulletin de la Société Entomologique de France*, **111** (1) : 59-64.
- NDIAYE A. B. & HAN S. H., 2007. – Les Termites (*Isoptera*) des arbres fruitiers de la région de Kaolack (Sénégal). *Bulletin de l'Institut fondamental d'Afrique noire*, T. **LII**, série A, 1-2 : 147-161.
- NDIAYE A. B. & SAMB T., 2012 - Les termites (*Isoptera*) dans les parcelles de reboisement de la grande muraille verte entre WidouThiengoly et Tessekere (Sénégal). *Les cahiers de l'Observatoire International « Homme-Milieu » Tessekere*, N° 1, 63-73.
- NEL A., CAUSSANEL C. & LY B. A., 1996. *Psammotermes hybostoma* Desneux, 1902 in Islamic Republic of Mauritania. Economical and Ecological implications for the destruction of the desert *Euphorbias* (*Isoptera: Rhinotermitidae*). *Ann. Soc. Entomol. Fr. (N.S)*, **32** (4): 467-473.
- PONEL P., 1993. Coléoptères du massif des Maures et de la dépression permienne périphérique. *Faune de Provence*, 14 : 5-23.
- RAFALIMANANA H. J., 2003. *Evaluation des effets d'insecticides sur deux type d'Hyménoptères auxiliaires des cultures, l'abeille domestique (Apis mellifera L.) et des parasitoïdes de pucerons : études de terrain à Madagascar et de laboratoire en France*. Institut National Agronomique Paris-Grignon, thèse pour obtenir le grade de Docteur; 205p.
- RAMADE F., 1974. *Eléments d'écologie appliquée: action de l'homme sur la biosphère*. Ediscience/McGraw-Hill, 522p.
- ROY-NOËL J., 1969. Le parc national de Niokolo-Koba (Sénégal). Fascicule III. VIII *Isoptera*. *Mémoire de l'IFAN*, **84** : 114-167.
- ROY-NOËL J., 1971. *Recherche sur l'écologie et l'éthologie des isoptères de la presqu'île du Cap-Vert*. Thèse de Doctorat d'état, Université paris, 280 p.
- ROY-NOËL J., 1974. Recherches sur l'écologie des Isoptères de la presqu'île du Cap-Vert, *Bulletin de l'Institut fondamental d'Afrique noire*, Tome **XXXVI**, série A, n°2- 3 : 291-609.

- ROY-NOËL J., 1978. Influence de l'Homme sur le peuplement en Termites dans la presqu'île du cap-vert (Sénégal occidental). *Memorabilia Zoologica*, **20** : 157-172.
- ROY-NOËL J., 1982. – L'attaque des arbres par les termites dans la presqu'île du Cap Vert (Sénégal). II. Cas du reboisement sur dune fixées de Mbao. *Bulletin de l'Institut fondamental d'Afrique noire*, série A, tome **44**, n° 1-2 : 115-146.
- ROY-NOËL J. & WANE C., 1977. – L'attaque des arbres par les Termites dans la presqu'île du Cap-Vert (Sénégal). I. Cas du reboisement sur dunes vives de Malika. *Bulletin de l'Institut fondamental d'Afrique noire*, Tome **39**, série A, n° 1, 124-141.
- SAMB T. DIARR K. & NDIAYE A. B., - 2011 Biodiversity of Termites in Relation to Human Activity: Impact on the Environment in Matam (Senegal), *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, vol. **2**(1), p. 313-323
- SAMB T., BA CH. T., NDIAYE A. B., 2014 - Etude de l'effet des de cannes du petit mil et de la fumure d'ovins et de caprins sur la macrofaune du sol en zone sahélienne (Matam, Sénégal), *Bulletin de l'IFAN Ch. A. Diop*, sér. A, 2014, **53** (2) : 101-115
- SANDS, W.A., 1959. A revision of termites of the genus *Amitermes* from the Ethiopian region (Isoptera, Termitidae, Amitermitinae). *Bull. of British Museum (Natural History), Entomology*, **8** (4): 127-156.
- SARR M., 1995. *Contribution à l'étude des peuplements de Termites dans le cycle culture-jachère*. Mémoire de D. E. A. de Biologie animale, Université Ch. A. Diop de Dakar, 74 p.
- SARR M., 1999. – *Etude écologique des peuplements de Termites dans les jachères et dans les cultures en zone soudano-sahélienne, au Sénégal*, Thèse de doctorat de 3^{ème} cycle de Biologie animale, Université Ch. A. Diop de Dakar, 117 p.
- SBIH, M., N'DAYEGAMIYE, A., KARAM, A., 2003. Evaluation of carbon and nitrogen mineralization rates in meadow soils from dairy farms under transit to biological cropping systems *Can. J. Soil Scien.* **83**, 25-33.
- SILVESTRI F., 1914-15. Contribuzione alla conoscenza dei Termitidi e Termitophili dell'Africa occidentale. I. Termitidi. *Bolletino del Laboratorio di Zoologia Generale e Agraria della R. Scuola Superiore d'Agricoltura, Portici*, **9**, 16146.

- SJÖSTEDT Y., 1925. Revision der Termiten Afrikas. 3. Monographie. Kungl Svenska Vetenska Akademiens Handlingar, **3** (1), 1-435.
- SIMARD, R., N'DAYEGAMIYE, A., 1993. Nitrogen mineralization potential of meadow soils. *Can. J. Soil Sci.* **73**, 27-38.
- SOKI, K., JOSENS, G., LOREAU, 1996. Growth and demography of *Cubitermes speciosus* mounds (Isoptera, Termitidea). *Ins. Soc.*, **43**, 189-200.
- SOLBRIG, O. T., 1991 – *From genes to ecosystems, a research agenda for biodiversity*. IUBS, monograph series, 124 p.
- SOLOW, A. R., 1993 – Biological measuring diversity. *Environ. Sci. Technol.* vol. **27**, 1, 25-26.
- SOWDEN, F. J. 1978. Organic nitrogen distribution in selected peats and peat fractions. *Can. J. Soil Sci.*, 237-249
- STEVENSON, F. J. 1986. Cycles of soils. C, N, P, S, micronutrients. *J. Wiley and Sons*, 231-246.
- STEVENSON, F. J. 1994. *Humus chemistry. Genesis, composition, reactions*. Wiley, New York, NY, 1994, viii, 496p.
- STEWART, J. W. B., TIESSEN, H. 1987. Dynamics of soil organic phosphorus, *Biogeochem.* **4**: 41-60.
- STRIGANOVA, J., 1971. *Significance of diplopod activity in leaf litter decomposition*. In Organismes du sol et production primaire, **IV**, Colloquium Pedobiologiae, Dijon 14-19-IX, 1970. INRA, 409-415.
- TADROS M. S., 1983. *Effect of some human activities on community structure of soil arthropods*. In: New trends in soil biology, **VIII**. International colloquium of soil zoology, Louvain-La-Neuve, 30-VIII-2-IX- 1982, 637-638
- TANO, Y., 1994. Action des termitières épigées sur les sols et les cultures vivrières en savane humide soudanienne. In *Chemistry and Biology of Social Insects*, 237-252.
- THIAM A., 1991. Problématique de l'utilisation des insecticides chimiques dans la lutte antiacridienne. In *John Libbey Eurotext*, 193-206.
- TILMAN, D., 1986 – Resources, competitions and dynamics of plant communities. In *Oxford. Blackwell Scientific Publications* M. J Crowley (ed) *Pant ecology*, 51-75.

- VAN DER VALK H., DIAKHATÉ H., SECK A., 1998. *Toxicité des insecticides utilisés en lutte antiacridienne sur Pimelia senegalensis (Coleoptera, Tenebrionidae)*. In: Everts J. W., Mbaye D., Barry O., Mullié W. C. eds. Effets de la lutte antiacridienne sur l'environnement. FAO, Projet Locustox, Dakar, Sénégal. Tome **II**, 146-168.
- VAN DER VALK H., KAMARA O., 2002. *Side-effects of chlorpyrifos and deltamethrin in sahelian millet agrosystem*. In: Everts J. W., Mbaye D., Barry O., Mullié W.C. eds. Environmental side-effects of locust and grasshopper control, vol.4, Locustox Project. FAO/Plant Protection Directorate, Dakar, Senegal, 150-180.
- WEBER, N. A., 1996. Fungus growing ants. *Sciences*, **153**; 587-604.
- WESTOBY, M., HUGHES, L., RICE, B. L., 1991. Seed dispersal by ants, comparing infertile and fertile soil. In *Ant-Plant-Interactions*, 434-449.
- WHALLEY, W. R., DUMITRI, E., DEXTER, A. R., 1995 – Biological effect of soil compaction. *Soil Tillage Research*, **35**, 53-68.
- WHITFORD, W.G., 1991. Subterranean termites and long-term productivity of desert rangelands. *Sociobiology*, **19** (1), 235-243.
- WILLIAMS, B. L., SPARLING, G. P. 1984. Extractable N and P in relation to microbial biomass in UK acid organic soils. *Plant Soil* **76**: 139-148.
- WITTACKER, R. H., 1977 – Evolution of species diversity in land communities. *Evolutionary Biology*, **10**, 1-67.
- WOOD T. G., JOHNSON R. A. & OHIAGU C. E. 1977. Populations of Termites (*Isoptera*) in natural and agricultural ecosystem in southern guinea savanna near Mokwa, Nigeria. *Geo-Eco-Trop*, **1** (2): 139-148.
- WOOD, T. G., 1976 – The role of termites (Isoptera) in decomposition processus. In, J. M. Anderson, A. Macfadyen (eds), *The role of terrestrial and aquatic organisms in decomposition processes*. Blackwelle, Oxford, 145-168.
- WOOD, T. G., SANDS, W. A., 1978 – The role of termites in ecosystems. In *Production ecology of ants and termites*. Ed. M. V. Brian. Cambridge University Press, Cambridge, 245-292.

ZHOU, W., LI, S. T., WANG, H., HE, P., LIN, B., 1999. Mineralization of organic sulfur and its importance as a reservoir of plant available sulfur in upland soil of north china. *Biology and Fertility of Soil*, **30** (3), *245-250.