UNIVERSITE MONTPELLIER II
SCIENCES ET TECHNIQUES DU LANGUEDOC

27 septembre 2006

Eric Blanchart

Institut de Recherche pour le Développement IRD
Laboratoire Matières Organiques des Sols Tropicaux
UR 179 « Séquestration du carbone et biofonctionnement des sols »

SERVICES ECOSYSTEMIQUES DE LA MACROFAUNE DANS LES SOLS TROPICAUX. EXEMPLE DES VERS DE TERRE

Habilitation à Diriger des Recherches

Doyle McKEY	Professeur, Université de Montpellier 2	Président
Roel MERCKX	Professeur, Université de Leuven	Rapporteur
Sylvie RECOUS	DR2, INRA Laon	Rapporteur
Guy RICHARD	DR2, INRA Orléans	Rapporteur
Benoît JAILLARD	Professeur, ENSA-Montpellier	Examinateur
Patrick LAVELLE	Professeur, Université Paris 6 / IRD	Examinateur
Jean-Luc CHOTTE	DR2, IRD	Examinateur

REMERCIEMENTS

La rédaction d'un ouvrage destiné, entre autres, à faire le point sur ses activités de recherche passées donne la possibilité de remercier un certain nombre de personnes sans qui ce travail n'aurait pas été possible.

Bien que les collaborations aient été très nombreuses au cours de toutes ces années, cinq personnes ont véritablement marqué ma carrière, notamment par la confiance qu'ils ont su me donner. J'ai une estime particulière pour ces personnes :

- Paul Tréhen (professeur à l'Université de Rennes I) et Yves Frenot (CNRS) sont les premiers à m'avoir ouvert les portes d'un laboratoire de recherche. Les quatre années, au total, passées à la Station Biologique de Paimpont m'ont permis de découvrir le monde de la recherche et celui de l'écologie du sol ;
- Patrick Lavelle (professeur à l'Université Paris VI / IRD) m'a fait découvrir le monde tropical et m'a transmis sa passion pour la macrofaune du sol, et particulièrement pour les vers de terre. Sa clairvoyance, son dynamisme, ses connaissances m'ont beaucoup appris ;
- Christian Feller et Alain Albrecht (IRD) ont permis mon intégration à l'ORSTOM (devenu plus tard IRD). Grâce à eux, mes horizons se sont élargis : le sol et la matière organique du sol me sont apparus moins obscurs... Leur confiance et leur soutien constants m'ont été précieux.

De nombreuses autres personnes ont croisé ma route au cours de ces années. Il serait impossible de les citer tous. Je souhaite néanmoins remercier globalement tous les collègues :

- de la Station Biologique de Paimpont,
- du Laboratoire d'Ecologie de l'Ecole Normale Supérieure de Paris,
- de l'Institut Français de Pondichéry,
- du Laboratoire Biologie et Organisation des Sols Tropicaux de l'IRD Martinique,
- du Laboratoire Matière Organique des Sols Tropicaux de l'IRD Montpellier.

Je n'oublie pas non plus toutes les personnes d'autres équipes de l'IRD, ou d'autres instituts français (CIRAD, CNRS, INRA, CEMAGREF) ou étrangers, ou d'autres universités avec lesquelles j'ai eu l'occasion de travailler. Ces personnes se reconnaîtront… Je leur en suis extrêmement reconnaissant.

Enfin, un merci tout particulier à Isabelle, Dorian, Anne et Stéfan qui m'ont constamment soutenu et ont su garder leur humour face à la vie trépidante d'un chercheur en vadrouille…

SOMMAIRE

I. Cadre conceptuel des recherches : la macrofaune des sols et les services écosystémiques **1**

II. Macrofaune et fonctionnement biologique des sols (rappels) **6**
- a. Histoire des recherches sur la macrofaune des sols 6
- b. La macrofaune : composition et classifications 7
- c. Les vers de terre 9

III. Modes de gestion des terres et macrofaune du sol **11**
- a. Cadre de ces études 11
- b. Sites d'étude 11
- c. Méthodes d'échantillonnage de la macrofaune du sol 13
- d. Variabilités temporelle et spatiale de la macrofaune 14
  - i. Variabilité temporelle
  - ii. Variabilité spatiale
- e. Impact des modes de gestion des terres 19
  - i. Macrofaune et travail du sol
  - ii. Macrofaune et plantes de couverture
  - iii. Macrofaune et SCV
  - iv. Macrofaune et pâturages
- f. Conclusions 27

IV. Vers de terre et propriétés physiques des sols **30**
- a. Cadre de ces études 30
- b. Sites d'étude 31
- c. Consommation de sol et production de turricules par les vers de terre 31
- d. Caractéristiques physiques des turricules de vers de terre 33
  - i. Modifications de la structure du sol dans le tube digestif
  - ii. Granulométrie des turricules
  - iii. Densité apparente et porosité des turricules
  - iv. Stabilité à l'eau et résistance mécanique des turricules
  - v. Présence d'un cortex autour des turricules
  - vi. Conclusions
- e. Modification et conservation de la structure du sol sous l'effet des vers de terre. Conséquences sur certaines propriétés physiques des sols 38
  - i. Cas des sols à argile 1:1 (sols ferrallitiques et ferrugineux)
  - ii. Cas des sols à argile 2:1 (vertisols)
- f. Conclusions 51

V. Vers de terre et matière organique dans les sols tropicaux **54**
- a. Influence de la teneur en carbone du sol sur la croissance des vers de terre 54
- b. Effet des vers de terre sur la dynamique de la matière organique 56
  - i. Sélection de particules organiques
  - ii. Minéralisation au cours du transit intestinal
  - iii. Effets à moyen et long termes
- c. Conclusions 59

VI. Projet de recherche **60**
a. Introduction et justification du projet de recherche 60
b. Objectifs et hypothèses de recherche 61
i. Faune du sol et stockage du carbone
ii. Flux de N_2O et de CH_4
c. Actions de recherche 67
i. Approche exploratoire
ii. Approche expérimentale
iii. Modélisation
iv. Collaborations
v. Mise en œuvre de ce projet

VII. Bibliographie (références citées dans le texte) **69**

VIII. Liste des publications **73**
a. Mémoires 73
b. Publications dans des revues à comité de lecture 73
c. Publications dans des revues sans comité de lecture 75
d. Chapitres d'ouvrage 76
e. Communications dans des congrès internationaux 78
f. Communications dans des séminaires 80
g. Cartes numériques 82
h. Conférences 82
i. Principaux rapports 82

IX. Liste des stagiaires encadrés ou co-encadrés **85**
a. Thèses 85
b. DEA, DAA, DESS 85
c. Mémoires d'ingénieur 86
d. Mémoires de maîtrise 87
e. BTS Agricole 87
f. Participation à des jurys de thèse 88
g. Évaluation d'une thèse étrangère 88
h. Évaluation d'un mémoire de DAA 88
i. Autres participations à jurys 88

X. Autres activités de recherche **89**
a. Animation de la recherche 89
b. Coordination de projets de recherche 90
c. Participation à des projets de recherche 91
d. Valorisation 92
e. Formation 92
f. Expertise 93

XI. Curriculum vitae **94**

I. Cadre conceptuel de mes recherches : La macrofaune des sols et les services écosystémiques

Le sol est un milieu vivant dont les principales fonctions, agronomiques et environnementales, sont sous la dépendance de processus biologiques. Bien que relativement récente par rapport à d'autres disciplines comme la chimie ou la physique des sols, la biologie (ou écologie) des sols a fait des progrès considérables depuis une quarantaine d'années. Cette accumulation de connaissances a été rendue possible grâce au développement de techniques et d'outils permettant l'exploration du sol, à la prise en compte de théories écologiques en plein développement et, plus récemment, à la remise en question des techniques « modernes » d'agriculture et à l'importance reconnue des sols et des activités biologiques dans les grands cycles biogéochimiques. La nécessaire évolution des techniques culturales vers des techniques prenant plus en compte l'activité biologique des sols et la matière organique, le rôle potentiel des sols dans la séquestration du carbone et l'accroissement des sols pollués ont, entre autres, renforcé les recherches sur les processus biologiques et la recherche d'indicateurs biologiques de la qualité des sols. Enfin, le sol est l'un des milieux où la biodiversité est la plus importante, mais aussi la plus mal connue.

Dans ce contexte général, mes recherches se sont inscrites dans l'étude du rôle joué par la macrofaune (qui regroupe l'ensemble des animaux visibles à l'œil nu) des sols tropicaux, et principalement par les vers de terre, vis-à-vis d'un certain nombre de fonctions agronomiques et environnementales.

La science reconnaît à présent que la faune des sols peut contribuer à une vingtaine de services écosystémiques regroupés en grands thèmes (Cf. Millenium Ecosystem Assessment, www.milleniumassessment.org) :

1. Approvisionnement
    a. Aliments et fibres
    b. Ressources génétiques
    c. Produits biochimiques et pharmaceutiques
    d. Ressources ornementales
2. Régulation
    a. Qualité de l'air

b. Régulation du climat
c. Contrôle de l'érosion
d. Purification de l'eau et traitement des déchets
e. Régulation de certaines maladies humaines
f. Détoxification
g. Contrôle biologique

3. Culture
    a. Diversité et identité culturelles
    b. Ecotourisme
4. Support
    a. Production primaire
    b. Production d'oxygène
    c. Formation et rétention des sols
    d. Recyclage des nutriments
    e. Approvisionnement d'habitats

Mes recherches, situées à la fois dans un cadre agronomique et environnemental, correspondent essentiellement aux thèmes « Régulation » et « Support ». De façon plus précise, elles cherchent à mieux comprendre le rôle de la faune des sols sur la production primaire, la formation des sols, le recyclage des nutriments, l'approvisionnement d'habitats (pour la microflore) et, plus récemment, sur la qualité de l'air à travers la séquestration du carbone et les émissions de gaz à effet de serre.

Ces recherches ont principalement consisté à **étudier le rôle de la faune (et plus précisément des vers de terre) sur la structure (formation et conservation) des sols tropicaux**. La formation d'agrégats, de pores et la stabilisation de ces bio-structures ont été au cœur de mes recherches. La structure du sol, et la stabilité structurale agissent sur chacun des services écosystémiques énoncés ci-dessus en déterminant la fertilité physique des sols, en agissant sur le stockage de la matière organique, l'activité microbienne et la libération d'éléments nutritifs, et enfin le stockage de l'eau. Elle influence alors la croissance végétale et les émissions de gaz à effet de serre.
Dans ces recherches, la part importante de la matière organique sur les propriétés des sols est telle qu'il est nécessaire de la prendre en compte. Ainsi mon activité scientifique a été centrée

sur l'étude des interactions entre trois composantes du sol : (i) les macroorganismes, (ii) la matière organique du sol et (iii) la composante physique du sol (sa structure) (Figure 1).

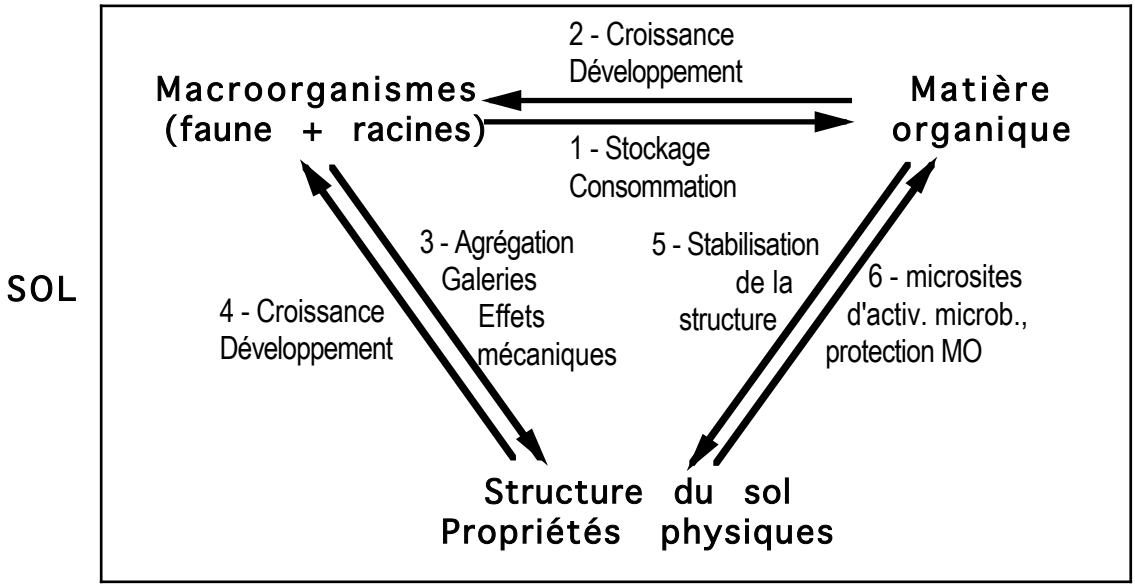


Figure 1 : Etude des processus biologiques. Il s'agit d'étudier 3 composantes principales du sol, leurs interactions et l'évolution de ces composantes et de leurs interactions dans les systèmes naturels et anthropisés. La flèche 3 de cette figure a fait l'objet de ma thèse de doctorat. Les flèches 1, 2, 3 ont été étudiées lors de l'étude sur les vertisols, à la Martinique. Enfin, les flèches 1, 3, 5 et 6 sont étudiées dans le programme actuel lié à la séquestration du carbone dans les sols.

Si certaines de mes études ont été réalisées dans des situations naturelles (ex : travail de thèse dans les savanes de Lamto en Côte d'Ivoire), la majorité a été conduite dans des agrosystèmes, l'objectif principal étant de comprendre comment les modes de gestion affectent les 3 composantes étudiées et comment les interactions entre ces composantes sont modifiées. En situations expérimentales, des manipulations de vers de terre (et de plantes) ont permis de préciser certains mécanismes du biofonctionnement du sol (Figure 2)

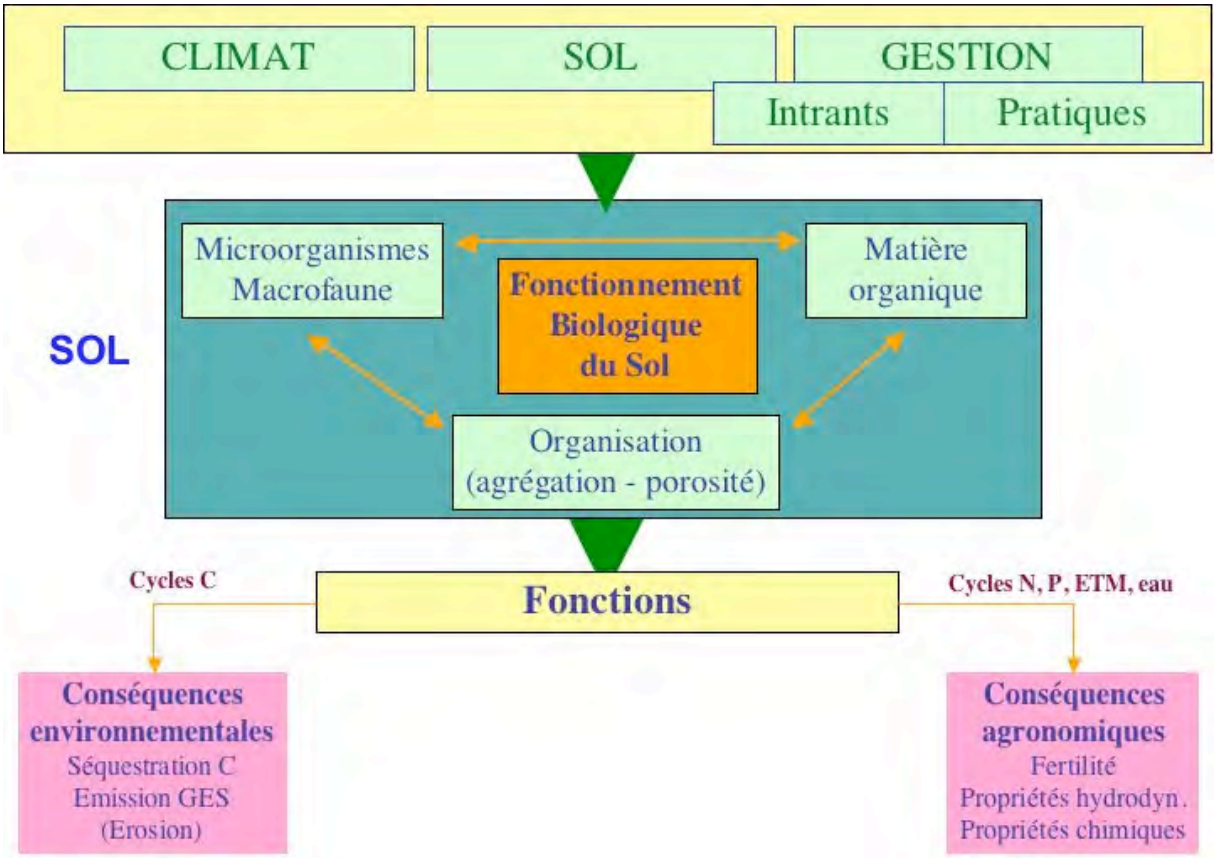


Figure 2 : Fonctions agronomiques et environnementales des activités biologiques des sols. Nos études apportent également des informations sur la structure des peuplements et la diversité de la faune des sols. Dans les zones tropicales, les modes de gestion (occupation des terres, techniques culturales) ont des conséquences importantes sur le bio-fonctionnement des sols et sur les propriétés qui en découlent.

Mes recherches passées ont successivement concerné :

- l'étude de la formation et de la conservation de la structure des sols par les vers de terre dans les savanes de Lamto en Côte d'Ivoire (1986-1990) ;
- l'étude des communautés de macrofaune du sol dans différents écosystèmes naturels ou perturbés des Ghâts Occidentaux dans l'Inde du Sud (1991-1992) ;
- l'étude des rôles respectifs des vers de terre et des racines dans la formation de la structure des sols et le stockage du carbone dans les systèmes prairiaux, sur vertisols du Sud de la Martinique (1993-1999) ;
- le stockage du carbone dans les sols des Antilles (2000-2003) (sujet qui ne sera que partiellement abordé dans ce mémoire) ;
- enfin, et à différentes époques de ma carrière scientifique, l'étude des communautés de macrofaune dans différents types d'écosystèmes naturels ou anthropisés au Brésil (agroforesterie et pâturages en Amazonie, cultures en semis direct sous couvert

végétal dans la zone des Cerrados), au Bénin (différents systèmes de culture de maïs dont l'association avec *Mucuna pruriens*), à Madagascar (cultures en semis direct sous couvert végétal dans la zone des Hautes Terres). Ces études menées en collaboration avec d'autres chercheurs ont également permis de préciser le rôle de la faune sur les propriétés physiques des sols et la dynamique de la matière organique.

Après un rapide rappel de généralités concernant la macrofaune des sols tropicaux, nous examinerons successivement :

- l'impact des modes de gestion des terres sur les peuplements de macrofaune du sol ;
- l'effet des vers de terre sur la structure des sols et certaines propriétés physiques ;
- l'effet des vers de terre sur la dynamique et le stockage de la matière organique dans les sols.

Enfin, nous décrirons les perspectives de nos recherches sur le rôle de la macrofaune vis-à-vis de la séquestration du carbone dans les sols tropicaux : stockage de carbone et contrôle des émissions de gaz à effet de serre (GES).

Les collaborations nécessaires à cette recherche et les conventions dans lesquelles elle a été réalisée sont indiquées au chapitre X.

Dans les chapitres qui suivent, les renvois à mes publications (listées au chapitre VIII) sont faits par des numéros entre crochets.

II. Macrofaune et fonctionnement biologique des sols (rappels)

Ce chapitre rappelle quelques points essentiels liés à l'étude de la macrofaune de sols. Dans un premier temps, nous verrons que la biologie des sols est une science relativement jeune, bien plus jeune en particulier que la chimie ou la physique des sols. Dans une deuxième partie, nous rappellerons quels animaux composent la macrofaune du sol et comment celle-ci peut être classée.

II.a. Histoire des recherches sur la macrofaune des sols

Bien que les premières études sur les sols remontent à l'Antiquité (Boulaine, 1989), la prise en compte des organismes vivants dans son fonctionnement est très récente et débute véritablement à la fin du 19e siècle avec les travaux de Schloesing & Muntz (1877) sur le rôle des microorganismes, ceux de Darwin (1881) sur le rôle des vers de terre et ceux de Müller (1879 et 1884) sur la formation de l'humus. Ces travaux ont véritablement lancé la biologie des sols, montrant l'importance des organismes vivants dans la formation et le fonctionnement des sols.

En ce qui concerne la macrofaune des sols, les vers de terre constituent de loin le groupe d'organismes qui a le plus tôt été reconnu pour ses actions sur la pédogenèse et la fertilité des sols. Déjà les Egyptiens avaient perçu leur rôle important vis-à-vis de la fertilité des sols et Cléopâtre en avait fait des animaux sacrés qu'il fallait à tout prix protéger pour ne pas mettre en péril la fertilité de la Vallée du Nil (Minnich, 1977 ; [32]). S'en est suivie une très longue période pendant laquelle les vers de terre n'ont pas ou très peu été étudiés. Ils étaient perçus soit comme des animaux nuisibles (Rozier, 1805 ; [33]), soit au contraire mais beaucoup plus rarement, comme bénéfiques pour l'agriculture (White, 1789 ; [32]). L'étude publiée par Darwin en 1881 a considérablement modifié cette image, montrant précisément, mesures et expériences à l'appui, comment les vers de terre participent à la formation de l'humus, à la pédogenèse, à l'érosion, à la croissance des plantes, à l'enfouissement des vestiges archéologiques… Bien que ce travail ait prouvé, sans ambiguïté aucune, le rôle que pouvait jouer la faune sur les sols, il a fallu attendre les années 1930-40 pour que cette nouvelle science prenne son essor. Ces travaux anciens sur les vers de terre et l'importance des travaux

de Darwin ont été détaillés par Feller et al. [24, 33], Feller & Blanchart [40], Brown et al. [32] et Blanchart et al. [42].

II.b. La macrofaune : composition et classifications

Classiquement, le terme « macrofaune » des sols est tiré d'une classification par taille des animaux du sol, qui sépare la microfaune (essentiellement constituée par les protozoaires, les tardigrades et les nématodes), la mésofaune (les acariens, les collemboles, les enchytréides), la macrofaune et la mégafaune (essentiellement constituée de vertébrés) (Figure 3).
Selon les classifications, la macrofaune regroupe les animaux dont la taille est comprise entre 2 (ou 4) et 20 (ou 80) mm. Néanmoins, il est maintenant accepté que la macrofaune des sols regroupe les invertébrés du sol facilement visibles à l'œil nu. Ceci exclut, de fait, les invertébrés et les organismes de la mésofaune malgré le fait que certains acariens ou collemboles puissent être visibles à l'œil nu.

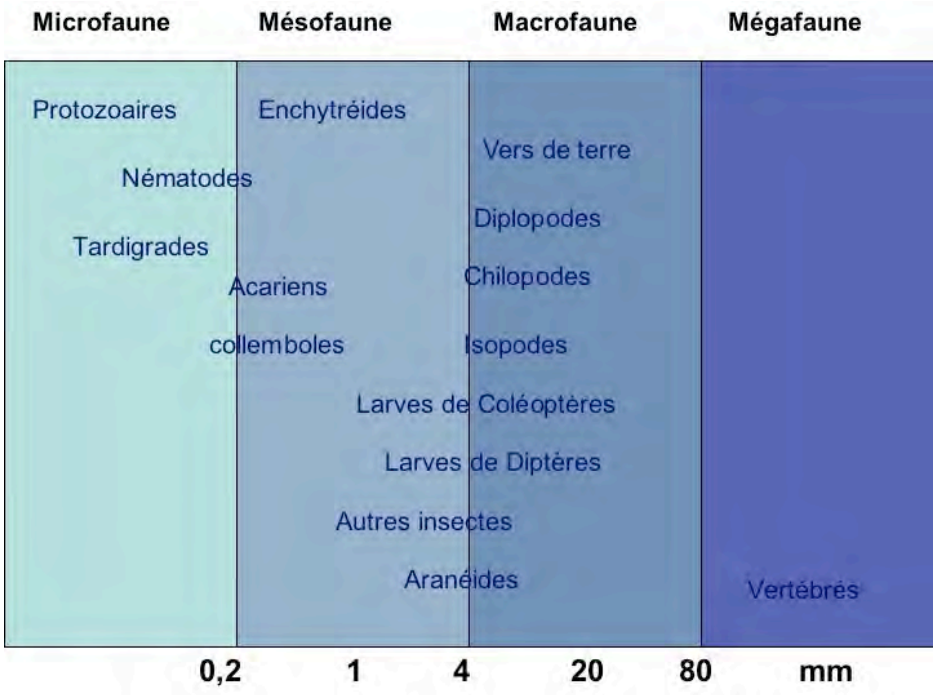


Figure 3: Classification par taille de la faune du sol (d'après Swift et al., 1979).

Les groupes taxonomiques constituant la macrofaune sont extrêmement variés et appartiennent à trois embranchements principaux : les Annélides, les Mollusques et les Arthropodes. Les Arthropodes sont eux-mêmes très diversifiés puisqu'on peut trouver dans le

sol des Insectes, des Crustacés, des Myriapodes (mille-pattes) et des Arachnides. De même, la plupart des ordres d'insectes peuvent être rencontrés dans le sol, sous forme d'œufs, de larves, de pupes ou d'imagos.

Tableau I: Principaux groupes taxonomiques appartenant à la macrofaune des sols. Les ordres d'insectes en italique ne sont rencontrés qu'au stade larvaire dans le sol, les autres sont rencontrés au stade larvaire et au stade adulte (entre parenthèses, les noms vernaculaires des organismes les mieux connus du taxon).

EMBRANCHEMENTS	Classes	Taxons inférieurs
ANNELIDES	Oligochètes	(vers de terre)
MOLLUSQUES		(escargots, limaces)
ARTHROPODES	Crustacés	Isopodes (cloportes)
	Arachnides	Aranéides (araignées), Opilions, Scorpions, Pseudoscorpions
	Myriapodes	Diplopodes (iules) Chilopodes (scolopendres)
	Insectes	Diploures Thysannoures Dermaptères (forficules) Blattodés (blattes) Orthoptères (grillons) Hétéroptères (punaises) *Homoptères* (cigales) *Diptères* (mouches) Isoptères (termites) *Lépidoptères* (papillons) Hyménoptères (fourmis) Coléoptères (scarabées, staphylins, carabes…)

L'autre critère de classification généralement considéré est le régime trophique des organismes : prédateurs (consomment d'autres animaux), phytophages (plantes), saprophages (matières organiques mortes), fongivores (champignons), bactérivores (bactéries), xylophages

(bois), coprophages (excréments), géophages (sol). Au sein de la macrofaune du sol, les organismes sont essentiellement des saprophages, des géophages et des prédateurs.

La classification fonctionnelle de la faune du sol a fait l'objet de nombreuses propositions. L'une d'elles, essentiellement tournée vers la microfaune et la mésofaune, traite des réseaux trophiques (food webs), les espèces étant rassemblées dans des guildes en fonction de leur niveau trophique (Hunt et al., 1987 ; Wardle, 2002). Une autre approche, plus récente, concerne l'impact des espèces sur leur environnement physique et définit les « domaines fonctionnels » (Lavelle, 1997). Un domaine fonctionnel est défini par la « sphère » de sol influencée par les activités d'une espèce et dans laquelle les processus du sol et les ressources pour les autres organismes du sol sont modifiés (Lavelle, 2002). La « drilosphère » est ainsi définie comme étant l'ensemble du sol (dans toutes ses composantes physiques, chimiques et biologiques) influencé par les vers de terre ; les relations avec les autres communautés du sol sont donc à la fois trophiques et non-trophiques.

L'ensemble de ces démarches (food web, domaines fonctionnels) sépare la faune du sol en quatre groupes (Lavelle, 1997 ; Brussaard, 1998) :

- les consommateurs de racines (rhizophages, ravageurs),
- les prédateurs,
- les « ingénieurs de la litière » (« litter engineers », transformeurs de litière),
- les « ingénieurs du sol » (d'après la définition de Jones et al., 1994 ; Lavelle, 1997) : ces invertébrés modifient l'état physique du sol en produisant des biostructures et modifient ainsi la nature et/ou la disponibilité des nutriments pour les autres organismes du sol. Ces organismes peuvent appartenir à des guildes trophiques variées : des décomposeurs comme les vers de terre et les termites, des phytophages, des rhizophages ou des prédateurs.

II.c. Les vers de terre

Comme nous l'avons vu ci-dessus, les vers de terre constituent le groupe d'animaux du sol le mieux connu, le plus étudié, notamment en raison de leur importance reconnue dans le fonctionnement du sol. Leurs divers effets ont largement été décrits par Darwin (dès 1837, jusqu'à la publication de son ouvrage en 1881) : rôle dans la formation de la terre végétale (qu'il faudrait selon Darwin appeler « terre animale »), rôle dans la fertilité des sols, rôle dans la formation des sols, rôle dans l'enfouissement des vestiges archéologiques…

Les vers de terre appartiennent à l'embranchement des Annélides, à la classe des Oligochètes (Oligochaeta), à l'ordre des Haplotaxida et au sous-ordre des Lumbricina (Parker, 1982). On recense actuellement environ 3600 espèces de vers de terre dans le monde, bien que le nombre croisse rapidement, certaines zones géographiques ayant été très peu étudiées (ainsi en Inde, lors de nos études sur la faune du sol des Ghâts Occidentaux, 3 nouveaux genres et 11 nouvelles espèces ont été découvertes [39]). Les espèces principalement rencontrées dans les sols tropicaux appartiennent à quatre familles : Glossoscolecidae, Ocnerodrilidae, Megascolecidae, Eudrilidae.

Les vers de terre sont généralement classés en trois catégories écologiques : les épigés (pigmentés et détritivores, généralement de petite taille, vivant dans la litière), les anéciques (pigmentés et saprophages, généralement de grande taille et vivant dans des galeries principalement verticales) et les endogés (non pigmentés, géophages et venant rarement à la surface du sol ; ils peuvent être de taille variable) (Bouché, 1972). Lavelle (1978) distingue 3 sous-catégories pour les endogés : les polyhumiques se nourrissant d'une terre relativement riche en matière organique, les mésohumiques consommant une terre moyennement riche en matière organique et les oligohumiques qui se nourrissent de sol pauvre en matière organique (horizons plus profonds).

Nous discuterons plus loin de leurs rôles dans le fonctionnement des sols et vis-à-vis des services écosystémiques.

III. Modes de gestion des terres et macrofaune du sol

III.a. Cadre de ces études

La mise en culture des sols tropicaux entraîne généralement un bouleversement profond du fonctionnement du système avec notamment des modifications profondes des propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols. Ces modifications varient en fonction du climat, du type de sol, du mode de mise en cultures, du mode de gestion des terres (par exemple intensif ou non). Récemment, la prise de conscience d'une baisse de fertilité et de l'existence d'effets environnementaux négatifs liés à certaines pratiques agricoles dites conventionnelles (pollution des eaux de surface ou souterraines – nitrates, produits phytosanitaires -, érosion, émission de gaz à effet de serre, perte de biodiversité, altération du paysage, dégradation et appauvrissement des sols) ont conduit les agronomes à proposer et à tester de nouvelles alternatives à la gestion « conventionnelle » des terres. Les recherches concernant l'agroforesterie, l'agriculture raisonnée, l'agriculture biologique, l'agriculture de conservation, l'utilisation de plantes de couverture, le semis direct se sont fortement développées ces dernières années. Dans ce cadre, beaucoup de mes recherches ont été tournées vers l'étude de l'impact de différents modes de gestion des terres sur les peuplements de macrofaune des sols. Ces échantillonnages étaient aussi motivés par l'étude de la compréhension des modifications de structure ou de la dynamique de la matière organique dans les systèmes étudiés à travers l'interaction de ces processus avec l'activité de la macrofaune (Figure 2).

III.b. Sites d'étude

Des échantillonnages de macrofaune ont été réalisés dans le cadre de différents projets (pour plus de détail sur les conventions et les collaborations, Cf. chapitre X) :

- « Dynamique temporelle de la macrofaune du sol dans différents écosystèmes naturels et perturbés des Ghâts Occidentaux (Inde du Sud) ». Les différents systèmes étudiés sont : forêts naturelles non perturbées, forêts plus ou moins perturbées, prairies pâturées plus ou moins arbustives, plantations d'*Acacia auriculiformis* ;
- « Changements dans les chaînes de décomposeurs de la matière organique dus à la mise en valeur des sols forestiers en Amazonie Centrale. Relations avec les

transformations de la matière organique et de la structure des sols ». En Amazonie, les principaux systèmes étudiés sont : la forêt primaire, des forêts secondaires, des systèmes agroforestiers, des prairies plus ou moins dégradées ;

- « Modifications des peuplements de macrofaune en fonction de l'âge de cultures d'Hévéa en Côte d'Ivoire » ;
- « Étude des communautés de macrofaune des sols dans différents modes de gestion d'un vertisol à la Martinique » et « Etude du rôle des systèmes biologiques dans le fonctionnement des vertisols (Martinique). Application aux processus de restauration des propriétés physiques des sols ». Les systèmes étudiés sont : cultures maraîchères, jachères plantées non irriguées (*Brachiaria decumbens*), prairies plantées et ferti-irriguées (*Digitaria decumbens*) ;
- « Étude des communautés de macrofaune des sols dans les nouveaux systèmes de culture dits "durables" à la Martinique ». Divers types de culture d'agrumes ont été testés par le CIRAD en fonction de la profondeur de travail du sol (profond ou superficiel) et de la mise en place ou non d'une plante de couverture légumineuse (*Arachis pintoï*) ;
- « Interactions entre matière organique, activités biologiques et propriétés physiques d'un sol ferrallitique cultivé (Bénin). Conséquences pour la modélisation de la nutrition hydrique et azotée d'un maïs. Intérêt des plantes de couverture ». Les systèmes étudiés sont des cultures de maïs conventionnelles (sans engrais), des cultures de maïs avec engrais minéraux, des cultures de maïs avec plantes de couverture légumineuses (*Mucuna pruriens*) ;
- « Contribution à la modélisation du fonctionnement des systèmes de culture en semis direct sous couverture au Brésil (Goias) » et « Semis direct sous couverture végétale (SCV) au Brésil et à Madagascar : activités biologiques du sol, agrégation et protection du carbone ». Pour ces deux derniers projets, des systèmes de culture conventionnels (labour) sont comparés avec des systèmes de référence (cerrados pour le Brésil, Bozaka pour les Hautes Terres de Madagascar) et des systèmes en semis direct sous plantes de couverture (grandes cultures commerciales au Brésil, parcelles d'expérimentation à Madagascar).

III.c. Méthode d'échantillonnage de la macrofaune du sol

Les échantillonnages de macrofaune du sol ont toujours été réalisés selon la même méthode ce qui autorise les comparaisons entre sites. La méthode utilisée est celle proposée par le programme international TSBF (Tropical Soil Biology and Fertility) (nous l'appellerons donc la **méthode TSBF**) (Anderson & Ingram, 1993). Elle a été récemment rediscutée [138]. Elle consiste à prélever, par site étudié, un certain nombre de monolithes de sol (une dizaine généralement) espacés tous les 5 m le long d'un transect défini au hasard. Une fois les monolithes repérés sur le terrain, un cadre (métallique ou en bois) de 25 cm de côté est placé sur le sol (de chacun de ces monolithes) dans le but de récupérer la litière à la surface du sol, ainsi que les animaux qui l'habitent. Une tranchée est alors creusée autour de chaque monolithe (de 25 cm de côté), jusqu'à une profondeur de 30 cm de façon à isoler chacun des monolithes de sol. Ces derniers sont alors découpés en tranches horizontales de 10 cm et dans chacune de ces tranches, la macrofaune est triée manuellement.
Les animaux sont ensuite conservés (mélange alcool-formol) avant d'être ramenés au laboratoire où ils seront comptés, pesés et déterminés (si possible).

Cette méthode soulève plusieurs critiques :

- les variations spatiales des communautés de faune du sol étant importantes, les résultats moyens obtenus sont souvent associés à des écarts-types très élevés et ce notamment pour ce qui concerne les insectes sociaux (termites et fourmis) ;
- les variations temporelles des communautés étant liées aux variations saisonnières et donc souvent très marquées, les échantillonnages effectués à une seule époque de l'année ne rendent compte que d'une partie de l'activité de la faune du sol : les vers de terre sont généralement plus actifs en saison humide, les termites plus actifs en saison sèche ;
- les individus récoltés appartiennent à un grand nombre d'embranchements, de classes, d'ordres, de familles d'animaux et il est par conséquent presque impossible de trouver les taxonomistes permettant d'arriver à une description spécifique de nos communautés (d'autre part, les déterminations spécifiques sont rendues compliquées par l'absence d'imagos dans nos échantillons – les déterminations larvaires sont généralement impossibles pour de nombreux groupes d'insectes) ;
- enfin, elle ne donne pas une image complète de la biodiversité d'un système étant donné que beaucoup d'habitats ne sont pas inventoriés par cette méthode.

Malgré les problèmes liés à cette méthode, celle-ci a l'avantage d'être reconnue internationalement et d'avoir été utilisée dans de nombreux éco- ou agrosystèmes tropicaux, permettant ainsi des comparaisons de résultats.
Excepté dans les Ghâts Occidentaux (Inde du Sud) où les échantillonnages de faune ont été réalisés tous les deux mois, dans différents écosystèmes, dans le but de suivre la dynamique saisonnière, les échantillonnages effectués dans les autres chantiers sont généralement réalisés dans la deuxième moitié de la saison des pluies, époque où l'activité de la faune du sol est généralement maximale.

III.d. Variabilités temporelle et spatiale de la macrofaune

Dans ce chapitre, les données servant à illustrer les variabilités temporelle et spatiale de la macrofaune du sol sont issus de mes travaux.

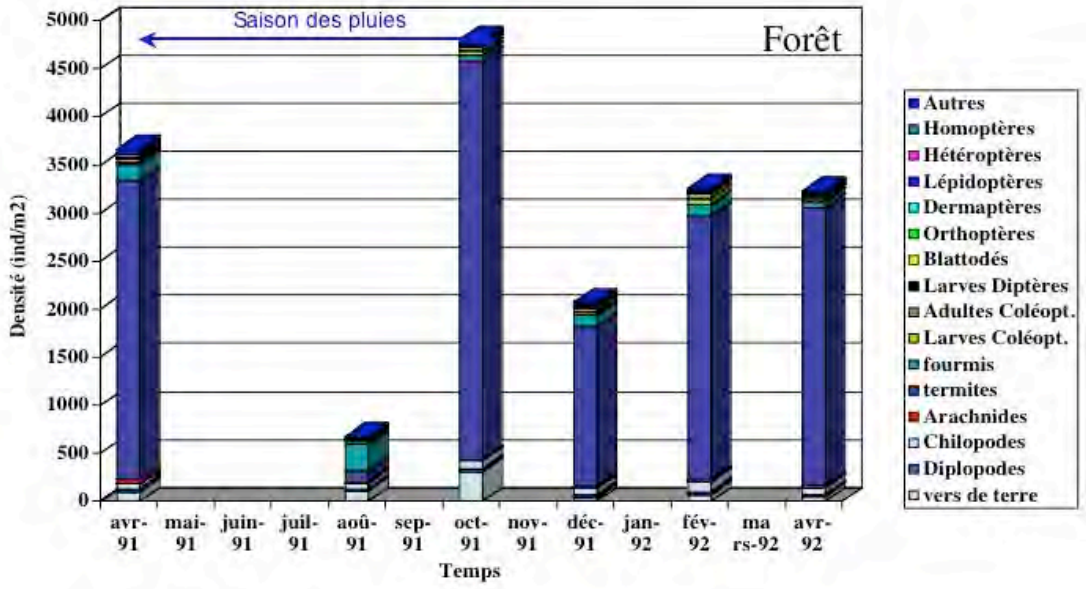
III.d.i. Variabilité temporelle

En Inde du Sud, la région des Ghâts Occidentaux était occupée il y a encore 150-200 ans par une forêt naturelle sempervirente. Au début des années 90, la surface perturbée par l'homme était estimée à 54%, la zone étant une mosaïque de zones forestières plus ou moins perturbées, séparées par des pâturages, des plantations d'Acacia et de Casuarina, des rizières, des jardins. Le climat est de type « mousson tropicale » avec une saison sèche marquée de 6-7 mois (avril-octobre) et une pluviométrie de 5000 mm/an. Les sols sont des sols ferrallitiques.
Un suivi bimensuel des peuplements de macrofaune a été réalisé dans différents écosystèmes de cette région (d'avril 1991 à avril 1992, excepté en juin 1991) (Figures 4 et 5).

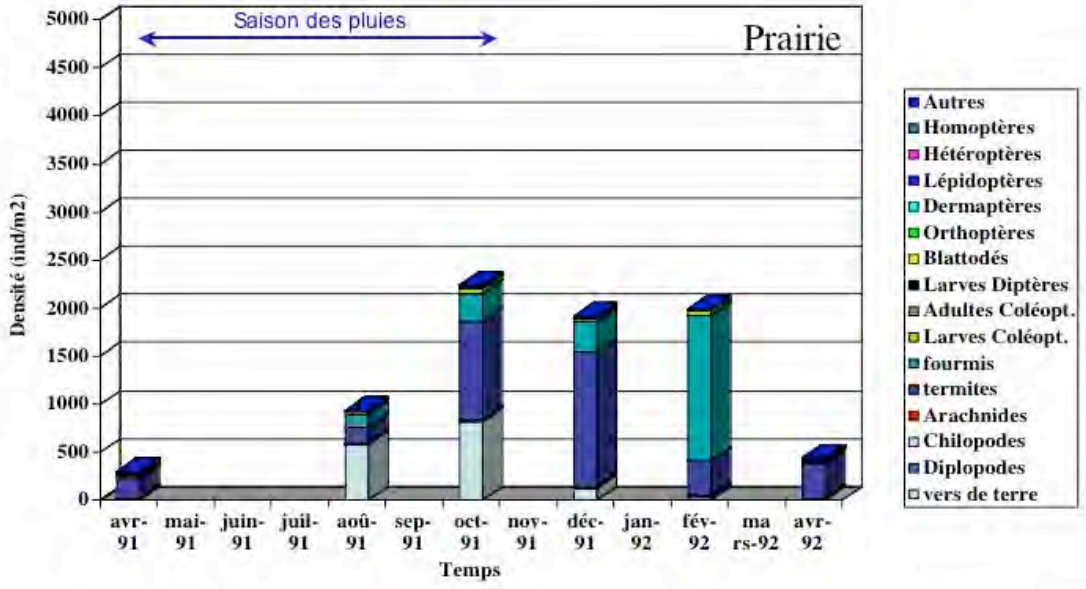
Les principaux résultats sont les suivants :

- les groupes taxonomiques dominants en termes de densité sont les termites, les fourmis et les vers de terre quels que soient les systèmes étudiés. En termes de biomasse, les principaux groupes sont les vers de terre, les larves de Coléoptères et les termites ;
- les densités et les biomasses totales (somme de tous les groupes taxonomiques) sont plus élevées en forêt qu'en prairie ;
- les densités et les biomasses sont caractérisées par des variations saisonnières marquées. En forêt, la faible activité des termites au cœur de la saison humide entraîne

une diminution importante des densités totales de faune (et une prépondérance des fourmis) tandis que la biomasse est plus forte en saison des pluies en raison du développement important des vers de terre et des larves de Coléoptères. En prairie, la saison humide est surtout marquée par un accroissement des densités et des biomasses de vers de terre jusqu'au début de la saison sèche suivante.

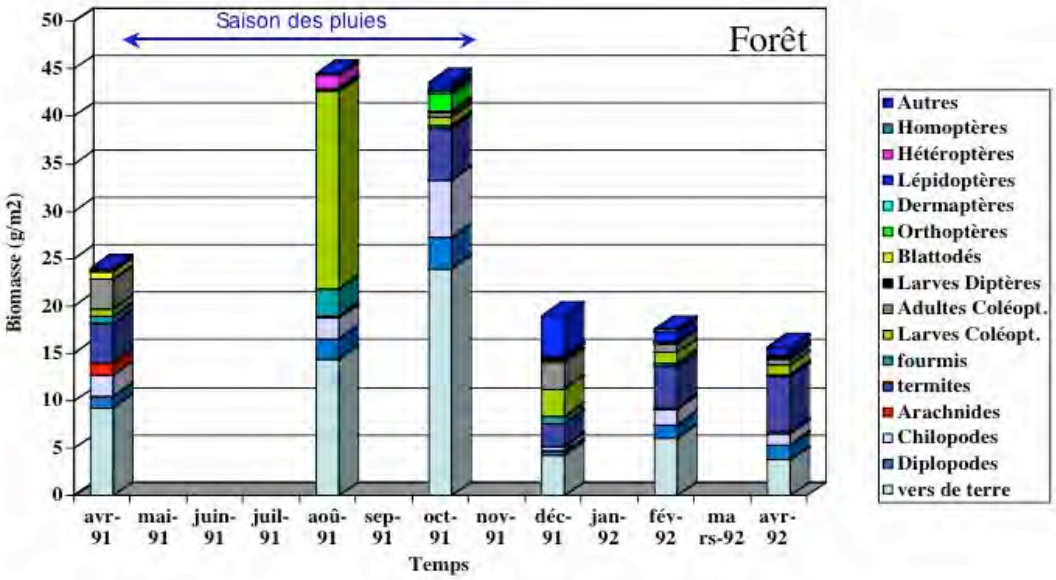


A

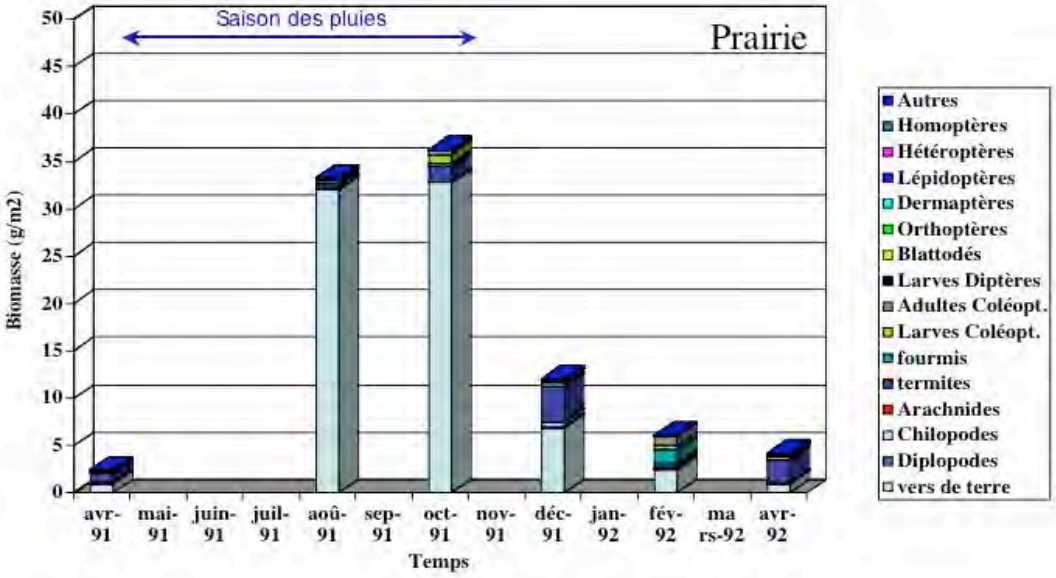


B

Figure 4 : Variation saisonnière des densités moyennes (ind/m^2) des différents groupes de macrofaune dans une forêt peu perturbée (Figure 4A) et dans une prairie anthropique (Figure 4B) des Ghâts Occidentaux (Inde).



A



B

Figure 5 : Variation saisonnière des biomasses moyennes (g/m^2) des différents groupes de macrofaune dans une forêt peu perturbée (Figure 5A) et dans une prairie anthropique (Figure 5B) des Ghâts Occidentaux (Inde).

Une analyse multivariée (ACP inter- intra- classes) effectuée sur ce jeu de données a permis de montrer que les variations saisonnières de la faune du sol étaient moins marquées en prairies ou dans les plantations d'Acacia que sous forêt [41]. L'analyse a aussi montré que les variations de faune du sol étaient principalement liées au type de systèmes, et secondairement à la saison (l'effet site est plus marqué que l'effet date). Les groupes principalement affectés

par la modification du système sont les Dermaptères, les Coléoptères, les Diplopodes, les Chilopodes et les termites [10]. Les groupes principalement affectés par la saison sont : les larves de Diptères, les larves de Coléoptères, les larves de Lépidoptères, les Hétéroptères et les vers de terre. Bien que les vers de terre d'une façon globale (peuplement) soient plus marqués par un effet « date » que par un effet « site », une étude spécifique sur ce groupe d'animaux a permis de montrer que les espèces présentes en forêts sont différentes de celles présentes sous prairies ou dans les plantations d'Acacia [12].

III.4.ii. Variabilité spatiale

La variabilité spatiale est appréhendée à travers les résultats des échantillonnages effectués sur chacun des monolithes de sol échantillonnés dans un même site (à une date). Les deux exemples suivants (Figures 6 et 7) montrent la variabilité des mesures entre les 10 points de prélèvements d'une même série d'échantillonnage, ainsi que la valeur moyenne calculée à partir de ces 10 prélèvements. Ils mettent en évidence les grandes variations de données, à l'intérieur d'un même site, que ce soit pour la densité ou pour la biomasse.

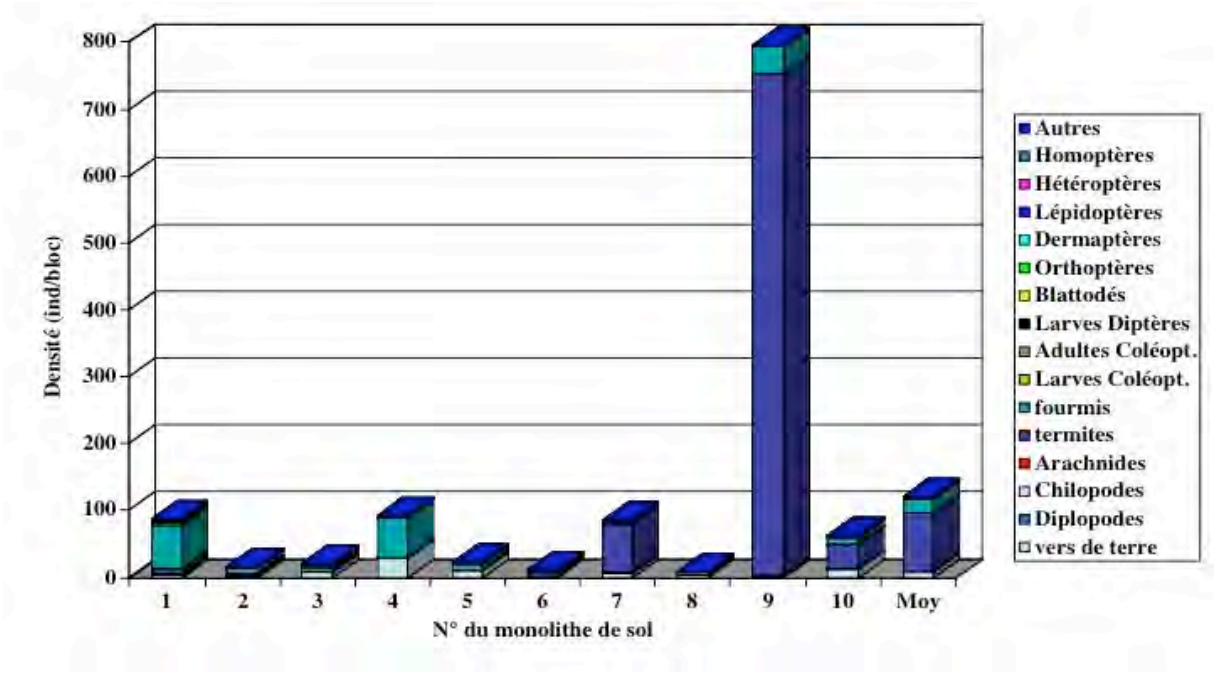


Figure 6 : Variabilité spatiale des densités de faune du sol (ind/monolithe), sur chacun des 10 points d'échantillonnage espacés de 5 m le long d'un transect (prairie, Inde du Sud, décembre 1991). La valeur moyenne (Moy) est également présentée.

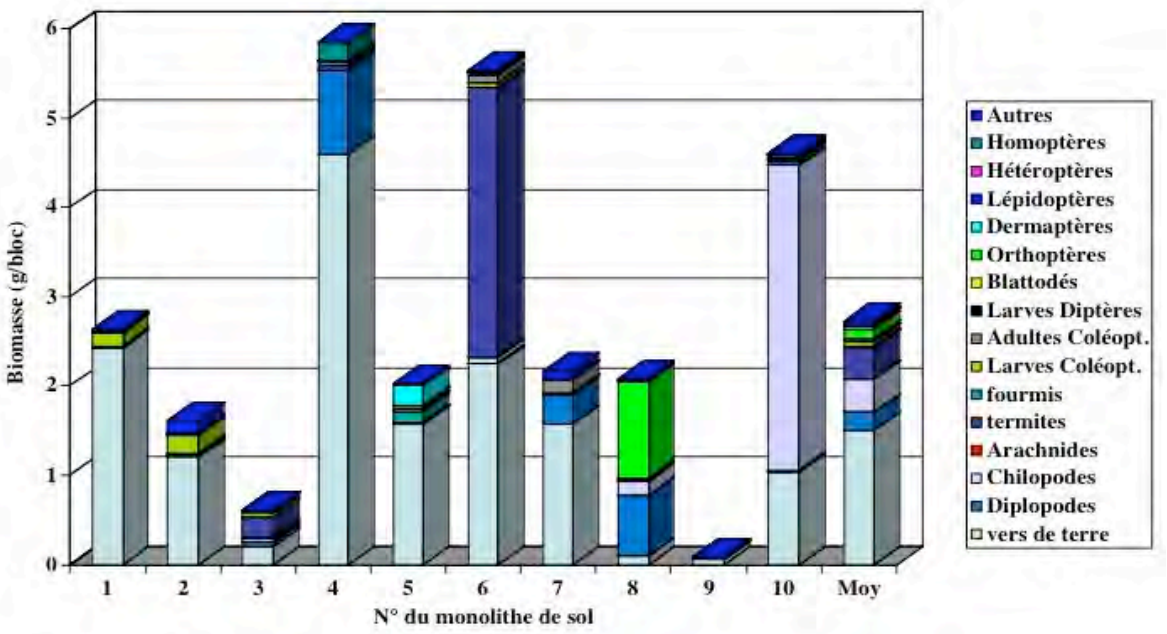


Figure 7 : Variabilité spatiale des biomasses de faune du sol (g/monolithe), sur chacun des 10 points d'échantillonnage espacés de 5 m le long d'un transect (forêt, Inde du Sud, octobre 1991). La valeur moyenne (Moy) est également présentée.

La distribution horizontale des vers de terre, complexe et structurée à différentes échelles spatiales a fait l'objet de nombreuses études (voir par exemple Rossi, 2003a, 2003b, 2003c). Les études utilisant la géostatistique (et le krigeage) ont montré que les organismes du sol (vers de terre en particulier), se répartissent en « taches » de taille plus ou moins grande, où les densités (ou les biomasses) sont élevées, séparées par des zones où les valeurs sont beaucoup plus faibles (Figure 8).

Figure 8 : Carte krigée des densités de vers de terre dans une prairie en Martinique indiquant les taches riches en vers de terre et les taches pauvres en vers de terre (Chevallier, Blanchart & Rossi, données non publiées, 1995). La parcelle mesure 0,3 ha.

Les raisons de cette distribution spatiale « en taches » des vers de terre ne sont pas encore complètement connues : les relations entre propriétés physiques, chimiques ou physico-chimiques du sol et vers de terre ne sont pas toujours évidentes ; il existe certainement aussi, à côté de ces causes abiotiques, des causes biotiques (prédation, compétition…). Ce thème sera discuté plus loin, les relations entre structure du sol et vers de terre pouvant, en partie, expliquer cette distribution.

III.e. Impact des modes de gestion des terres

Des études menées aussi bien en zone tempérée qu'en zone tropicale ont montré depuis plusieurs années déjà que la faune était sensible aux pratiques agricoles : type, profondeur et fréquence du travail du sol, doses et fréquences d'application d'engrais ou de pesticides, existence ou non de rotations culturales, pratique de monocultures ou de cultures associées, épandage ou non de matières organiques… Nos études ont permis de montrer comment la macrofaune répondait à la mise en culture des sols et aux diverses pratiques, conventionnelles ou alternatives, utilisées ou testées en zone tropicale.

III.e.i. Macrofaune et travail du sol

Le travail du sol (profondeur, type d'outils, fréquence de passages) influence profondément la macrofaune du sol. Deux études menées à la Martinique dans le but de tester l'effet unique du travail du sol sur différentes propriétés édaphiques ont permis de mettre en évidence l'impact important de la profondeur de travail du sol sur les peuplements de macrofaune en général et des vers de terre en particulier. Ainsi, les biomasses de vers de terre dans les vertisols sont beaucoup plus importantes sous cultures maraîchères travaillées superficiellement (TS, bêchage à 10 cm) que sous cultures maraîchères travaillées conventionnellement (LC, labour à 40 cm) (Fig. 9). Ce travail a été une partie de la thèse de J.F. Ndandou (1998), que j'ai co-dirigée.

C'est aussi le cas lors de la mise en place d'une culture d'agrumes (lime), sur une ancienne culture d'agrumes, sur un sol brun-rouille à halloysite, selon deux types de travail du sol, l'un conventionnel (LC, labour à 60 cm) et l'autre superficiel (TS, bêchage à 30 cm) ; les densités de macrofaune sont beaucoup plus élevées pour TS que pour LC (Fig. 10).

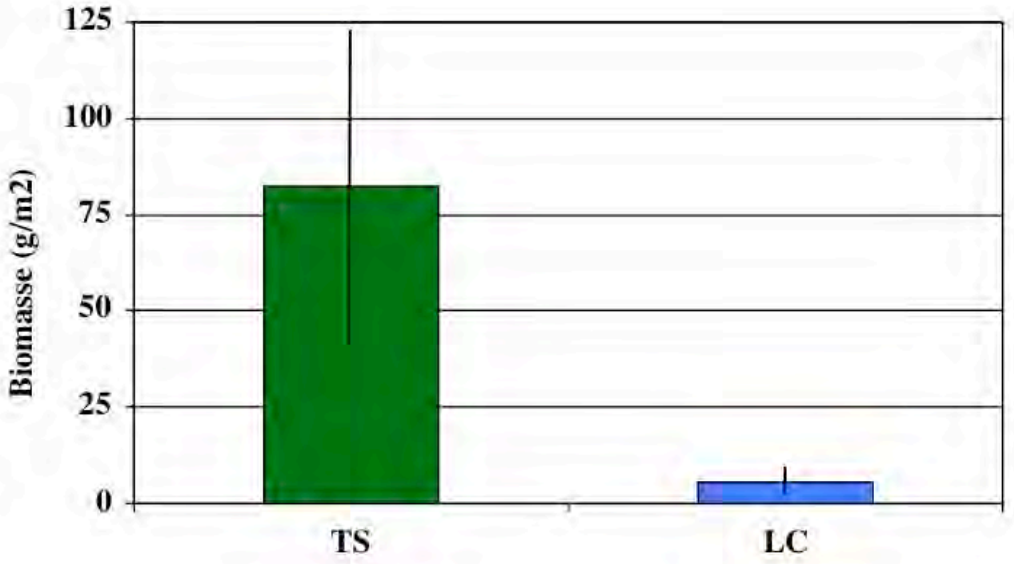


Figure 9 : Biomasse de vers de terre (moyenne et écart-types, n=5) sous cultures maraîchères (melon), en Martinique, sur vertisol, en fonction de deux types de travail du sol : LC = travail conventionnel (labour à 40 cm + reprises), TS : travail superficiel (machine à bêcher à 10 cm) [18].

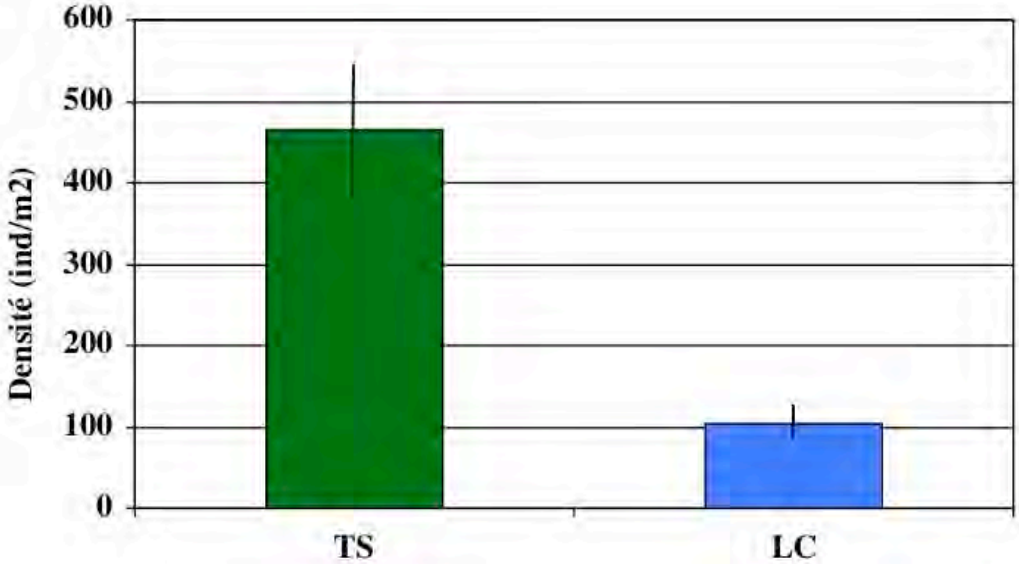


Figure 10 : Densité de macrofaune du sol (moyenne et écart-types, n=10) sous cultures d'agrumes, en Martinique, sur sol brun-rouille à halloysite, en fonction de deux types de travail du sol : LC = travail conventionnel (sous-solage à 0,8-1 m + labour à 60 cm), TS : travail superficiel (machine à bêcher à 30 cm).

Le labour affecte considérablement la macrofaune du sol, et notamment les vers de terre, très sensibles à une action mécanique externe. Les différences observées ne s'expliquent pourtant pas seulement par le seul effet mécanique mais aussi par un effet nutritionnel induit par le

labour. En effet, le labour, en mélangeant les horizons de surface avec ceux de profondeur conduit à une forte diminution des teneurs en matière organique ce qui peut limiter la croissance des vers de terre (Cf. Chapitre V.a.).

III.e.ii. Macrofaune et plantes de couverture

Au Bénin, la pression démographique pousse les chercheurs à trouver des solutions permettant d'augmenter la production agricole. Dans le sud du Bénin (sur les Terres de Barre), des alternatives à la culture du maïs sont recherchées, et divers essais ont été menés, notamment l'utilisation de plantes de couverture légumineuses (*Mucuna pruriens*, var. *utilis*), en culture intercalaire. Les parcelles ont été mises en place en 1988 ; les traitements étudiés sont (i) une culture traditionnelle pure de maïs (témoin, parcelle T), (ii) une culture pure de maïs avec apport de 200 kg/ha d'engrais minéral (l5/l5/l5) et de 100kg/ha d'urée par an (parcelle NPK) et (iii) une association maïs-mucuna chaque année. Après 11 ans, les différences entre parcelles sont importantes que ce soit pour les densités ou les biomasses de macrofaune (Figure 11). La macrofaune est près de deux fois plus abondante sous Mucuna qu'en absence de Mucuna, les densités de vers de terre sont même près de 5 fois supérieures sous Mucuna que dans le traitement témoin. En revanche, les fourmis sont moins abondantes sous Mucuna que dans les deux autres traitements. La présence de Mucuna dans la culture de maïs modifie donc un certain nombre de paramètres édaphiques dont la faune du sol.

III.e.iii. Macrofaune et SCV

Les systèmes en semis direct sous couverture végétale (SCV) se sont considérablement développés ces dernières années dans le monde tropical. Principalement développé à l'origine aux Etats-Unis pour contrer l'érosion (Dust Bowl), ce système a rapidement gagné d'autres pays : le Brésil (14,3 Mha), l'Argentine (11,7 Mha), l'Australie (8,8 Mha) pour l'année 2001. On estime aujourd'hui (2001) que 63 Mha sont cultivés selon cette technique dans le monde.
Les SCV se définissent principalement par (Raunet & Séguy, 1998):

- un travail minimal du sol,
- l'insertion d'une jachère ou d'une culture secondaire pour le maintien de la fertilité (couvert végétal),
- l'implantation de(s) culture(s) principale(s) dans les résidus de jachère et de récolte.

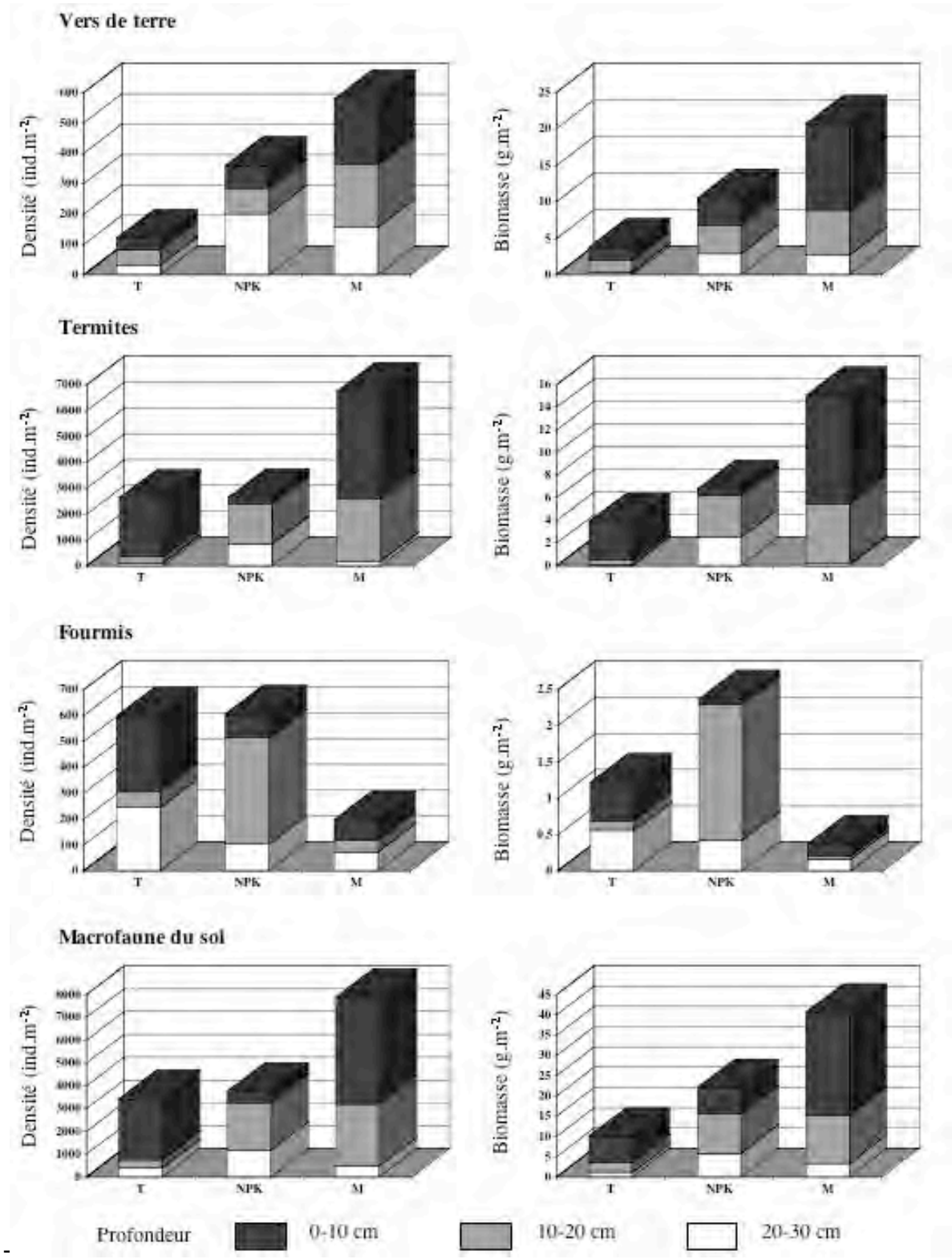
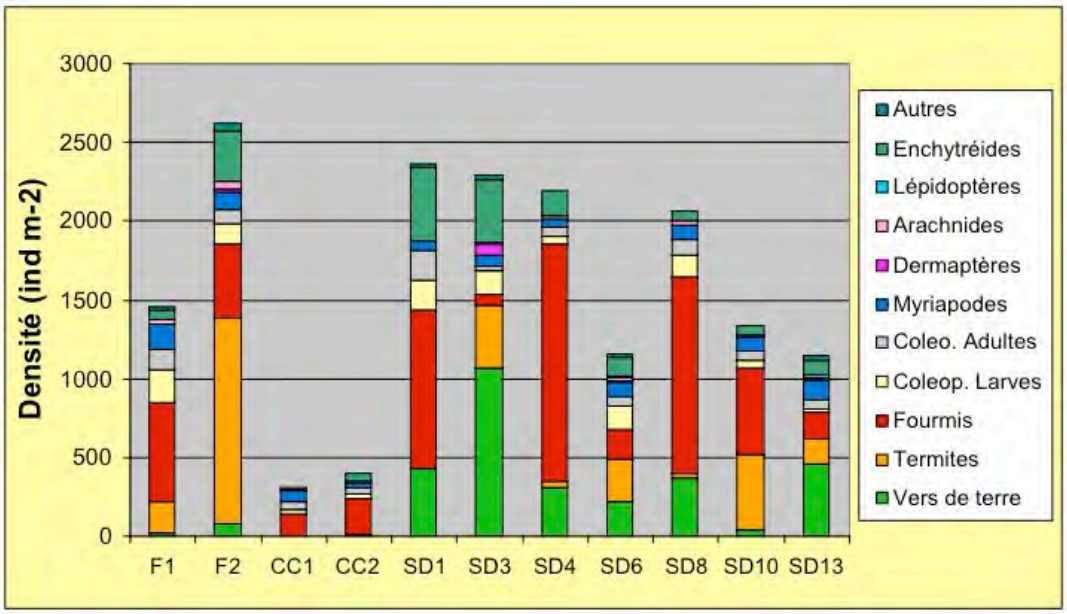
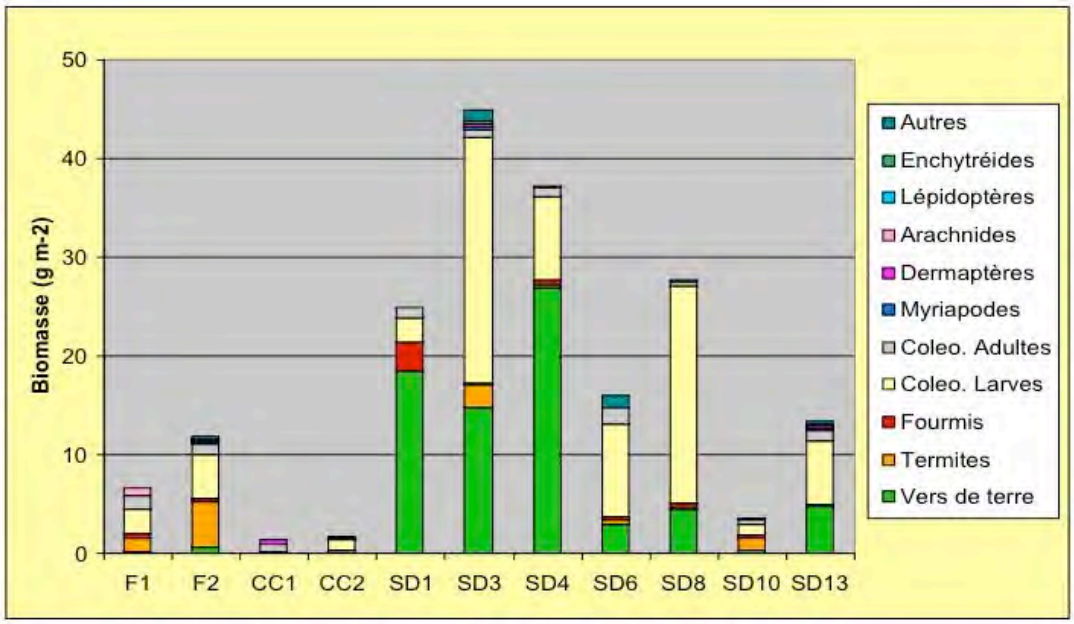


Figure 11 : Densité (ind/m²) et biomasse (g/m²) moyennes de certains groupes de faune du sol, ou de la macrofaune totale, dans différents système de culture de maïs, et pour différentes profondeurs du sol. Légende : T = traitement témoin (culture de maïs), NPK = culture de maïs avec engrais minéral, M = culture de maïs en association avec Mucuna pruriens [97].

On peut distinguer deux types de SCV : les systèmes à couvertures mortes où le paillage est produit *in situ*, en intercalaire ou importé, les systèmes à couvertures vivantes caractérisés par la présence d'une plante de couverture se développant pendant ou après le cycle de la culture.
Dans les zones tropicales, le SCV se rencontre principalement dans le Centre du Brésil, dans la région des Cerrados où 4 Mha étaient cultivés en 2001/2002. Différentes études ont été menées dans cette région, notamment par le CIRAD, dans le but de comprendre le fonctionnement des sols sous SCV par rapport aux techniques conventionnelles faisant intervenir le labour. Des échantillonnages de macrofaune du sol ont été réalisés dans différentes exploitations de deux régions : région de Santa Helena de Goias et Rio Verde (toutes les deux dans l'Etat de Goias). Dans les deux cas, le sol est un sol ferrallitique. Les principales cultures sont le soja, le haricot, le riz et le maïs, principalement sous couverture morte. La faune a été échantillonnée sous forêt (végétation « naturelle » de référence), dans des systèmes labourés et dans des systèmes SCV d'âges croissants (chronoséquences de 1 à 13 ans de SCV) (Figures 12 et 13) [98].
Les résultats recueillis à Santa Helena montrent de façon significative que les densités de macrofaune du sol sont très faibles sous cultures conventionnelles si on les compare à celles observées sous forêts (Figure 12). Dans les cultures conventionnelles, les vers de terre et les termites sont absents. La mise en place de SCV modifie rapidement les peuplements. Au bout d'un an de SCV, les densités sont très élevées, du même ordre de grandeur que celles observées sous forêts. En revanche, les fourmis dominent nettement et les peuplements de vers de terre sont significativement plus abondants. Les densités restent élevées dans les SCV d'âges croissants, même si une diminution est observée dans les SCV d'âge supérieur à 10 ans.
Les biomasses suivent un schéma assez semblable à celui des densités : les biomasses mesurées sous cultures conventionnelles sont très faibles tandis que la mise en place du SCV conduit rapidement à une forte augmentation de la biomasse, notamment pour les vers de terre et les larves de Coléoptères (« vers blancs »), groupes nettement dominants en terme de biomasse. Pour les biomasses, comme pour les densités, on observe une diminution (significative pour les biomasses) avec l'âge du SCV.



A

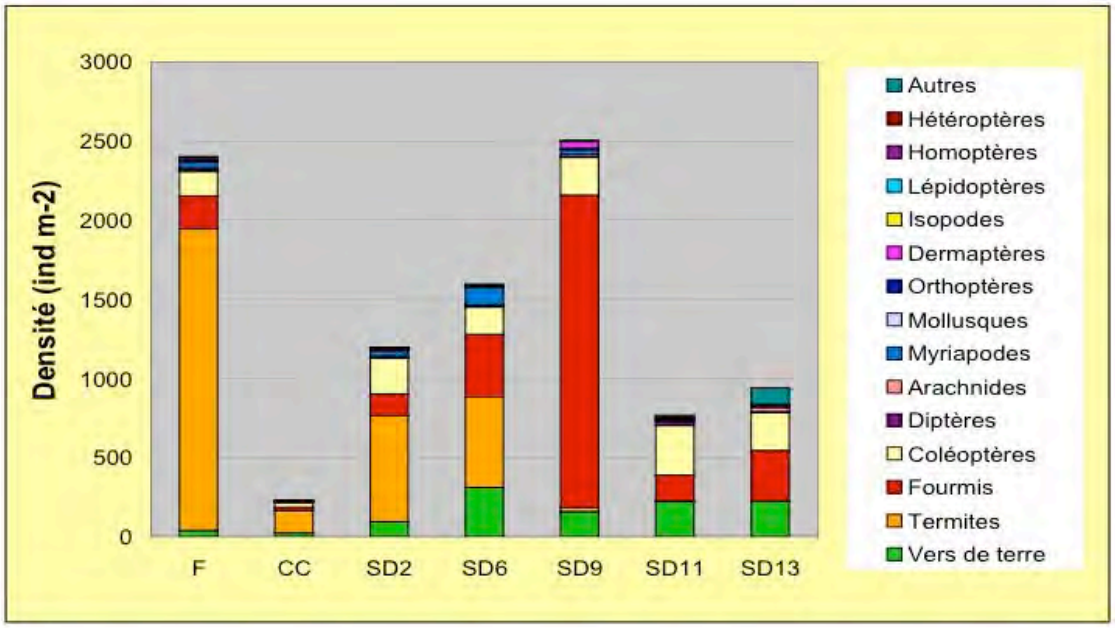


B

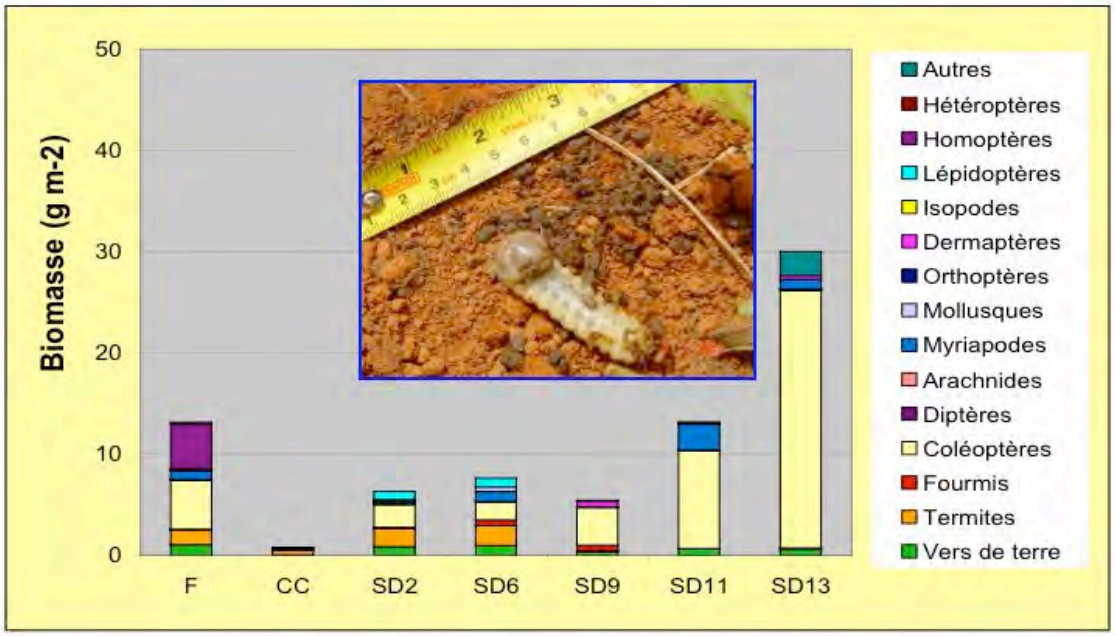
Figure 12 : Densité (ind/m^2) (Figure 12A) et biomasse (g/m^2) (Figure 12B) moyennes de macrofaune du sol dans différents écosystèmes de la région de Santa Helena de Goias (Etat de Goias, Brésil). Légende : F = forêt, CC = culture conventionnelle (labour), SD = culture en SCV. Le chiffre après F et CC indique des répétitions, le chiffre après SD indique l'âge de la pratique du semis direct [98].

A Rio Verde, les résultats sont sensiblement similaires, avec des valeurs de densités et de biomasses très faibles sous labour et plus élevées sous SCV (Figure 13). Les peuplements sous SCV sont notamment marqués par des densités de vers de terre plus élevées que sous labour. Enfin, les densités sont aussi plus faibles pour les SCV d'âge supérieur à 10 ans. À l'inverse, dans cette situation, les biomasses augmentent avec l'âge du SCV et ce sont les

larves de Coléoptères (« vers blancs ») qui sont responsables de cette augmentation. Bien que les densités de ces larves soient relativement constantes avec l'âge du SCV, la taille (et donc le poids) de ces larves augmente de façon importante avec l'âge du SCV.



A



B

Figure 13: Densité (ind/m^2) (Figure 13A) et biomasse (g/m^2) (Figure 13B) moyennes de macrofaune du sol dans différents écosystèmes de la région de Rio Verde (Etat de Goias, Brésil). Légende : cf. figure 13. Photo (M. Bernoux) d'un « ver blanc » responsable des augmentations de biomasse avec l'âge du SCV [98].

III.e.iv. Macrofaune et pâturages

Les zones herbeuses, pâturées, occupent de grandes surfaces en milieu tropical ; c'est le cas notamment au Brésil (Amazonie et région des Cerrados), en Inde et aux Antilles, régions dans lesquelles nous avons effectué des inventaires de macrofaune. Au Brésil, la dégradation des pâturages marquée par un envahissement des adventices et l'abandon des pâturages explique en partie la déforestation importante dans ce pays. Les raisons de cette dégradation sont encore mal comprises malgré les efforts de la recherche. Aux Antilles, l'installation de prairies irriguées et fertilisées semble au contraire un moyen de réhabiliter les sols dégradés par des cultures maraîchères intensives.

En Amazonie brésilienne (région de Manaus), la macrofaune du sol a été échantillonnée dans divers systèmes et notamment sous pâturages. Les résultats (détaillés dans la thèse d'Eleusa Barros –1999 - que j'ai co-dirigée) montrent que sous pâturages, les peuplements de vers de terre se développent rapidement (Figure 14). Après 2 ans de pâturage, la biomasse de vers de terre est plus de 20 fois supérieure à celle qui est observée sous forêt. De plus le peuplement est constitué d'une seule espèce de vers de terre (*Pontoscolex corethrurus*, espèce pérégrine). Si les biomasses et les densités sont élevées sous pâturages, en revanche, la diversité dans ces systèmes est extrêmement faible.

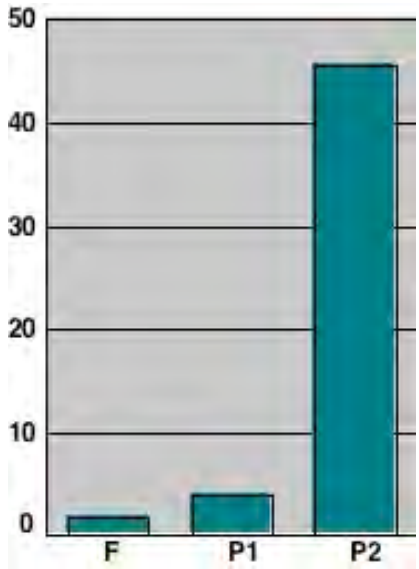


Figure 14 : Biomasse (g/m^2) moyenne de vers de terre dans 3 situations d'Amazonie brésilienne. Légende : F = forêt, P1 = pâturage d'un an, P2 = pâturage de 2 ans [20].

Aux Antilles, des inventaires de vers de terre ont été réalisés dans différents types d'agrosystèmes sur vertisol (Fig. 15).

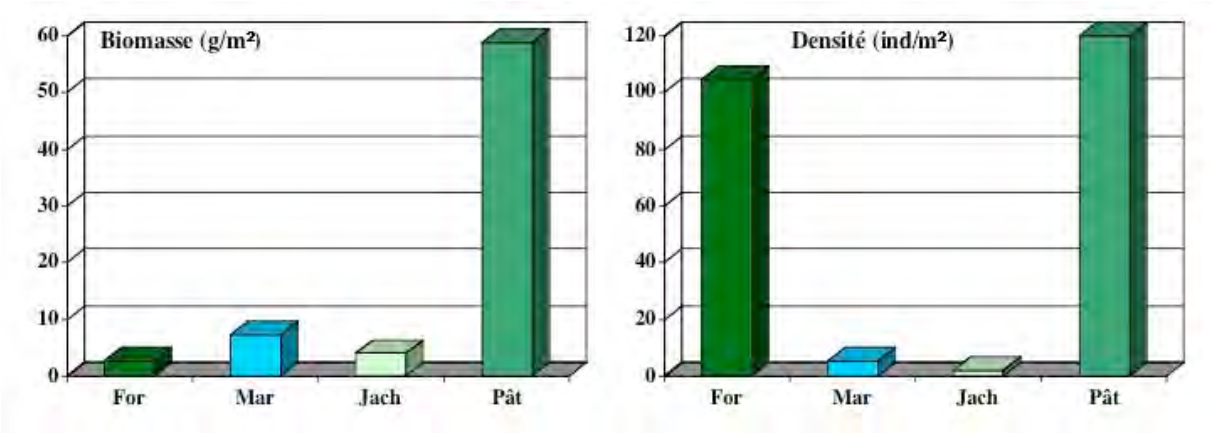


Figure 15 : Biomasse (g/m²) et densité (ind/m²) moyennes de vers de terre dans différents écosystèmes de Martinique, sur vertisol. Légende : For = forêt (secondaire, de 40 ans), Mar = culture maraîchère (melon), Jach = jachère (à Brachiaria decumbens, 20 ans après culture), Pât = pâturage irrigué et fertilisé (à Digitaria decumbens, 17 ans après canne à sucre) [22].

Les densités de vers de terre sont faibles sous culture maraîchère et sous jachère (non irriguée, non fertilisée) ; elles sont significativement plus élevées en forêt et sous prairie intensive, irriguée et fertilisée. Les biomasses sous prairie intensive sont beaucoup plus élevées que celles mesurées dans les autres systèmes. Les peuplements sont composés : d'espèces épigées de petite taille en forêt et de trois espèces dans les agrosystèmes. Néanmoins, sous prairie irriguée, le peuplement est nettement dominé par l'espèce *Polypheretima elongata*.

III.f. Conclusions

Des inventaires de macrofaune du sol ont été réalisés dans diverses régions du monde tropical, sous différents climats, pour différents types de sols et pour différents modes de gestion des terres : plantations d'Hévéa en Côte d'Ivoire (sol ferrallitique), pâturages au Brésil (Cerrados – sols ferrallitiques rouge et jaune, Amazonie – sol ferrallitique jaune), pâturages et plantations d'Acacia en Inde (Ghâts Occidentaux - sol ferrallitique), pâturages et cultures maraîchères à la Martinique (vertisol), arboriculture fruitière en Martinique (sol brun-rouille à halloysite), cultures de maïs associant plantes de couverture au Bénin (sol ferrallitique), SCV au Brésil et à Madagascar (sols ferrallitiques).

Ces inventaires ont permis de montrer que la macrofaune est profondément affectée par la perturbation des écosystèmes naturels et leur transformation en agrosystèmes :

• dans les systèmes naturels sub-humides à humides ou en saison des pluies, les vers de terre et les larves de Coléoptères dominent, en biomasse, les peuplements alors que les termites et les fourmis dominent en densité (ex: forêts en Inde, au Brésil, en Côte d'Ivoire, savanes de Lamto) ;

• dans les milieux plus secs ou en saison sèche, les vers de terre se raréfient dans les peuplements tandis que les termites et les fourmis deviennent prédominants (ex : Cerrados) ;

• les systèmes naturels présentent une diversité élevée (en nombre de groupes taxonomiques) mais des biomasses relativement faibles par rapport à certains systèmes anthropisés (certaines prairies irriguées, SCV) ;

• les moindres perturbations des systèmes naturels entraînent des modifications dans les peuplements de faune du sol (ex : forêts légèrement perturbées par rapport aux forêts primaires non perturbées en Inde du Sud) ;

• les systèmes intensivement cultivés et sans restitution organique présentent des peuplements caractérisés par de très faibles densités, biomasses et diversité. À la Martinique, la majorité des situations maraîchères intensivement cultivées se caractérisent par l'absence de vers de terre ; c'est le cas aussi des situations « conventionnelles » au Brésil ;

• les systèmes agrosylviculturaux présentent des peuplements relativement riches et diversifiés (plantations d'Hévéa en Côte d'Ivoire, systèmes agrosilviculturaux en Amazonie) ;

• les pâturages présentent généralement des peuplements riches en densité et en biomasse mais très pauvres sur le plan de la diversité. Une ou deux espèces de vers de terre occupent généralement la quasi-totalité du peuplement (*Pontoscolex corethrurus* en Amazonie, *Polypheretima elongata* en Martinique ; pour cette dernière espèce, la population peut atteindre, en biomasse, la valeur de 4 tonnes.ha^{-1}).

Les paramètres pédologiques, qu'il s'agisse des stocks de matière organique ou des propriétés physiques sont également modifiés par la mise en culture. Étant données les interactions existant entre ces 3 composantes (organismes, matière organique, structure, Cf. Figure 1), on peut penser que l'impact causé par la perturbation sur l'une des 3 composantes du sol va affecter les 2 autres composantes. Ainsi, les modifications de la matière organique (teneurs, formes) après déforestation ou les changements de spectre poral après compaction affectent probablement le développement et la structure des peuplements de faune, ce qui, en retour, va affecter les autres composantes.

Dans les chapitres suivants, nous verrons comment la macrofaune (et notamment les vers de terre) est affectée par certains paramètres du sol et comment, en retour, elle détermine certaines propriétés du sol.

IV. Vers de terre et propriétés physiques des sols

IV.a. Cadre de ces études

La structure du sol définit l'arrangement spatial des constituants solides et des vides associés. De cette structure et de sa stabilité, dépendent les propriétés physiques du sol, et en grande partie, les activités microbiologiques. La **conservation de la structure du sol** est donc cruciale pour le fonctionnement des écosystèmes. Ainsi, dans les zones anthropisées, la dégradation de la structure du sol fréquemment observée est associée à d'importantes diminutions de productivité végétale et à une augmentation de l'incidence des évènements érosifs. Les mécanismes de cette dégradation et les possibilités de restaurer les propriétés physiques (stabilité structurale, érodibilité du sol, disponibilité de l'eau pour les plantes) ont fait l'objet de nombreuses recherches. Depuis le milieu des années 1980, et notamment en zone tropicale, on s'est beaucoup intéressé au rôle des **processus biologiques** dans la maintenance (ou durabilité) de la fertilité du sol et notamment de leur rôle vis-à-vis de la structure et des propriétés physiques des sols.

Mes principales activités de recherche ont concerné l'étude du rôle des vers de terre sur la structure et certaines propriétés physiques des sols tropicaux. Elles ont été menées principalement sur deux sites : les savanes de Lamto en Côte d'Ivoire (au cours de ma thèse de doctorat) et les agrosystèmes sur vertisol aux Antilles (Martinique notamment). Enfin, plusieurs missions au Brésil (Amazonie) m'ont permis de collaborer à la thèse d'Eleusa Barros sur le même sujet d'étude.

Les résultats présentés ici concernent donc l'effet des vers de terre sur les propriétés physiques de sols à argile 1:1 (sols ferrugineux et ferrallitiques) et de sols à argile 2:1 (vertisol). Après avoir présenté les sites d'étude, ces résultats seront développés selon le plan suivant :

- quantités de terre consommée par les vers de terre
- caractéristiques physiques des turricules de vers de terre
- formation de la structure du sol par les vers de terre
- conservation de la structure du sol par les vers de terre

IV.b. Sites d'étude

* Savane de Lamto (Côte d'Ivoire)

La savane de Lamto est une savane humide pré-forestière située au Sud du "V" Baoulé en Côte d'Ivoire (5°02' ouest, 6°13' nord, altitude 105 m). Le sol est un sol ferrugineux sableux (80% de particules > 50 μm, 10% de particules argileuses de type kaolinite), faible en matière organique (moins de 10 mgC/g sol dans l'horizon 0-10 cm), présentant une faible CEC (3,6 cmol(+)/kg) et présentant une structure macro-agrégée dans les 20 premiers centimètres. La température annuelle moyenne est d'environ 28°C et la pluviométrie annuelle est en moyenne de 1200 mm. Les vers de terre étudiés ici sont des vers endogés, géophages : *Millsonia anomala* (ver de taille moyenne, 20 cm de long, 6 g au stade adulte, de la famille des Megascolecidae) et *Chuniodrilus zielae* et *Stuhlmannia porifera* (filiformes, 7 cm de long, 0,25 g de la famille des Eudrilidae).

* Agrosystèmes dans le sud-est de la Martinique

Le sud-est de la Martinique était essentiellement cultivé en canne à sucre depuis près de 3 siècles. Au début des années 80 et suite à la mis en place d'un périmètre irrigué, la canne à sucre a rapidement été remplacée par des cultures maraîchères et des prairies extensives (appelées « savanes »). Nos études ont été réalisées au sein d'une station expérimentale dépendant du Conseil Général de la Martinique (Station d'Essais en Cultures Irriguées, 60°53' ouest, 41°25' nord, altitude 20 m). Le climat est de type tropical humide (température annuelle moyenne 26-28°C, pluviométrie annuelle moyenne 1400 mm avec une saison sèche marquée de janvier à mai). Les sols sont des vertisols calco-magnéso-sodiques développés sur andésites ; ces sols sont argileux (environ 60% d'argiles de type smectite) et peu profonds (60 à 80 cm en moyenne). La CEC varie entre 35 et 40 cmol(+)/kg (calcium échangeable : 18 cmol(+)/kg, magnésium échangeable : 13 cmol(+)/kg, sodium échangeable : 1,6 en surface à 5,3 cmol(+)/kg en profondeur, potassium échangeable : 1,5 en surface à 0,4 cmol(+)/kg en profondeur). Le pH (eau) est compris entre 6 et 6,5. Ces sols ne contiennent pas de carbonates.

IV.c. Consommation de sol et production de turricules par les vers de terre

Les mesures de consommation de sol par les vers de terre ne peuvent être réalisées qu'en conditions de laboratoire. En effet, le recensement des turricules rejetés à la surface du sol par

les vers de terre ne donne qu'une faible indication de la quantité totale de sol consommé par une population ou un peuplement. Lavelle (1978) a ainsi montré que dans les savanes de Lamto, les turricules de surface ne représentent que quelques pourcents de la quantité de sol réellement consommé par les vers de terre, étant donné que la majorité des turricules sont rejetés à l'intérieur du sol. Ceci est particulièrement vrai pour les endogés. La technique généralement utilisée pour connaître la quantité de sol ingéré par les vers de terre consiste à effectuer des élevages de vers de terre sur des sols tamisés (à 2 mm généralement, en fonction de la taille des vers de terre) et à suivre l'apparition d'agrégats supérieurs à la taille des agrégats initiaux (séparation par simple tamisage à sec). Ces agrégats sont des turricules de vers de terre aisément reconnaissables à leur aspect physique. Cette méthode permet de connaître la production journalière de turricules pour un individu, une population ou un peuplement donné. Elle permet aussi de connaître les variations de consommation pour un individu au cours de sa croissance.

Les données de la littérature montrent que les vers de terre consomment chaque jour entre 1 et 35 fois leur propre poids de sol ; les valeurs variant pour une même espèce et étant plus élevées pour les juvéniles que pour les adultes. Ainsi, les juvéniles de *Millsonia anomala* (savanes de Lamto) consomment jusqu'à 35 fois leur poids en terre, tandis que les adultes consomment environ 4 fois leur poids en terre (Figure 16). La littérature montre également que les vers endogés tropicaux consomment généralement plus de sol que les endogés tempérés.

Ces mesures ont permis à Lavelle (1978) d'estimer la production annuelle de turricules par le peuplement de vers de terre dans les savanes de Lamto à 1200 Mg/ha (pour une biomasse de vers de terre de 500 kg/ha). Suivant cette démarche, nous avons estimé la production annuelle de turricules, par l'espèce *Polypheretima elongata*, dans une prairie âgée de Martinique à 1280 Mg/ha (pour une biomasse de vers de terre de 1000 kg/ha). Ces données sont à mettre en relation avec les valeurs de production de turricules estimées à 2600 Mg/ha/an en Thaïlande (Watanabe & Ruaysoognern, 1984) et à 366 Mg/ha en zone tempérée (Bouché & Al-Addan, 1997).

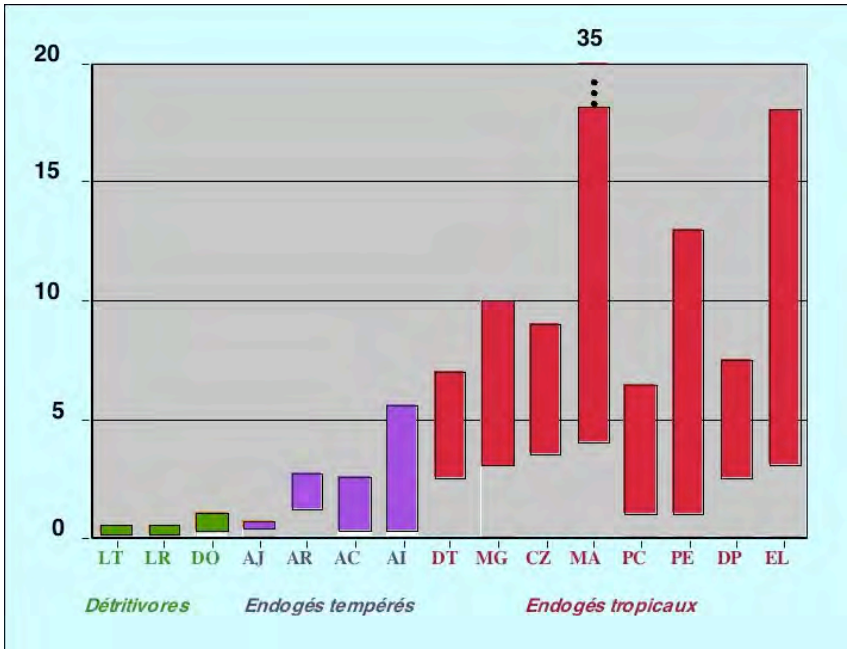


Figure 16 : Production journalière de turricules (en g de sol / g de vers de terre) pour différentes espèces de vers de terre tempérés et tropicaux (Synthèse présentée par Blanchart et al. [87]). En abscisse, les lettres représentent les initiales des espèces étudiées, ex : MA = Millsonia anomala.

Ces valeurs indiquent qu'en zone tropicale humide, avec des peuplements de vers de terre dont les biomasses sont de l'ordre de 500 à 1000 kg/ha, la quantité de sol ingéré par les vers de terre, et rejeté sous forme de turricules est de l'ordre de 1000 à 2000 Mg/ha/an, ce qui représente (en prenant une densité apparente de 1,2 pour le sol) une couche de sol équivalente à 8-16 cm passant chaque année, par hectare, dans le tube digestif des vers de terre

IV.d. Caractéristiques physiques des turricules de vers de terre

IV.d.i. Modifications de la structure du sol dans le tube digestif

Le sol ingéré par les vers de terre subit de nombreuses transformations dans leur tube digestif. La macrostructure du sol est fortement modifiée par un brassage intense et une forte addition d'eau. Une modification de la microstructure a également été rapportée ; les particules étant dispersées et réorganisées autour de colonies bactériennes ou de particules organiques (Barois et al., 1993 ; Chapuis et al., 1996). À l'inverse, dans les oxisols (latosols) argileux d'Amazonie, le sol passant dans le tube digestif des vers de terre n'est pas complètement désagrégé ; les microagrégats de 10 à 100 μm de diamètre n'étant ni détruits, ni dispersés (Fontaine, 1994).

Au moment de leur rejet, les turricules de vers de terre se caractérisent par une forte teneur en eau (Barois & Lavelle, 1986). Bien qu'une partie de l'eau soit réabsorbée dans la partie postérieure de l'intestin, les turricules sont humides et pâteux au moment de leur excrétion. Ainsi, les turricules de *Millsonia anomala* ont une teneur en eau de 29%, soit 2,5 fois la teneur en eau à la capacité au champ du sol ; les turricules de *Polypheretima elongata*, dans les vertisols de Martinique, ont une teneur en eau supérieure à 70% alors que la capacité au champ du sol est de 40% [61].

IV.d.ii. Granulométrie des turricules

Les turricules de vers de terre sont également caractérisés par une granulométrie plus fine que celle du sol, et ce d'autant plus que le sol est sableux ou que l'espèce ou l'individu est de petite taille [59] (Figure 17).

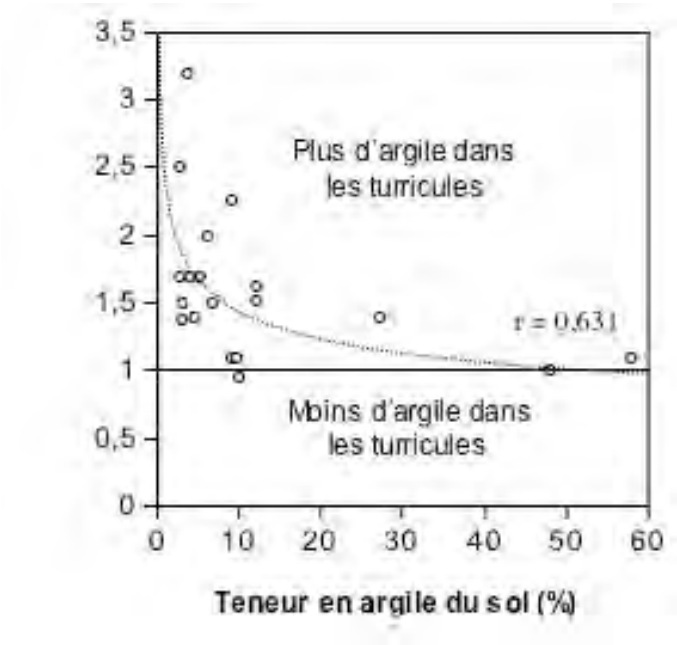


Figure 17 : Rapport entre la teneur en argile dans les turricules et la teneur en argile dans le sol, en fonction de la teneur en argile du sol (synthèse pour différentes espèces de vers de terre, pour différents milieux) [59].

IV.d.iii. Densité apparente et porosité des turricules

La densité apparente des turricules de vers de terre a été mesurée pour quelques espèces et notamment pour *Millsonia anomala*. Nous avons montré que cette densité est élevée et comprise entre 1,8 et 2,0 Mg/m^3, valeur supérieure à la densité apparente du sol de Lamto

voisine de 1,45 Mg/m^3 dans les premiers centimètres de sol [7]. Le volume poral total de ces bio-agrégats est de 0,13 m^3/Mg, ce qui représente une porosité totale de 25%, principalement dans la classe 18-25 μm comme nous avons pu le mesurer en porosimétrie à mercure. Les turricules de *M. anomala* ont vraisemblablement une meilleure capacité de rétention en eau que le sol, en raison de l'abondance de ces pores de petite taille et ceci malgré une relativement faible porosité totale. Ces différences de distribution de taille des pores entre sol et turricules qui ont été rapportées pour de nombreuses espèces varient selon l'espèce (« species specific effect ») et les caractéristiques du sol consommé (« soil specific effet »). Ainsi dans les oxisols (latosols) jaunes argileux d'Amazonie, la différence de distribution de taille de pores entre les turricules de *P. corethrurus* et le sol est principalement marquée pour les pores > 1 μm qui sont absents dans les turricules [56]. Dans les sols à argile gonflante de type vertisol, la densité apparente variant avec la teneur en eau, il est préférable de mesurer le volume spécifique d'air pour appréhender la porosité du sol. Nous avons montré que ce volume était largement supérieur pour les turricules de *P. elongata* élevés sur un sol de prairie riche en matière organique (0,045 ± 0,012 m^3/Mg, n=27) que pour ceux de *P. elongata* élevés sur un sol de culture maraîchère pauvre en matière organique (0,026 ± 0,004 m^3/Mg, n=22) (Figure 18) [61]. La teneur en matière organique des sols semble donc être un facteur déterminant des propriétés physiques des turricules.

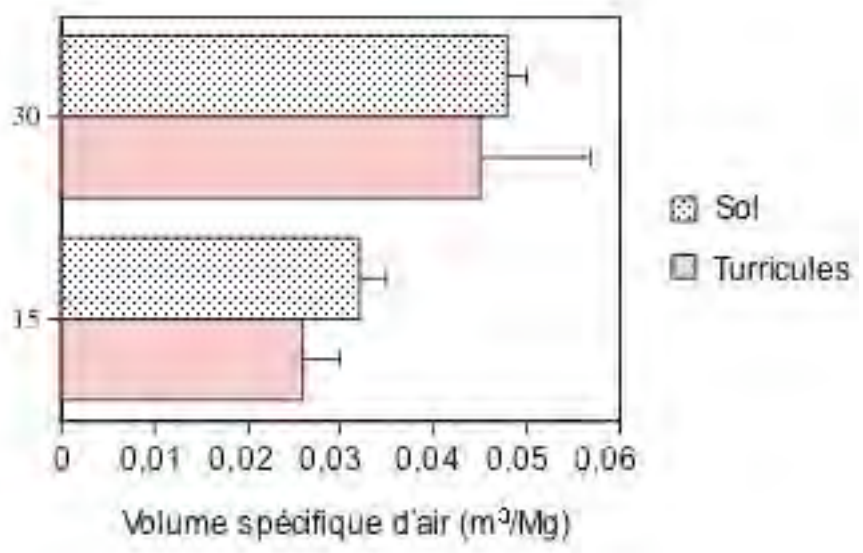


Figure 18 : Volume spécifique d'air du sol et des turricules de Polypheretima elongata élevés soit sur un vertisol sous prairie (30 gC/kg sol), soit sur un vertisol sous culture maraîchère (15 gC/kg sol) (Martinique) (moyenne et écart-type) [61].

Bien que les différences de porosité (volume spécifique d'air) entre sol et turricules (pour une même teneur en matière organique du sol) ne soient pas significatives (Figure 18), Cabidoche et al. [23] ont pu montrer que les turricules de vers de terre présentaient une réduction importante de la porosité structurale d'origine biologique (Actinomycètes vraisemblablement) et de taille 5-10 μm.

IV.d.iv. Stabilité à l'eau et résistance mécanique des turricules

Les turricules de vers de terre, au moment de leur excrétion ont une faible stabilité à l'eau ; ils sont très fragiles et peuvent être facilement dispersés ([2, 61], Shipitalo & Protz, 1988). Ainsi à Lamto, nous avons pu montrer que les turricules « frais » des vers de terre (Megascolecidae et Eurdilidae) ne disparaissaient qu'après une pluie de 18 mm s'ils n'étaient pas protégés par la végétation [2]. Avec le vieillissement des turricules et les alternances dessiccation-réhumectation, les turricules deviennent plus résistants mécaniquement et plus stables à l'eau.
A Lamto, les agrégats > 10 mm recueillis dans des expérimentations mettant en jeu des traitements avec seulement des plantes (*Panicum maximum*) ou seulement des vers de terre (*M. anomala*) présentent des résistances mécaniques très différentes : les agrégats issus des traitements avec vers de terre sont détruits avec des pressions supérieures à 0,6 kg/cm^2 alors qu'une pression de 0,2 kg/cm^2 est suffisante pour détruire les agrégats issus de traitements avec plantes [2].
Les mécanismes de stabilisation des turricules ont fait l'objet de beaucoup d'études que nous ne détaillerons pas ici (Shipitalo & Protz, 1989 ; Marinissen & Dexter, 1990, Zhang & Schrader, 1993).

IV.d.v. Présence d'un cortex autour des turricules

Les observations de lames minces de sol contenant des turricules montre que les turricules sont généralement recouverts (et ainsi séparés du sol environnant) par une couche périphérique sombre, ce qui permet aisément de les repérer [6]. Une étude plus précise de ce « cortex » (pour les turricules de l'espèce *M. anomala*) en microscopie électronique à balayage a permis de montrer que son épaisseur est de 25 μm environ (Figure 19) [7]. Ce cortex est constitué de particules fines et empêche, lors de mesures en porosimétrie au mercure, la pénétration de mercure à de faibles pressions. En revanche, la pression augmentant et une fois le cortex franchi, le mercure pénètre facilement à l'intérieur du

turricule. Le cortex a été mis en évidence pour d'autres espèces de vers de terre et pour des sols plus argileux que ceux de Lamto : *P. corethrurus* au Mexique (Barois et al., 1993) et en Amazonie (Grimaldi, Blanchart & Sarrazin, données non publiées, 1994).

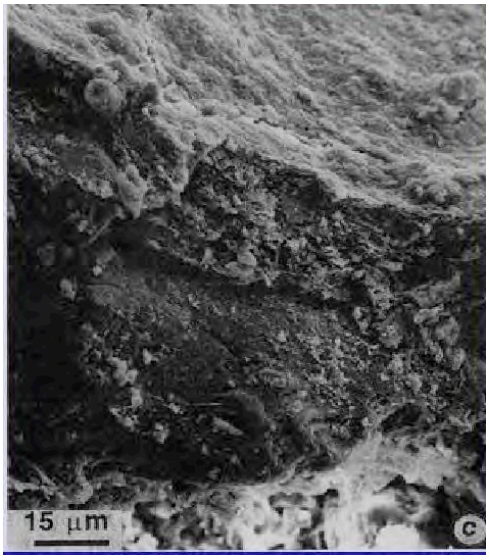


Figure 19 : Cortex recouvrant les turricules de Millsonia anomala (photographie en microscopie électronique à balayage, E. Blanchart) [7].

IV.d.vi. Conclusions

La grande taille, la faible porosité, la stabilité à l'eau et la présence d'un cortex qui caractérisent les turricules de grands vers de terre comme *M. anomala* impliquent vraisemblablement : une faible diffusion d'oxygène, la présence de conditions anoxiques au cœur des turricules, une dénitrification accrue (Elliott et al., 1990) et une protection physique de la matière organique contre la minéralisation (Martin, 1991). Martin & Marinissen (1993) ont mis en exergue l'importance des processus physiques comme régulateurs des processus biologiques. Dans les sols où l'activité des vers de terre est importante, les propriétés physiques (et biologiques) du sol sont grandement influencées par les propriétés des turricules de vers de terre, pour peu que ces turricules conservent leur structure et ne soient pas rapidement désagrégés. À Lamto, la production annuelle de turricules est supérieure à 1200 tonnes de terre sèche par hectare (Lavelle, 1978) ; nous avons pu calculer que la durée de vie moyenne des turricules était d'environ 2 ans dans ces sols [2].

IV.e. Modification et conservation de la structure des sols par les vers de terre. Conséquences sur certaines propriétés physiques des sols

Dans les sols où les vers de terre sont abondants, on peut supposer que leurs activités de consommation de terre (et de rejets de turricules) et de fouissement modifient la structure du sol. Si l'effet des vers de terre des zones tempérées (essentiellement des vers de terre anéciques) a principalement été étudié à travers la formation de biopores (galeries), peu d'études ont été réalisées sur l'effet de peuplements de vers de terre endogés. Différentes études menées sur des sols ferrallitiques et ferrugineux (à argile 1:1, Lamto, Amazonie, Cerrados) et sur des vertisols (à argile 2:1, sud-est Martinique) m'ont permis de préciser les relations de cause à effet existant entre l'activité des vers de terre endogés et la structure observée dans les premiers centimètres de sol.

IV.e.i. Cas des sols à argile 1:1 (sols ferrallitiques et ferrugineux)

Formation de la structure macroagrégée du sol

A Lamto, où le peuplement de vers de terre endogés produit chaque année plus de 1000 Mg de turricules par hectare (Lavelle, 1978), une structure macroagrégée est présente dans les 20 premiers centimètres de sol (50% du sol sous forme d'agrégats > 2 mm et 20% < 400 μm) [6]. Des expériences au champ ont permis de montrer la capacité des vers de terre (*M.anomala* et Eudrilidae) à modifier la structure d'un sol tamisé à 2 millimètres [4, 5, 6] (Figures 20 et 21).

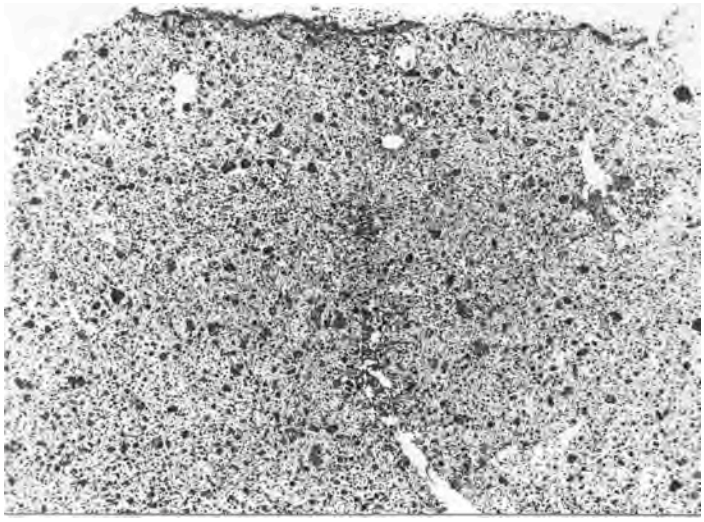


Figure 20 : Lame mince de sol (observée sous UV) montrant la structure d'un sol tamisé à 2 mm, après 30 mois, en absence de vers de terre (hauteur 8 cm) [2].

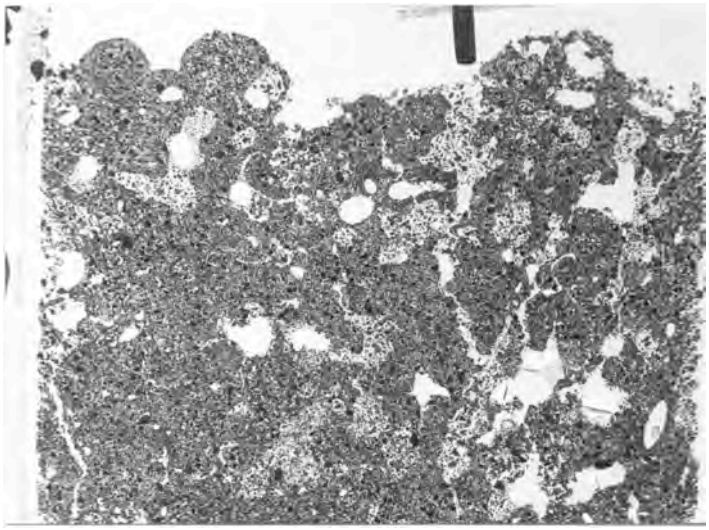


Figure 21 : Lame mince de sol (observée sous UV) montrant la structure d'un sol tamisé à 2 mm et soumis pendant 30 mois à l'activité de M. anomala (hauteur 8 cm) [2].

L'observation de lames minces de sol, faites à partir de cette expérience montre deux structures du sol totalement différentes. En l'absence de vers de terre, la structure est restée particulaire (Figure 20), tandis qu'en présence de vers de terre, la structure est macroagrégée (Figure 21). Nous avons pu mesurer que les turricules de vers de terre, aisément reconnaissables, occupaient 74% de la surface de la lame mince. Au cours de cette expérience, nous avons également pu mettre en évidence la modification d'autres paramètres structuraux du sol sous l'effet des vers de terre *M. anomala* : modification de la densité apparente et modification de la proportion de macroagrégats. C'est notamment dans l'horizon 0-10 cm qu'ont lieu ces modifications. Au bout de 30 mois d'expérience, la densité apparente du sol dans le traitement « avec vers de terre » est de 1,43 Mg/m^3, valeur significativement supérieure à celle observée dans le traitement « sans vers de terre » (1,29 Mg/m^3). Dans le traitement « avec vers de terre », les macroagrégats (> 2 mm) représentent 61% du poids de sol total à la fin de l'expérience, tandis qu'en l'absence de vers de terre, ce pourcentage n'est que de 12%. Une expérience similaire réalisée en microcosmes et mettant en présence, ou non, des plantes (*Panicum maximum*) a permis de montrer que la présence de plantes dans les traitements avec *M. anomala* ne modifiait pas la capacité des vers de terre à modifier la structure du sol et que la seule présence de plantes ne permettait pas de restructurer le sol d'une façon différente d'un traitement sans plantes ni vers de terre (Figure 22).

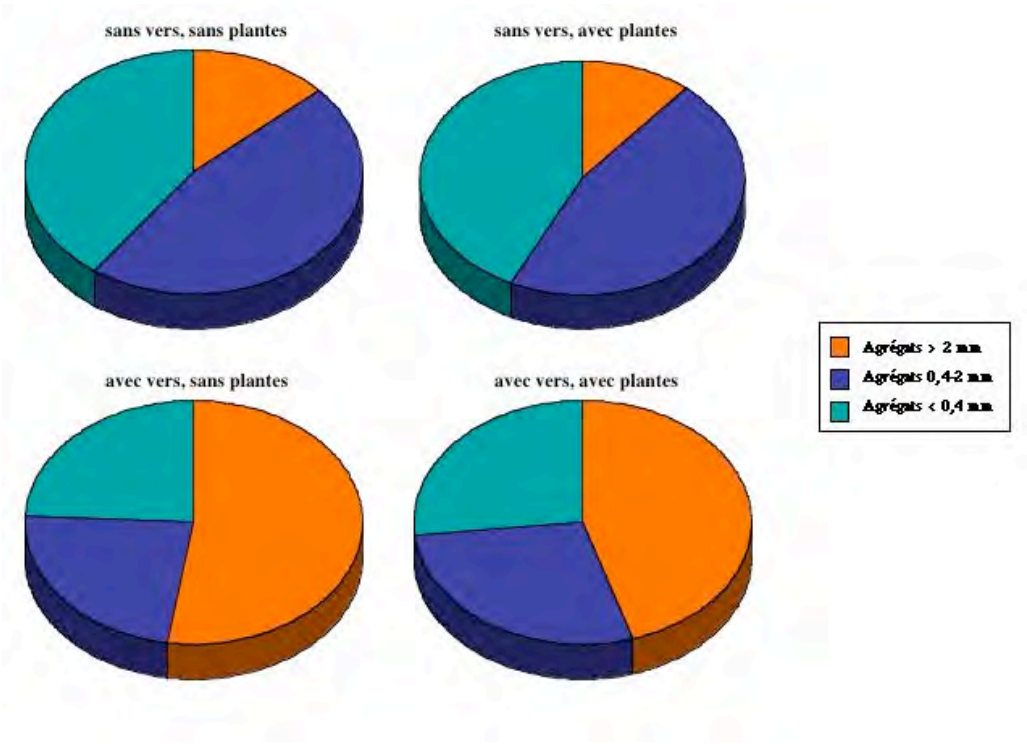


Figure 22 : Pourcentage pondéral de trois classes de tailles d'agrégats dans des traitements avec ou sans vers de terre (M. anomala), avec ou sans plantes (P. maximum), au bout de 75 jours d'expérience en microcosmes (0-10 cm) [2, 5].

Les espèces *C. zielae* et *S. porifera*, petits vers de terre filiformes de la famille des Eudrilidae, ont aussi la capacité à modifier la structure d'un sol tamisé à 2 mm puisqu'au bout de 79 jours d'expérience, le pourcentage pondéral d'agrégats > 2 mm était de 23%, soit plus que dans un traitement sans vers de terre (12%) mais moins que dans les traitements avec *M. anomala* (53%) [4].

Conservation de la structure macroagrégée du sol

Des expériences au champ, en microcosmes, basées sur la manipulation de vers de terre dans des sols non destructurés nous ont permis de comprendre le rôle des vers de terre dans la conservation de la structure macroagrégée du sol de Lamto. Après exclusion des vers de terre de blocs de sol (par immersion dans l'eau), différentes populations de vers de terre ont été réintroduites : (i) absence de vers de terre, (ii) Eudrilidae seuls, (iii) M. anomala seuls et (iv) faune totale (témoin = recolonisation par la faune du sol) [11]. Au bout de 28 mois d'expérience, la structure du sol est différente selon les traitements (Figure 23).

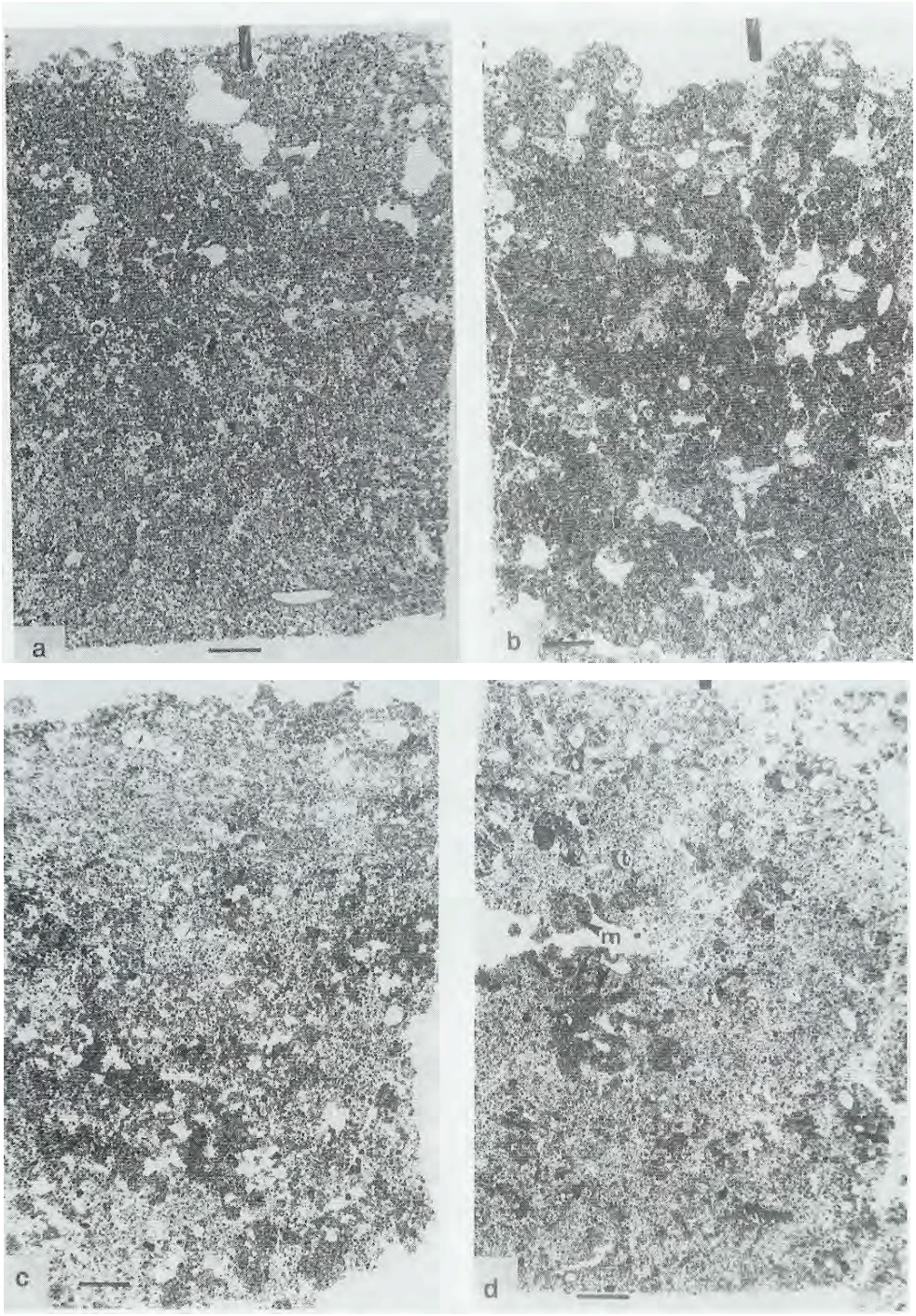


Figure 23 : Lames minces de sol (observées sous UV) montrant la structure d'un sol non destructuré et soumis à l'activité de différentes populations de vers de terre (hauteur 8 cm, durée de l'expérience 30 mois). Légende : a : traitement témoin « faune totale », b : traitement « Millsonia anomala », c : traitement « sans vers de terre », d : traitement « Eudrilidae » [2, 11].

Les lames minces de sol des traitements « *M. anomala* » et « faune totale » présentent des structures relativement similaires entre elles et avec la structure du sol « naturel » : le sol est principalement constitué de turricules compacts de vers de terre de grande taille. En revanche,

dans les traitements sans vers de terre ou avec seulement des Eudrilidae, la structure du sol est fortement modifiée. Celle-ci est constituée d'agrégats de taille beaucoup plus petite, le sol a été désagrégé et les turricules de grande taille, auparavant dominants, ont pour l'essentiel disparu.

Un examen plus approfondi des répartitions pondérales des classes d'agrégats montre que c'est dans le traitement « Eudrilidae » que la modification a été la plus importante avec une diminution relativement importante des agrégats > 2 mm en faveur des agrégats compris entre 0,4 et 2 mm (Figure 24). À l'opposé, le traitement avec *M. anomala* montre une augmentation des agrégats > 2 mm par rapport au sol initial [2, 11].

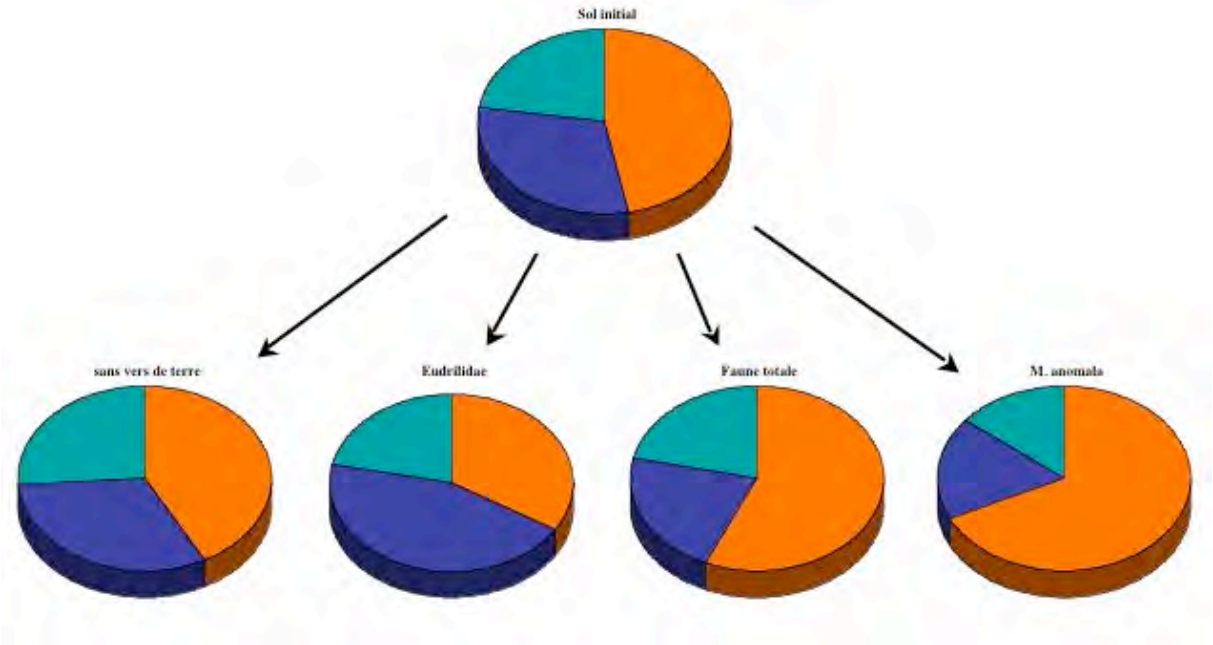


Figure 24 : Pourcentage pondéral de trois classes de tailles d'agrégats dans différents traitements, au bout de 28 mois d'expérience en microcosmes (0-10 cm). Cf. Légende Figure 22 [2, 11].

La densité apparente du sol s'est elle aussi modifiée dans ces traitements, passant d'une valeur initiale proche de 1,4 Mg/m^3 à une valeur moyenne de 1,14 Mg/m^3 dans le traitement sans vers de terre et 1,12 Mg/m^3 dans le traitement avec Eudrilidae. Elle est restée proche de la valeur initiale dans les deux autres traitements. Les études sur lames minces de sol et les mesures en rétractométrie ont permis de montrer que *M. anomala* a un double effet sur la porosité : en fouissant le sol, il augmente la macroporosité (ordre de grandeur du mm), et en rejetant des turricules compacts, il augmente la microporosité (ordre de grandeur 10 μm) et

diminue la mésoporosité (ordre de grandeur 100 μm). La conséquence globale est une diminution de la porosité totale [11].

Les principaux résultats de cette dernière étude (et de l'étude précédente) montrent que :

- les vers de terre de grande taille (comme *M. anomala*) rejettent des turricules de grande taille (2 à 20 mm de diamètre), très compacts. La conséquence de ce rejet est une augmentation de la proportion d'agrégats > 2 mm dans le sol et de la macroposité, et une diminution de la porosité totale (Fig. 25) ;
- les vers de terre de petite taille, filiformes (comme les Eudrilidae) rejettent des petits turricules (0,5 à 2 mm de diamètre) et la conséquence de leur action est une diminution du pourcentage d'agrégats > 2 mm et une augmentation de la porosité totale (Fig. 25).

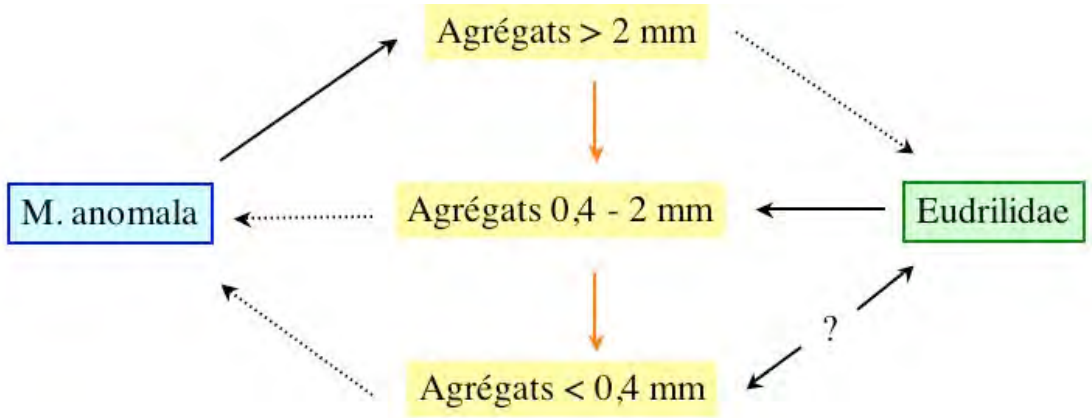


Figure 25 : Régulation de la structure du sol de la savane de Lamto sous l'effet des vers de terre : évolution (disparition et formation) des classes d'agrégats. Flèches pointillées = consommation, flèches pleines = rejet (excrétion), flèches orange = désagrégation physique [2, 11].

Il est ainsi possible de séparer les vers de terre en deux groupes fonctionnels selon leur effet sur la structure du sol : les espèces exerçant le même effet sur la structure du sol que *M. anomala* sont appelées des espèces « **compactantes** » tandis que celles ayant un effet identique à celui des Eudrilidae de Lamto sont appelées des espèces « **décompactantes** » (Fig. 26).

Ainsi, l'agrégation et la porosité totale du sol de Lamto sont principalement déterminées par l'activité antagoniste de ces deux types de vers de terre. On a ainsi pu montrer que la structure

macro-agrégée existant dans les 20 premiers centimètres de ces sols sableux, ainsi que les propriétés physiques résultantes, sont profondément déterminées par l'intense activité des vers de terre. L'effet marqué des vers de terre sur la structure des sols à argile 1:1 a également été montré dans d'autres régions, comme cela a été synthétisé par Blanchart et al. [61] : Yurimaguas (Pérou) (Duboisset, 1995 ; Alegre et al., 1995), Inde du Sud (Senapati et al., non publié), Amazonie centrale (Fontaine, 1994 ; [20, 81]), Cameroun (Brussaard et al., 1997).

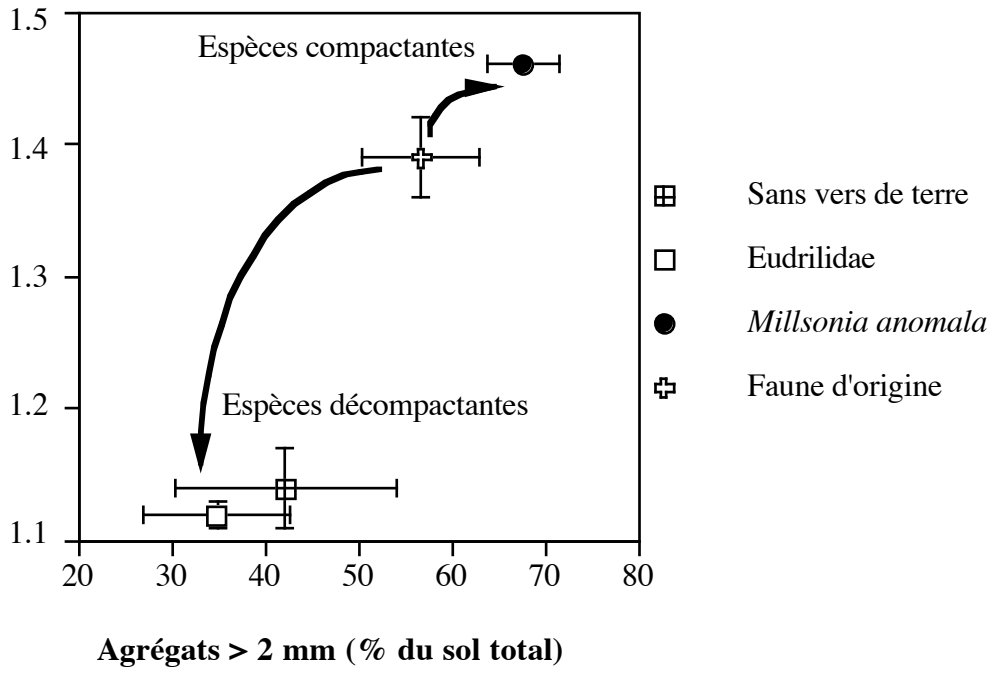


Figure 26 : Evolution de la densité apparente et du pourcentage de macroagrégats (> 2 mm) dans un sol (0-10 cm) soumis à l'action de vers de grande taille ("compactants") et/ou de petite taille ("décompactants") (moyenne et écart-type).

Conséquences sur les propriétés physiques

Les modifications de la structure du sol par les vers de terre ont des conséquences sur les propriétés physiques de sols, notamment l'infiltration, la capacité de rétention hydrique, la stabilité structurale et la résistance à l'érosion.

À Lamto, la présence de *M. anomala* diminue l'infiltration (3.29 mm h^{-1}) par rapport à des traitements sans vers de terre (4.18 mm h^{-1}) (Gilot, 1994). Des expériences en pots ont montré que l'introduction de *M. anomala* et des petits Eudrilidae (dans une moindre mesure) entraînaient une diminution du taux d'infiltration (22,3 ml.min^{-1} avec *M. anomala* et 53

ml.min^{-1} sans vers de terre) (Derouard et al., 1997). Les résultats concernant les modifications de l'infiltration dans des sols à argile 1:1 sous l'effet des vers de terre sont parfois contradictoires. Certains auteurs confirment les résultats obtenus à Lamto (Alegre et al., 1995) ; d'autres auteurs ont montré que la présence de turricules à la surface du sol favorisait l'infiltration de l'eau (Casenave et Valentin, 1988).

Dans une expérience au champ, Blanchart et al. [11] ont montré les effets différents des vers de terre « compactants » et « décompactants » sur l'infiltration et la capacité de rétention en eau (Figure 27).

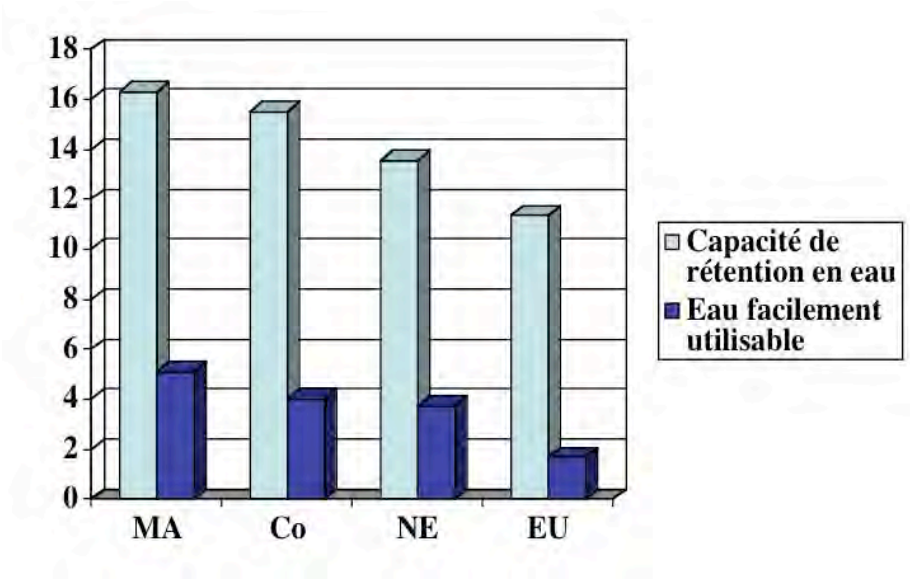


Figure 27 : Capacité de rétention en eau (cm^3.g^{-1}) et eau facilement utilisable (cm^3.cm^{-3}) dans un sol non perturbé (0-10 cm) soumis à différentes populations de vers de terre dans une expérience au champ, Lamto, Côte d'Ivoire (adapté de Blanchart et al. [11]). Légende : MA = Millsonia anomala, Co = Témoin, NE = Sans vers de terre, EU = Eudrilidae [11].

La stabilité structurale des sols, propriété fondamentale pour la maintenance de la structure du sol et la résistance à l'érosion, est également modifiée par la présence de vers de terre. Dans une expérience, au champ, de réintroduction ou non de vers de terre sur un sol tamisé à 2 mm, la stabilité structurale d'agrégats de la classe 2-5 mm est plus élevée dans les traitements avec vers de terre que dans les traitements sans vers de terre au bout de 28 mois d'expérience [6] (Figure 28). En fait, les études menées à Lamto ont surtout montré et confirmé la stabilisation des turricules de vers de terre avec le temps. Ainsi dans un sol où l'activité des vers de terre est élevée, la stabilité structurale en agrégats est relativement limitée en raison de l'âge moyen relativement jeune des vers de terre (le renouvellement rapide des turricules limite ainsi la stabilité structurale du sol). À l'inverse dans les sols où le renouvellement des turricules est

lent, ceux-ci ont le temps de se stabiliser et participent à l'accroissement de la stabilité structurale du sol. Cette observation a été régulièrement observée depuis et la durée de vie des turricules est un élément important à prendre en compte dans la compréhension des propriétés édaphiques (Lavelle et al., 1998 ; Decaëns et al., 1999).

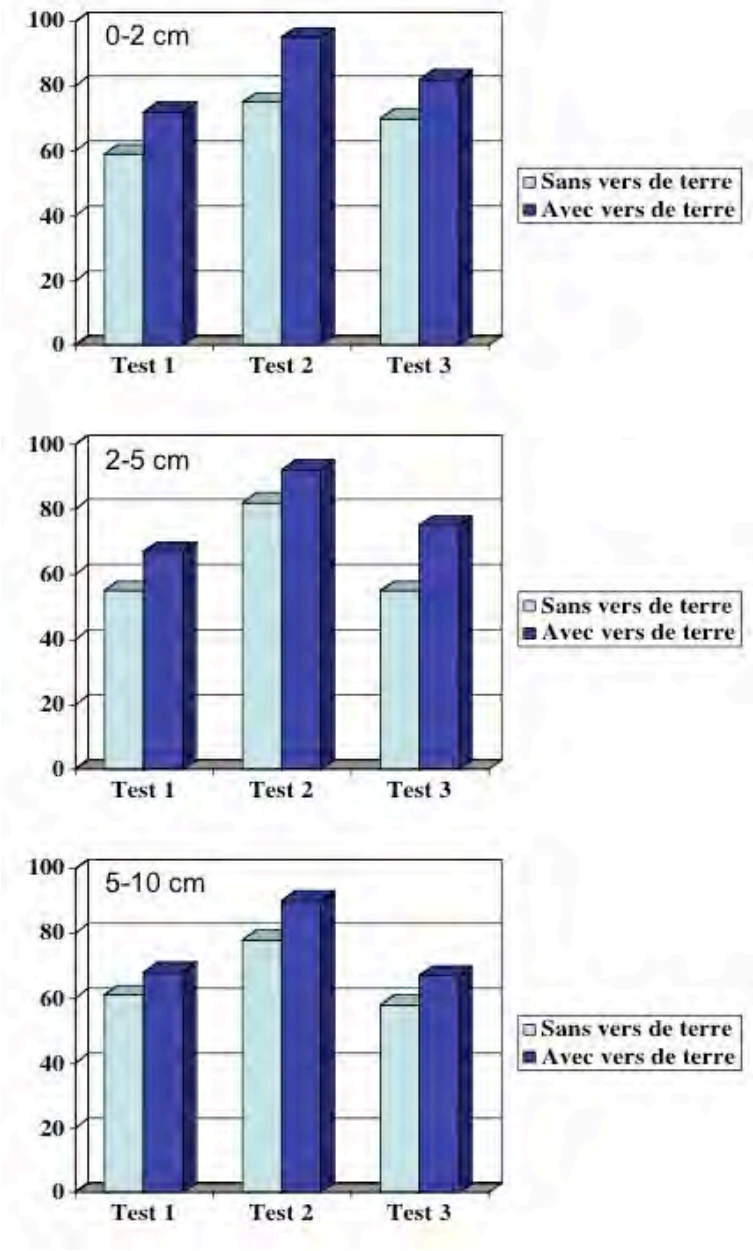


Figure 28 : Pourcentages d'agrégats stables (2-5 mm) récoltés dans des traitements avec vers de terre et sans vers de terre, à différentes profondeurs de sol, au bout de 30 mois d'expérience. Méthode Le Bissonnais : Test 1 : éclatement, Test 2 : microfissuration, test 3 : agitation mécanique. Les différences entre traitements avec vers de terre et sans vers de terre sont toutes significatives (P<0,05) [2].

Bien que nous n'ayons pas mené, à Lamto, d'étude spécifique sur le rôle des vers de terre vis-à-vis de l'érosion (ou de l'érodibilité), nous avons pu observer que les turricules frais de vers de terre, déposés à la surface du sol, étaient particulièrement sensibles à l'érosion et pouvaient participer aux pertes en terre totales Ainsi, les turricules frais de *M. anomala* ne disparaissent qu'après une pluie de 18 mm s'ils ne sont pas protégés par la végétation [2]. En revanche, les turricules d'Eudrilidae sont très facilement dispersés, même par l'eau de ruissellement. Une étude de la bibliographie nous a permis de synthétiser et de redéfinir l'effet des vers de terre endogés sur l'érosion des sols tropicaux [34]. À travers leurs activités : production de turricules en surface ou à l'intérieur du sol, tri granulométrique de particules, modification de la matière organique, agrégation et formation de galeries, les vers de terre affectent la rugosité du sol, la stabilité des agrégats, l'érodibilité du sol et l'infiltration de l'eau. Nos résultats ont permis de montrer un effet différent des vers de terre compactants et décompactants sur l'érosion des sols (Tableau II).

Tableau II : Caractéristiques comparés des vers de terre endogés « compactants » et « décompactants » et effets sur les propriétés du sol affectant l'érosion [34].

Vers « compactants » (de grande taille)	Vers « décompactants »
Généralement méso- ou oligohumiques	Généralement polyhumiques
Faible modification de la texture	Forte modification de la texture
Turricules de surface globulaires et stables	Turricules de surface granulaires et labiles
Limitent la formation d'une croûte de surface	Facilitent la formation d'une croûte de surface
Structure du sol stable à l'eau	Pas d'effet connu sur la stabilité du sol
Macroagrégation (> 2 mm)	Mésoagrégation (0,2-2 mm)
Augmentent la densité apparente du sol	Diminuent la densité apparente du sol
Augmentent la capacité de rétention en eau	Diminuent la capacité de rétention en eau
Diminuent l'infiltration de l'eau	Augmentent l'infiltration de l'eau

IV.e.ii. Cas des sols à argile 2:1 (vertisols)

Site d'étude et problématique

À la Martinique, la mise en cultures maraîchères des vertisols calco-magnéso-sodiques conduit rapidement à une dégradation sévère des sols : (i) diminution du stock de matière organique et de l'azote potentiellement minéralisable, (ii) diminution marquée des biomasses de vers de terre, de racines et de microorganismes, (iii) diminution de la stabilité structurale (consécutive à la diminution de la matière organique), qui entraîne une augmentation de l'érodibilité, avec à long terme une perte de la ressource en sols, (iv) compaction du sol (diminution de la porosité structurale). En comparaison, les sols sous prairies à *Digitaria decumbens*, de longue durée, sont caractérisés par (i) un stock important de matière organique, (ii) des biomasses élevées de vers de terre (*Polypheretima elongata*), de microorganismes et de racines, (iii) une bonne stabilité structurale, et (iv) une bonne porosité (au vu de l'alimentation des plantes) [37].

L'étude menée à la Martinique de 1993 à 1998 a concerné les interactions entre macroorganismes (racines, vers de terre), matière organique et propriétés physiques dans des situations anthropisées (Fig. 1). On s'est intéressé à l'effet des vers de terre et des racines dans la restauration et la conservation (i) des stocks de matière organique (ou de carbone C), (ii) de l'agrégation et par conséquent de la résistance du sol à l'érosion et (iii) de la porosité du sol.
Cette étude a été réalisée grâce à des expérimentations de terrain de moyenne durée (5 ans) et à des expériences ou mesures en laboratoire. Les expérimentations de terrain ont permis d'individualiser et d'étudier précisément les effets respectifs des racines et des vers de terre dans la restauration des propriétés du sol.
Les études ont été menées dans des situations prairiales (P) et maraîchères (MG) de longue durée, dans une prairie à *Digitaria decumbens* (Pr), installée après plusieurs années de cultures maraîchères. À l'intérieur de Pr, des sous-parcelles de 50 m^2 ont été installées : (i) un traitement sans vers de terre ni plantes (P_0E_0), (ii) un traitement avec plantes, sans vers de terre (P_+E_0), et (iii) un traitement avec plantes où des vers de terre ont été introduits en densité égale à celle d'une prairie de longue durée (P_+E_+). Plusieurs propriétés ont été suivies au cours des 5 années de mesure (dans ces trois parcelles expérimentales ainsi que dans P, Pr et MG) : agrégation, stabilité de l'agrégation (pourcentage d'agrégats stables pour différents temps d'agitation, diamètres moyens pondéraux, indices de dispersion), érodibilité (par simulation de

pluie), porosité, teneurs en carbone, biomasses racinaires, biomasses et densités de vers de terre. Enfin, le stockage de la matière organique a été étudié en détail à travers des mesures de ΔC13 (du sol et du CO_2 respiré), de flux de CO_2 (au champ et en laboratoire) et de la biodisponibilité du carbone du sol (en relation avec l'agrégation), dans le cadre de la thèse de Chevallier (1999) que j'ai co-dirigée [21, 25, 29, 30, 35].

Rôle respectif des vers de terre et des racines dans la restauration des propriétés physiques des vertisols

Les mesures de biomasses et de densités de vers de terre ainsi que de biomasses racinaires nous ont permis de confirmer l'efficacité de nos expérimentations : faibles biomasses de vers de terre dans les traitements sans vers de terre et faibles biomasses racinaires dans les traitements sans plantes [22].

Les pourcentages d'agrégats stables (supérieurs à 500 μm) (horizon 0-10 cm) ont augmenté dans les différents traitements expérimentaux (en relation directe avec l'augmentation des teneurs en carbone). Au bout de 4 ans, les valeurs dans les 3 traitements avec graminées (Pr, P_+E_0, P_+E_+) étaient voisines et significativement supérieures aux valeurs mesurées dans le traitement P_0E_0 (Figure 29).

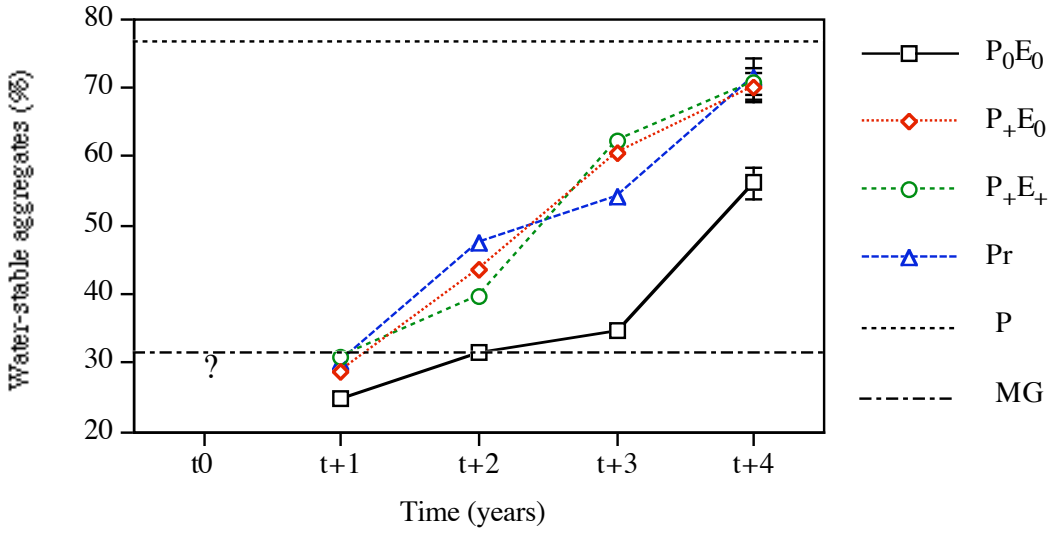


Figure 29 : Evolution temporelle des pourcentagres d'agrégats stables dans différents traitements (0-10 cm) (moyenne et écart-types, n=3 à t+4). Comparaison avec les valeurs moyennes mesurées sous prairies (P) et cultures maraîchères (MG) de longue durée [37].

Les diamètres pondéraux moyens montraient les mêmes tendances. En ce qui concerne la détachabilité du sol (mesurée sous simulation de pluie), les pertes en terre étaient toujours très importantes dans P_0E_0 au bout de 4 ans d'expérience tandis que les valeurs de Pr, P_+E_0 et P_+E_+ avaient diminué pour se rapprocher des valeurs mesurées sous des prairies de longue durée (Figure 30).

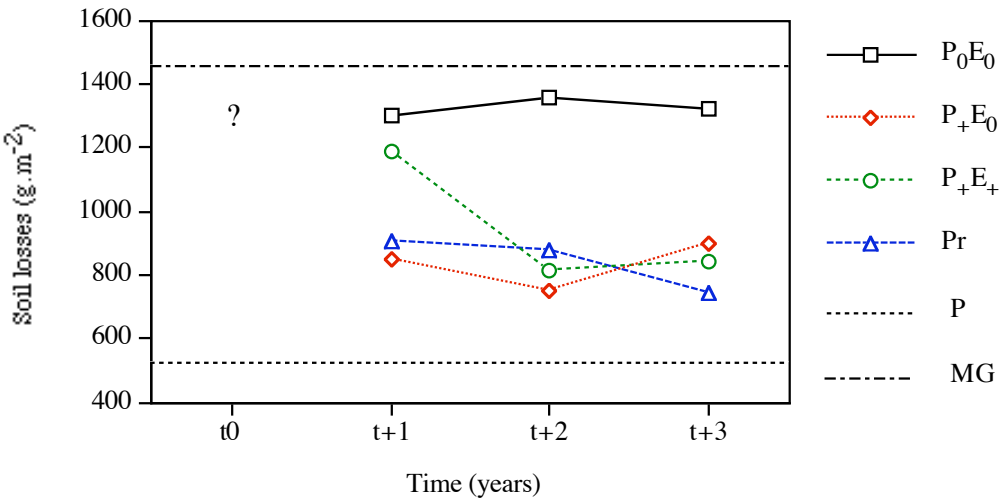


Figure 30 : Evolution temporelle des pertes en terre ($g.m^{-2}$) (intensité de pluie 150 $mm.h^{-1}$, durée 30 min, surface binée sur 5 cm) dans différents traitements (0-10 cm). Comparaison avec les valeurs moyennes mesurées sous prairies (P) et cultures maraîchères (MG) de longue durée [37].

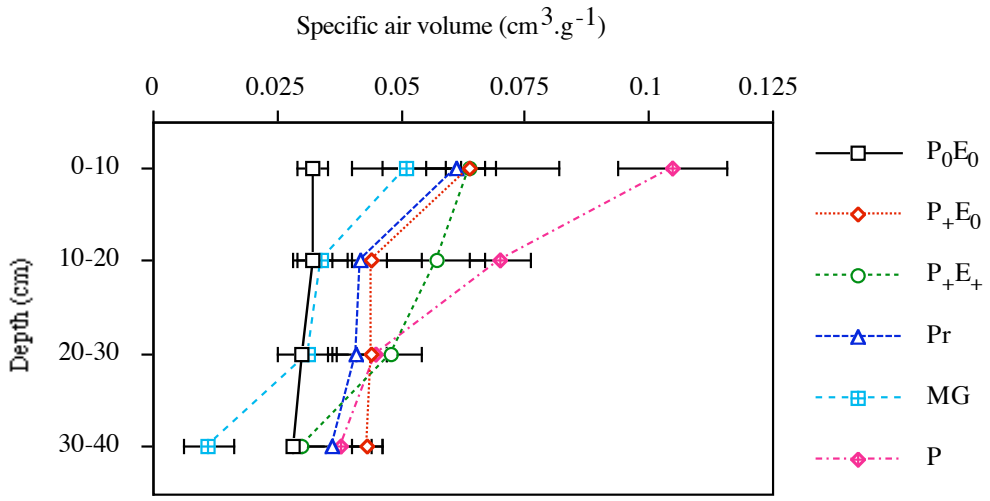


Figure 31 : Profils de porosité structurale (volume d'air spécifique) dans différents traitements à la fin de l'expérience (moyennes et écart-types, n=5) [37].

L'installation d'un pâturage sur un sol dégradé par des cultures maraîchères entraîne aussi une augmentation de la porosité structurale du sol (porosité où se trouve l'eau utile pour les plantes). Quatre ans après le début de l'expérience, le volume spécifique d'air (dans les 10 premiers centimètres de sol) a diminué dans le traitement P_0E_0 et augmenté dans les autres traitements (Pr, P_+E_0 et P_+E_+) (Figure 31).

Dans les sols argileux gonflants, la formation et la conservation de la structure du sol sont dominées par le comportement des argiles et les facteurs biologiques sont souvent rapportés comme n'étant pas importants pour la formation et/ou la stabilisation de cette structure. Nos expériences ont permis de montrer que l'activité biologique dans ces sols a une grande importance dans le contrôle des propriétés physiques (et surtout pour la macroagrégation > 200 μm). Dans ces sols, l'agrégation et la perte en terre sont directement reliées à la teneur en carbone. Ainsi, les agents biologiques qui participent à l'augmentation des teneurs en matière organique, ainsi qu'à l'évolution (physique et chimique) de cette matière organique ont un rôle fondamental pour les propriétés de ces sols [22]. Les racines (de graminées notamment) ont un rôle particulièrement important à travers différents processus : apport de matière organique (litière et racines), stimulation de l'activité microbienne (et notamment des bactéries productrices d'exopolysaccharides – Achouak et al., 1999), stabilisation de la structure du sol grâce à un dense réseau racinaire. L'effet des vers de terre, dans ces sols, n'est pas aussi clair et aussi important que celui des racines. Ainsi, ils ne semblent participer ni à la restauration des teneurs en carbone, ni à l'agrégation, ni à l'érodibilité. La seule différence significative observée entre les traitements avec vers de terre (Pr et P_+E_+) et sans vers de terre (P_+E_0 et P_0E_0) concerne les indices de dispersion : la présence de vers de terre entraîne une réduction du pourcentage d'argile dispersée.
En conséquence, il semble possible de restaurer les propriétés physiques de vertisols dégradés par plusieurs années de cultures maraîchères intensives et de réduire les pertes en terre par érosion. L'installation de prairies intensives permet une restauration de ces propriétés, dont la base biologique a été démontrée dans cette étude.

IV.f. Conclusions

Les recherches menées depuis près de 20 ans sur les effets des vers de terre sur la structure et les propriétés physiques des sols ont permis d'accroître nos connaissances. Généralement décrits comme améliorant ces propriétés, les vers de terre ont pourtant des effets qui varient

grandement en fonction (i) du type de sol considéré (« soil-specific effect »), et (ii) de l'espèce considérée (« species-specific effect ») et de l'abondance des peuplements.

Au niveau de l'effet du type de sols, nos résultats, confirmés par la suite, ont montré que les vers de terre endogés avaient une action importante sur la structure et les propriétés physiques des sols tropicaux à argile 1:1 (de type kaolinite) [61, 82]. Cet effet est déterminant quelle que soit la teneur en argile des sols. En effet, les observations de lames minces de sol (entre autres analyses) montrent clairement l'importance des turricules de vers de terre dans les horizons de surface aussi bien dans les sols d'Amazonie (avec des teneurs en argile atteignant 80%) que dans les sols de Lamto (avec moins de 10% d'argile). Nos études ont, de plus, montré que les vers de terre endogés pouvaient être classés en deux catégories fonctionnelles selon leur effet sur la structure et les propriétés physiques des sols : les vers de terre « compactants » et les vers de terre « décompactants ». Ces classifications doivent pouvoir être élargies à d'autres groupes taxonomiques étant donné que certaines larves de Coléoptères (généralement appelées « vers blancs ») pourraient agir comme des « compactants » et que les enchytréides ou certains microarthropodes pourraient agir comme des « décompactants ». Concernant les vers de terre, nos expériences ainsi que des expériences menées en Amazonie dans le cadre de la thèse d'E. Barros (1999) ont montré que l'unique présence de vers de terre « compactants » conduisaient à une compaction du sol telle que l'infiltration de l'eau était impossible [20]. La présence d'organismes « compactants » et « décompactants » est donc nécessaire pour assurer un fonctionnement du sol équilibré. Les travaux de Rossi à Lamto ont montré que les activités antagonistes de ces deux groupes de vers de terre étaient séparées dans le temps et dans l'espace (Rossi, 2003a,b,c). Les populations de « compactants » et de « décompactants » présentent des structures spatiales non superposées avec des zones dominées par le premier groupe et des zones dominées par le deuxième groupe. L'effet sur la structure du sol est nette puisque les zones riches en « compactants » présentent des densités apparentes relativement élevées tandis que les zones dominées par les « décompactants » ont des densités apparentes plus faibles (Rossi, 2002b). Bien que ces taches d'activité soient relativement stables sur une durée de 2 ans, il est difficile de prédire ce qui se passerait à plus long terme (inversion de zones).

Dans les sols à argile 2:1 comme les vertisols des Antilles, l'action des vers de terre (*Polypheretima elongata*) sur les propriétés physiques des sols est beaucoup moins nette et beaucoup moins importante que celle liée aux racines. Les vers de terre (même à des biomasses supérieures à 1 Mg/ha) n'affectent pas l'agrégation, ni la stabilité structurale ni la résistance à l'érosion. Ils affectent en revanche la porosité du sol mais de façon négative en

réduisant de façon importante la porosité structurale (10-30 μm) dans laquelle se trouve l'eau utile pour les plantes [23]. À l'inverse, en Australie, l'espèce anécique *Heteroporodrilus mediterreus* creuse des galeries permanentes qui facilitent l'infiltration de l'eau (Friend & Chan, 1995).

V. Vers de terre et matière organique dans les sols tropicaux

La matière organique est un déterminant fondamental des propriétés agronomiques et environnementales des sols. Elle contrôle plusieurs propriétés physiques, chimiques et biologiques qui affectent la capacité d'un sol à produire de la nourriture, des fibres et du combustible. C'est la première source d'énergie de l'écosystème-sol (apport essentiel au fonctionnement des chaînes alimentaires) ainsi qu'une source majeure et un puits temporaire de nutriments pour les plantes. Ainsi la matière organique joue un rôle (direct ou indirect) important dans la fertilité des sols. Elle permet (i) le stockage d'éléments nutritifs (fonction de réserve minérale, (ii) l'augmentation de la capacité d'échange cationique (fonction d'échange et de sorption vis-à-vis des cations, des anions et de molécules organiques telles que les pesticides, (iii) une amélioration de la stabilité structurale des sols (améliore la diffusion de l'air, la rétention et l'infiltration de l'eau et réduit l'érosion), et (iv) une amélioration des activités fauniques, microbiennes et enzymatiques (c'est la fonction de minéralisation et d'immobilisation qui détermine les cycles du carbone, de l'azote et du phosphore). La matière organique intervient également sur l'environnement : sa préservation et son stockage sont des moyens de lutter contre l'effet de serre. Sa gestion est donc primordiale dans le cadre d'une agriculture durable.

Comme nous l'avons vu plus haut (Chapitre I, Figure 1), le biofonctionnement du sol résulte grandement de l'interaction entre les trois composantes que sont les macroorganismes, la matière organique des sols et la structure du sol.

Il existe bien une interaction entre vers de terre et matière organique : (i) la matière organique, ressource trophique des vers de terre, agit sur le développement des individus et des populations et (ii) les vers de terre affectent la dynamique de la matière organique.

V.a. Influence de la teneur en carbone du sol sur la croissance des vers de terre

Bien que plusieurs études aient mis en évidence une corrélation positive entre densité de vers de terre et teneur en carbone du sol, peu d'études se sont intéressées à la relation directe de l'effet des teneurs en carbone sur le développement des individus et des populations. À la Martinique, nous avons étudié l'influence de la teneur en carbone du sol sur la croissance du ver de terre *Polypheretima elongata*. Des individus nouvellement éclos de cette espèce ont été élevés pendant près de deux ans sur des vertisols présentant différentes teneurs en carbone :

un sol prélevé sous forêt secondaire (teneur en carbone 35 $g.kg^{-1}$ sol), un sol prélevé sous prairie intensive (teneur en carbone 30 $g.kg^{-1}$ sol) et un sol prélevé sous culture maraîchère (teneur en carbone 15 $g.kg^{-1}$ sol). Les résultats ont permis de montrer que la teneur en carbone du sol était un élément déterminant de la croissance des vers de terre (Figure 32).

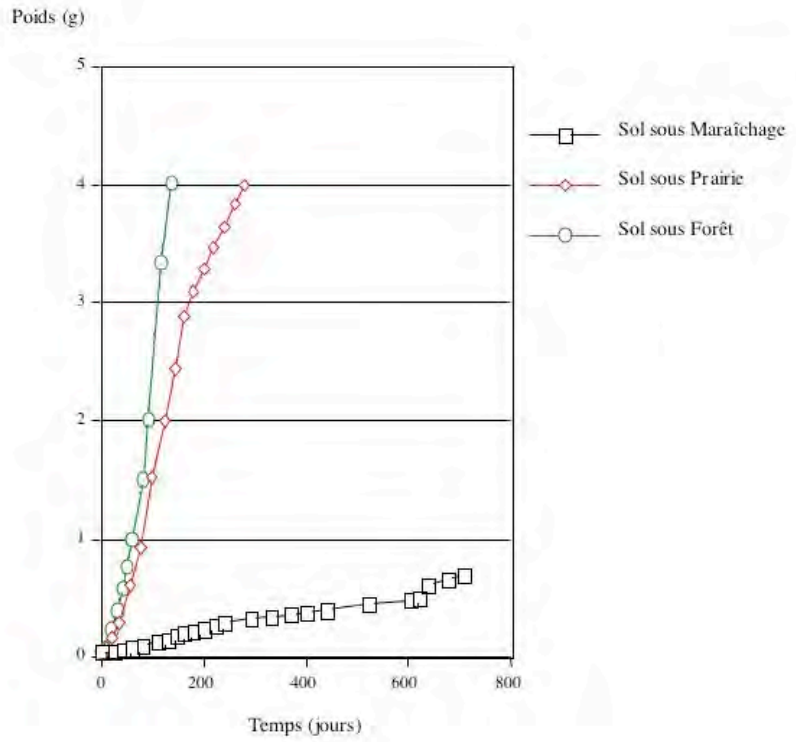


Figure 32 : Evolution moyenne de la croissance d'individus de Polypheretima elongata en fonction de la teneur en carbone du sol d'élevage (vertisol de Martinique) (n>100) [59].

Si la croissance est rapide lorsque les vers de terre sont élevés sur le sol de forêt ou de prairie, elle est particulièrement lente lorsque le sol est pauvre en carbone. Dans ce cas, la mortalité des individus est relativement élevée. Ceci explique en partie les faibles densités des populations rencontrées sous culture maraîchère dans les vertisols de Martinique et la lenteur de la recolonisation du sol par les vers de terre après qu'une prairie a été installée sur un sol dégradé par plusieurs années de cultures maraîchères. D'une façon plus générale, la stimulation de l'activité (et une augmentation de la diversité) des macroorganismes dans les agrosystèmes repos sur une fourniture adéquate de ressources organiques [26].

V.b. Effet des vers de terre sur la dynamique de la matière organique

Les vers de terre affectent la dynamique de la matière à différentes échelles de temps et d'espace ([8, 17, 26] ; Martin, 1991 ; Martin et al., 1991).

V.b.i. Sélection de particules organiques

Les vers de terre ingèrent différemment les particules organiques en fonction de leur catégorie écologique (Cf. chapitre II.c.) et en fonction de la teneur en matière organique du sol ingéré (Barois et al., 1999). Par exemple, dans les vertisols de Martinique, les individus de l'espèce *Polypheretima elongata* ingèrent préférentiellement les particules organiques grossières lorsqu'ils sont élevés sur un sol pauvre en matière organique. En revanche, lorsqu'ils sont élevés sur un sol riche, il n'y a pas de sélection de particules. Ainsi cette espèce a un comportement de polyhumique si elle se trouve dans un sol riche en matière organique et de mésohumique si elle se développe dans un sol pauvre (Duboisset, 1994 ; Blanchart, données non publiées).

V.b.ii. Minéralisation au cours du transit intestinal

Au cours du transit intestinal, il a été démontré que la minéralisation était accélérée grâce à un mutualisme développé entre les vers de terre et les microorganismes (Barois, 1987). La production de mucus intestinal par les vers de terre et la destruction de la structure du sol dans le tube digestif entraînent une stimulation de la microflore qui peut alors digérer et décomposer la matière organique. Certains vers de terre comme *P. elongata* ont aussi la capacité de sécréter leurs propres enzymes, alors que les enzymes d'autres espèces sont d'origine microbienne (Lattaud et al., 1997 et 1998).

V.b.iii. Effets à moyen et long termes

Différentes études menées dans le cadre du programme Macrofauna (CEE/STD, coordinateur P. Lavelle) ont cherché à montrer l'effet à long terme des vers de terre sur la dynamique de la matière organique. Ces études ont principalement eu lieu en Côte d'Ivoire (Martin, 1991 ; Gilot, 1994), au Pérou (Charpentier, 1996), et à la Martinique [25, 37].

À la Martinique, un suivi sur 4 ans de l'évolution des teneurs en carbone dans un vertisol planté en prairie (après plusieurs années de cultures maraîchères) et soumis à différents traitements expérimentaux (présence ou absence de vers de terre, présence ou absence de plantes) nous a permis de montrer que la présence ou l'absence de vers de terre n'affectait nullement le stockage de la matière organique (Figure 33).

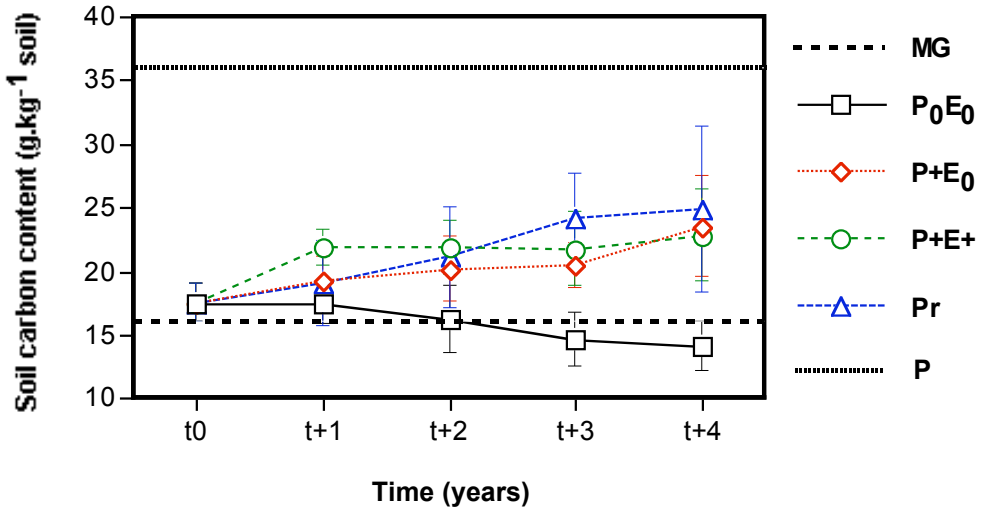


Figure 33 : Evolution temporelle de la teneur en carbone du sol dans une parcelle de culture maraîchère replantée en prairie (Digitaria decumbens) à t0 et soumis à différents traitements expérimentaux (P_0E_0 = sans plantes ni vers de terre, P_+E_0 = plantes sans vers de terre, P_+E_+ = plantes + introduction de vers de terre à t0, Pr = prairie replantée dans manipulation des plantes ni des vers de terre). Comparaison avec les teneurs observées sous prairie intensive ancienne P et sous culture maraîchère ancienne MG [37].

Dans les autres situations étudiées dans le cadre du programme Macrofauna, on n'observe pas, non plus, de différences significatives de teneurs en carbone entre les situations avec et sans vers de terre au bout de 3 ans d'étude ; ceci sauf dans les situations paillées où l'activité des vers de terre entraîne une faible augmentation de l'incorporation de matière organique (Villenave et al., 1999). Pourtant Martin (1991) a montré que la matière organique était protégée contre la minéralisation dans la structure compacte des turricules de *Millsonia anomala*. Le carbone minéralisé dans des turricules incubés était environ 3,7 fois moins important que dans des agrégats de sol non ingérés par les vers de terre (3% par an contre 11% par an) (Figure 34).

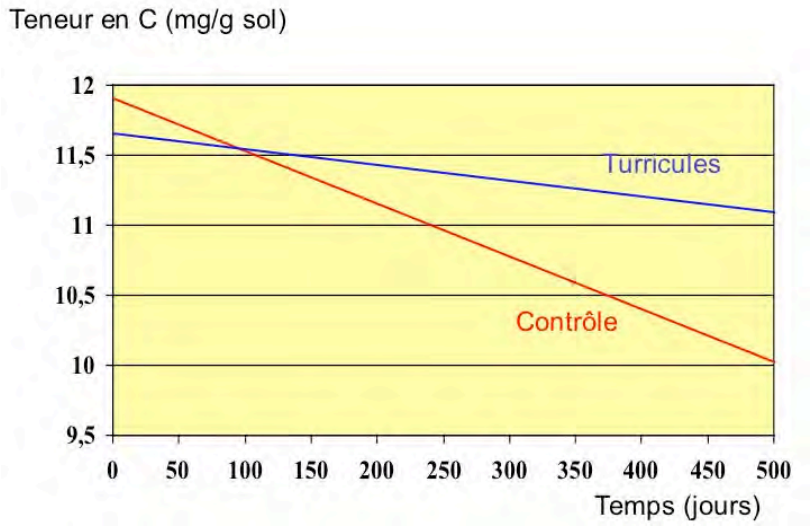


Figure 34 : Protection physique de la matière organique contre la minéralisation dans les turricules de vers de terre. Comparaison de l'évolution temporelle des teneurs en carbone entre des turricules de Millsonia anomala et des agrégats de sol non ingérés (d'après Martin, 1991).

Ce résultat suggère un effet positif des activités de vers de terre sur le stockage à moyen terme du carbone. Mais il n'est pas confirmé dans les expérimentations de terrain. Il est donc probable que d'autres effets directs ou indirects des vers de terre affectent de façon négative l'évolution des teneurs en C du sol : respiration des vers de terre, stimulation de l'activité microbienne… Ces questions soulèvent des recherches supplémentaires. En l'absence de situations à long terme, des informations sur les effets à long terme des vers de terre sur la matière organique des sols ne peuvent être obtenues qu'à travers la modélisation. Une tentative a été effectuée par Martin & Parton (données non publiées ; Lavelle et al., 1998) à partir du modèle CENTURY et en considérant les trois pools de matière organique définis dans ce modèle de dynamique de la matière organique (fraction labile = « active pool », fraction stable = « pool lent » et fraction résistante = « pool passif »). L'utilisation de ce modèle a permis de montrer que la suppression des vers de terre d'un sol de savane entraînait une diminution des teneurs en C du sol, diminution principalement due à une décroissance du pool lent. Ce résultat soutient le fait que les vers de terre jouent un rôle important dans la stabilisation de la matière organique maintenant ainsi sur le long terme les stocks de matière organique et la structure du sol dans les agrosystèmes.

V.c. Conclusions

Les résultats présentés ci-dessus montrent que les vers de terre affectent à court terme la dynamique de la matière organique : tri de particules organiques, stimulation de la minéralisation de la matière organique dans le tube digestif et les turricules (à court terme), protection de la matière organique contre la minéralisation dans les turricules. Néanmoins, les vers de terre ne modifient pas les variations des teneurs en C dans les sols sous cultures. D'autres effets peuvent expliquer ces observations : incapacité des vers de terre étudiés (endogés géophages) à incorporer les résidus de culture dans les sols (Villenave et al., 1999), respiration des vers de terre (1,2 $MgC.ha^{-1}.an^{-1}$ à Lamto), stimulation de l'activité microbienne en dehors des turricules, liée notamment à la sécrétion de mucus (Lavelle et al., 1998 ; Parmelee et al., 1998). Enfin, il n'est pas assuré que l'éradication des vers de terre dans les expérimentations à moyen terme se soit traduite par la suppression de l'effet des vers de terre. En effet, les processus de protection de la matière organique dans les turricules dépendent largement de la durée de vie de ce structures biogéniques dans le sol (Decaëns et al., 1999).
Notre projet de recherche s'attachera à mieux comprendre la dynamique de la matière organique et les mécanismes liés de manière directe ou indirecte à la faune du sol.

VI. Projet de Recherche

Macrofaune du sol et « séquestration du carbone » dans les agrosystèmes tropicaux

VI.a. Introduction et justification du projet de recherche

Les résultats présentés dans les chapitres ci-dessus ainsi que ceux de la littérature tendent à montrer que la macrofaune affecte les grandes fonctions du sol. Jusqu'à présent, la plupart des travaux menés dans ce cadre ont principalement porté sur l'effet de la macrofaune vis-à-vis de la fertilité des sols (impact agronomique) (Chapitre I, Figure 2). Brown et al. [60] ont fait une synthèse des études menées sur l'effet des vers de terre sur la productivité végétale dans les tropiques. Ils ont notamment pu montrer que dans 75% des études réalisées dans le but de tester l'effet positif ou négatif de la présence de vers de terre sur la croissance de plantes, les vers de terre avaient un effet positif sur la croissance végétale. Dans 43% des études, le surplus de croissance mesurée en présence de vers de terre était supérieur à 20%. Dans certains cas aussi, la présence de vers de terre a un effet négatif sur la croissance végétale. Les mécanismes par lesquels les vers de terre affectent la croissance des plantes peuvent être directs ou indirects, positifs ou négatifs. Les mécanismes impliqués sont variés : décomposition de la matière organique et minéralisation de N et P, transport de graines et effet sur leur germination, dispersion de propagules de mycorhizes vésiculo-arbusculaires (VAM), dissémination de rhizobactéries, modification des peuplements de nématodes, modification du régime hydrique, etc.

En revanche, peu d'études se sont intéressées aux fonctions environnementales et notamment au rôle de la macrofaune sur la « séquestration du carbone ».

Définition préliminaire « la séquestration du carbone dans les sols »

Nous entendons par « Séquestration du C » l'ensemble des processus et des bilans en gaz à effet de serre (GES) concernant le système sol-plante et prenant en compte les trois GES principaux - CO_2, CH_4 et N_2O – (tous exprimés en équivalents (eq.) C-CO_2) et le potentiel de réchauffement global (PRG) de chacun, respectivement de 1, 23 et 296. Cette définition a été explicitée et argumentée par Bernoux et al. (2005) et par Feller et al. (en préparation). Ceci signifie que la notion de « Séquestration du C » réfère à la somme des variations de stocks du C (d'origine atmosphérique) dans le sol et des variations de flux des 2 autres GES (CH_4 et N_2O) exprimés en eq. C-CO_2.

Dans les zones tropicales ou sub-tropicales, la séquestration du C dans le sol représente une double nécessité :

- d'une part, la MO du sol joue un rôle capital dans la majorité des propriétés du sol essentiel pour la plante (physiques, chimiques et biologiques) et pour le maintien du potentiel de fertilité d'un milieu donné ; il faut donc favoriser son stockage (et donc celui du C organique) ;
- d'autre part, à travers le stockage de C dans le sol et la diminution des émissions d'autres GES, les pratiques « séquestrantes » peuvent constituer potentiellement pour l'avenir une source économique dans le cadre de mécanismes financiers internationaux comme le « Mécanisme de Développement Propre » associé au Protocole de Kyoto.

VI.b. Objectifs et hypothèses de recherche

Notre projet de recherche concerne l'étude des interactions entre activités fauniques, dynamique de la matière organique et flux de GES. L'approche est mécaniste et vise à accroître notre connaissance du rôle de la faune des sols d'une part sur le stockage du carbone et d'autre part sur les émissions de N_20 et de CH_4 dans les agrosystèmes tropicaux. En d'autres termes, il s'agit d'analyser comment la faune, à travers ses activités, affecte l'équilibre dans un écosystème, entre la conservation et la perte des nutriments, particulièrement le carbone et l'azote.

VI.b.i. Faune du sol et stockage du carbone

Pour un milieu biophysique donné, le stockage du C dans le sol est sous la dépendance (i) du niveau et de la qualité des restitutions organiques, (ii) de la protection du C dans le sol contre la minéralisation. Cette protection est le fait de 3 processus :

- un processus dit « biochimique » ou encore récalcitrance des MO : la minéralisation dépend de la structure chimique des MO du sol,
- un processus d'adsorption dit « physico-chimique » et qui concerne les liaisons entre MO et matières minérales du sol (complexes organo-minéraux colloïdaux) stabilisant les MO,
- un processus dit « physique » des MO, par leur protection au sein des agrégats de sol, limitant l'échange de fluides entre l'agrégat et son environnement et limitant l'accès des microorganismes à cette ressource énergétique.

La macrofaune du sol peut intervenir sur ces 3 processus : (i) par la transformation chimique qu'elle fait subir à la MO lors du transit intestinal des matériaux ingérés (débris végétaux et sol), (ii) au cours du transit en favorisant, par solubilisation de MO particulaire, les processus d'adsorption physico-chimique sur les colloïdes minéraux, (iii) par son action d'incorporation de ces différentes formes de MO dans les agrégats fauniques qui résultent de ces activités. Ces agrégats, selon leur teneur en MO, peuvent être très stables et, avec une porosité extérieure fermée, être favorables à une protection physique des MO (Cf. chapitres précédents).
Bien que ces mécanismes soient cités dans la littérature, l'essentiel des recherches a porté sur la protection physique de la matière organique dans les turricules de vers de terre (Martin, 1991 ; Martin & Marinissen, 1993 ; Gilot, 1994 Decaëns et al., 1999, [25]). L'étendue (dimension spatiale) et la durée (dimension temporelle) de cette protection doivent être mieux étudiées. D'autre part, seules quelques études ont porté sur les changements de taille de la matière organique dans les sols suite à l'introduction de vers de terre (Figure 35). Enfin, il existe très peu d'études dans la littérature portant sur la modification chimique de la matière organique après ingestion par la faune.

Si les mécanismes cités ci-dessus affectent positivement le stockage du carbone dans les sols, il existe aussi des effets négatifs de la faune vis-à-vis du stockage du carbone. Certaines activités de la faune tendent en effet à favoriser la minéralisation et les émissions de CO_2 :

- respiration de la faune : la respiration des vers de terre est en général faible (4 à 5%) mais peut atteindre exceptionnellement 30% de la respiration hétérotrophique totale d'un sol (Hendrix et al., 1987) ;
- la production de mucus (par les vers de terre) : le mucus est un composé particulièrement labile et il existe très peu d'informations sur le taux d'excrétion de C dans le mucus de vers de terre, néanmoins la production de mucus peut être une voie significative de perte de C (Scheu, 1991) ;
- le turnover microbien : la plupart des études menées sur ce sujet l'ont été en conditions de laboratoire ; elle montre que les excréments d'organismes de la macrofaune (et notamment les turricules des vers de terre) ont une biomasse microbienne et une respiration plus importantes que le sol non ingéré (Lavelle et al., 1992). Mais la situation est complexe car la faune augmente aussi, à court terme, le turnover microbien : l'activité microbienne par unité de biomasse paraît augmentée, donc la communauté microbienne est métaboliquement plus active en présence de vers de terre qu'en leur absence (Scheu, 1987, Parmelee et al., 1998) ;

- la transformation de la litière et de la matière organique du sol : si on sait que la faune augmente la décomposition de la litière à la surface du sol, on connaît mal les conséquences de ce processus sur le devenir de ce matériel et sur la respiration du sol (Tian et al., 1997). Le transfert de la litière dans les pools de la matière organique du sol et l'effet de la faune sur ces différents pools sont mal connus. Selon que la faune consomme des fractions labiles ou récalcitrantes de la MOS peut avoir des conséquences importantes sur le stockage à long terme du C (et du N). Lavelle et al. (1998) soulignent par exemple que les vers de terre peuvent modifier le rapport MO labile / MO récalcitrante et influencer le stockage à long terme du C et du N (Figure 35). Dans les sytèmes à mulch, sans travail du sol, l'augmentation des stocks de carbone dans les sols est généralement liée à une augmentation de la matière organique associée aux argiles et non à une augmentation de la fraction grossière (débris) : ce phénomène encore inexpliqué est vraisemblablement lié à l'action de la faune, stimulée dans ces systèmes (Feller, comm. pers.).

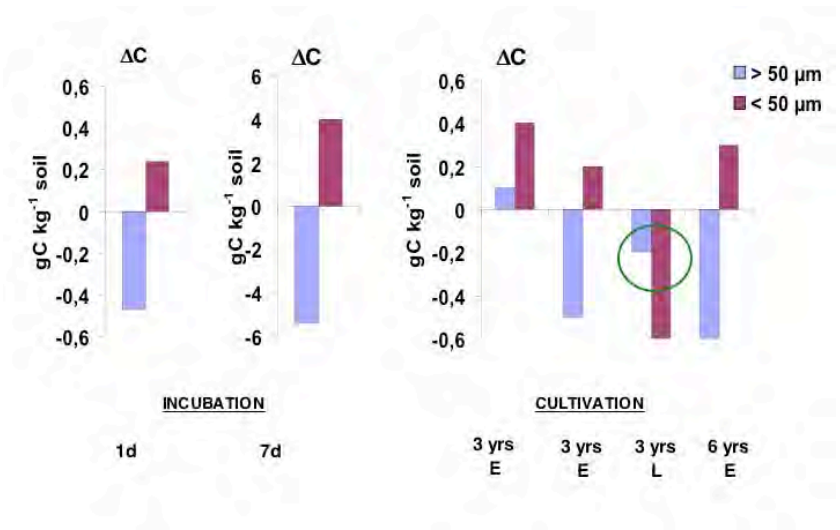
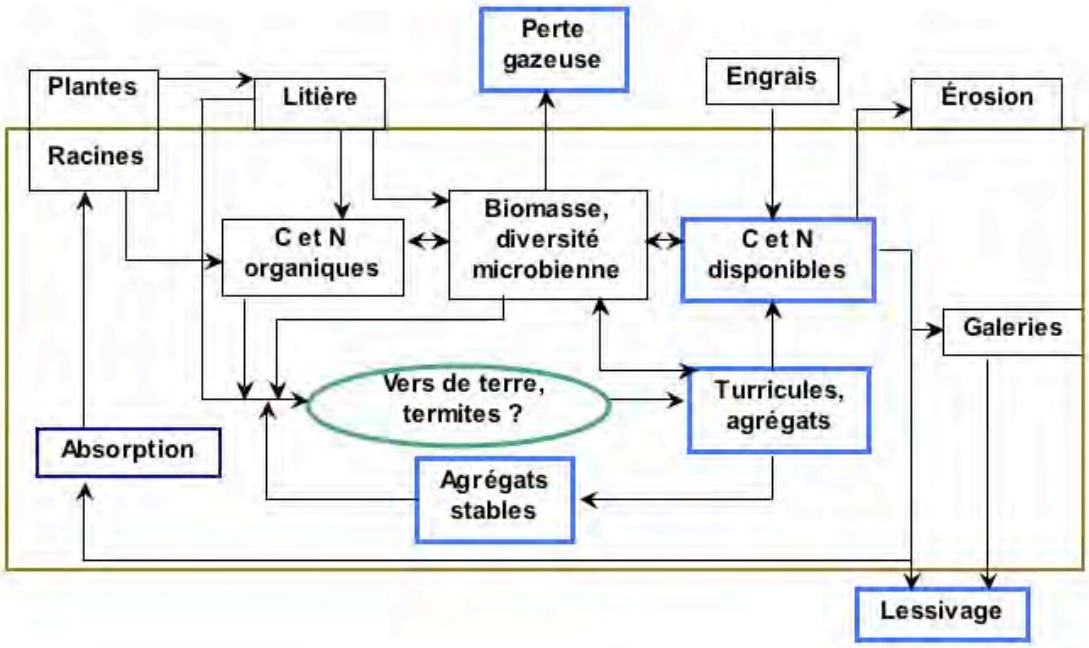


Figure 35 : Effet des vers de terre endogés tropicaux sur les changements de taille de la matière organique (> et < 50µm) : comparaison par rapport à des situations sans vers de terre, en microcosmes (« incubation ») ou au champ (« cultivation ») (la durée de l'expérience est également indiquée) (Metay et Feller, d'après Villenave et al., 1999).

Il ne faut pas perdre de vue que les effets positifs et négatifs de la faune sur le stockage du carbone interagissent tous (excepté la respiration de la faune). C'est essentiellement l'interaction entre l'activité microbienne, la transformation de la matière organique et la protection du C (et du N) contre l'attaque microbienne dans les agrégats stables qui détermine le rôle global de la faune sur les flux de C (et de N) dans l'écosystème (Figure 36).



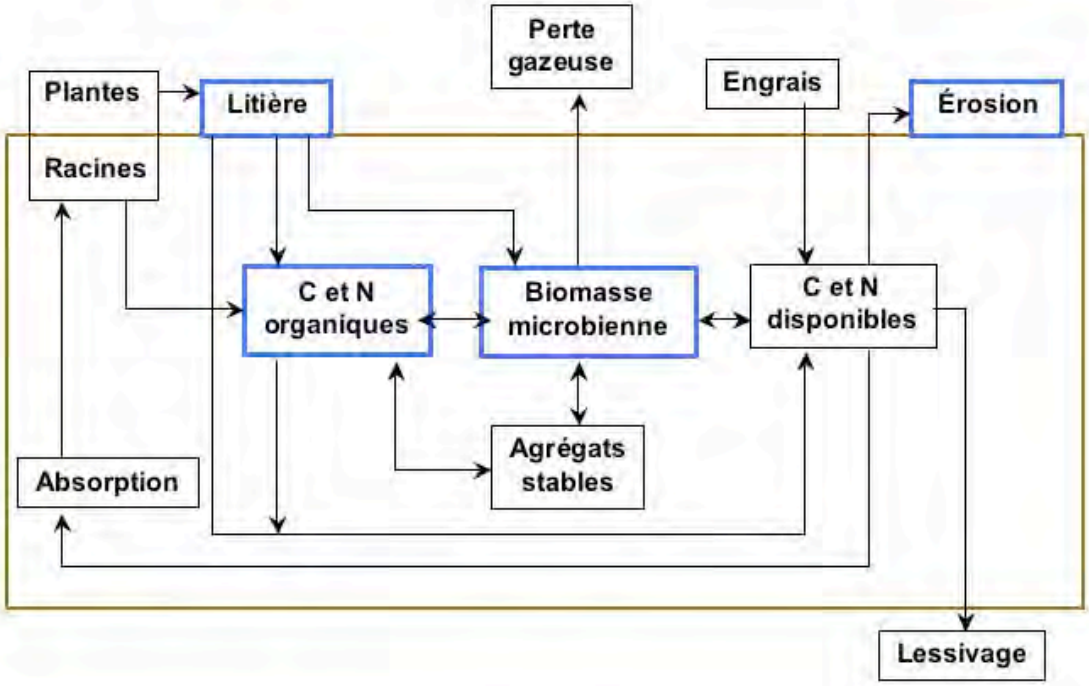


Figure 36 : Modèle mécaniste de l'évolution des pools et flux de C (et N) dans les écosystèmes en présence de vers de terre (haut) ou en absence de vers de terre (bas). Les boîtes bleues indiquent les pools de C (et N) pour lesquels les vers de terre (ou leur absence) peuvent avoir un impact particulièrement significatif (d'après Parmelee et al., 1998).

Les éléments ci-dessus montrent bien que notre connaissance de l'ampleur des mécanismes par lesquels la faune affecte le stockage du carbone est mal connue, notamment dans les zones tropicales. De plus, les études ayant principalement été réalisées à petite échelle (microcosmes…) et sur des durées relativement courtes, il est difficile de bien percevoir l'action à long terme et à de grandes échelles spatiales de la macrofaune sur le stockage du carbone (Lavelle e al., 1998 ; Parmelee et al., 1998).

VI.b.ii. Flux de N_2O et de CH_4

En milieu terrestre, les principales sources *d'émission de CH_4* (balance positive entre la production par les bactéries méthanogènes et la consommation par les bactéries méthanotrophes) sont les sols des zones humides (marais…) ou les sols inondés (rizières) (Le Mer & Roger, 2001). D'autres sources majeures sont les termites (Rouland et al., 1993) et les ruminants. Par conséquent, la plupart des sols tempérés et tropicaux continuellement émergés sont des puits de méthane.

Excepté dans les zones où les termites ont une activité importante, nous ne nous intéresserons donc pas à ce gaz.

Les flux de N_2O à l'interface sol-atmosphère, pour un climat et un sol donnés, sont sous la dépendance du niveau d'anoxie du sol à toutes ses échelles, exprimée souvent par la notion de « water filled pore space », de la teneur en C soluble et de la teneur en nitrates NO_3 de la solution du sol.

La macrofaune joue un rôle majeur sur ces paramètres, à travers son action spectaculaire sur la macroporosité au niveau du profil, ou la construction d'agrégats à des échelles plus fines, et par son rôle bien connu sur l'accélération de la minéralisation de l'azote (Cf. chapitres précédents). Comme on l'a vu plus haut, les excréments de la faune sont des microsites riches en C et en N disponible ; ils peuvent être anaérobiques, créant des conditions qui sont favorables à la dénitrification (Svensson et al., 1986 ; Elliott et al., 1990 et 1991). Knight et al. (1992) ont ainsi estimé que les turricules de surface pouvaient être responsables de 12 à 26% de la dénitrification totale des pâturages d'Angleterre. Il a également été prouvé que cet effet des vers commence dès l'incorporation du sol dans le tube digestif (Horn et al., 2003).

Les questions soulevées par la recherche des mécanismes liant l'activité de la faune au stockage du carbone et aux émissions de N_2O sont les suivantes (et résumées dans la figure 37) :

- Quel est l'effet de la faune (ingénieurs de la litière et ingénieurs du sol) sur la dynamique de la matière organique ?
    - Quels sont les groupes fauniques responsables de la décomposition de la litière ?
    - Quel est le devenir de la matière organique résultant de cette décomposition, en termes de modification chimique, de localisation dans le sol, de protection dans le sol ?
    - Comment la qualité de la matière organique affecte-t-elle cet effet de la faune et le devenir de la matière organique ?
- Quels sont les effets directs et indirects de la faune sur les communautés et l'activité microbiennes ?
    - La faune est-elle a l'origine de l'existence de microsites anaérobiques (émissions de N_2O), autrement dit, les biostructures sont-elles des sites privilégiés de production de N_2O ?
    - Quels sont les groupes fauniques qui peuvent affecter la production de N_2O ?
- Quelle est la durée de l'effet de la faune sur la séquestration du carbone (effet à court ou long terme) ? Quelle est la variabilité spatiale de cet effet ?

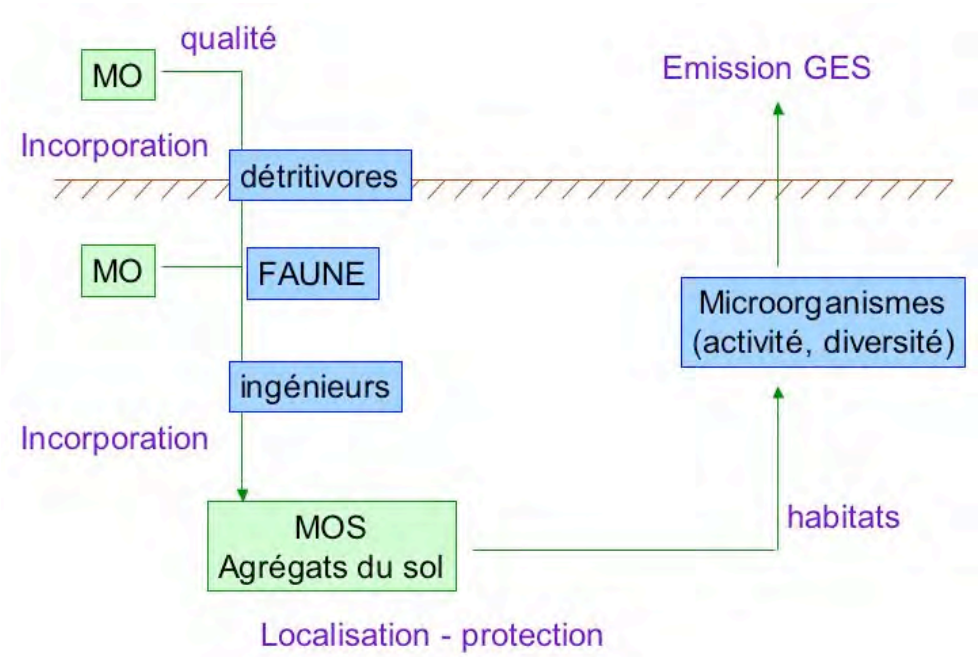


Figure 37 : Schéma conceptuel du rôle de la macrofaune sur la séquestration du carbone dans les systèmes à forte restitution organique.

VI.c. Actions de recherche

Notre approche sera de trois sortes : approche exploratoire, approche expérimentale, modélisation.

VI.c.i. Approche exploratoire

L'approche exploratoire consistera à étudier conjointement, dans différents types d'agrosystèmes, la diversité et l'abondance de la faune du sol (en termes de groupes fonctionnels notamment), les stocks de matière organique du sol, la distribution en classes de taille de cette matière organique, l'agrégation du sol et la stabilité de cette agrégation, la distribution de la matière organique dans les classes d'agrégats, les émissions de N_2O.
Ces actions seront menées essentiellement dans les systèmes où les apports organiques sont importants et où a priori la séquestration du carbone est possible : les systèmes à semis direct sous couverture végétale (qui se développent rapidement dans la zone tropicale), les systèmes agroforestiers à base de légumineuses, les prairies intensives, les systèmes maraîchers périurbains pour lesquels les apports de MO exogènes (composts notamment) sont importants. À noter que la majorité de ces systèmes est caractérisée par une absence de travail du sol, et que ces pratiques exercent également (Cf. chapitres précédents) un effet spectaculaire sur la diversité et la biomasse de la macrofaune du sol.

VI.c.ii. Approche expérimentale

L'approche expérimentale menée au champ ou en laboratoire permettra de tester plus précisément certaines hypothèses. Des expériences d'introduction ou d'exclusion de faune (macrofaune totale, certains groupes ou certaines espèces) du sol permettront de mieux comprendre le rôle de la faune dans la séquestration du carbone. L'utilisation de résidus marqués (C^{13}, N^{15}) permettra de suivre le devenir des résidus (dans l'espace, dans le temps).

VI.c.iii. Modélisation

La macrofaune du sol jouant certainement un rôle majeur dans les processus mêmes qui contrôlent la séquestration du carbone, l'un de nos objectifs sera de quantifier ce rôle. Pour cela, la modélisation sera nécessaire. En effet, aucun des modèles de dynamique de la matière organique du sol ou des restitutions, ou des flux de GES actuellement utilisés ne font intervenir formellement le compartiment macrofaune (Smith et al., 1998). Le rôle de la macrofaune du sol est implicitement pris en compte dans ces modèles (dont les plus connus

sont Century, Roth-C…) à travers les valeurs des coefficients de transfert ou de décomposition. Pourtant, dans certains cas, la non-prise en compte explicite de la macrofaune dans ces modèles donne de mauvaises prédictions (Groffman & Jones, 2000). Nous proposons donc de travailler sur le montage d'un module « macrofaune » qui s'intègrerait dans un modèle de dynamique de la matière organique et de flux de GES. La modélisation a aussi pour intérêt de soulever de nouvelles hypothèses de travail sur l'effet de la faune sur les processus et les flux de nutriments dans l'écosystème.

VI.c.iv. Collaborations

Cette recherche sera menée en collaboration avec plusieurs équipes qu'il s'agisse d'institutions de recherches agricoles (mise en place et gestion des systèmes) ou de laboratoires travaillant sur la taxonomie, la physique des sols, la dynamique de la matière organique, la diversité et l'activité microbienne, les émissions de GES et la modélisation. Ces collaborations sont déjà engagées notamment à Madagascar, où nous avons initié ces recherches dans les systèmes à semis direct sous couverture végétale.

VI.c.v. Mise en oeuvre de ce projet

Nous avons déjà démarré ces recherches dans le cadre d'un programme de recherche financé par le Fonds Français pour l'Environnement Mondial (« Semis direct sous couverture végétale (SCV) au Brésil et à Madagascar : activités biologiques du sol, agrégation et protection du carbone »). Notre objectif est de mieux comprendre le rôle de la faune du sol sur la séquestration du carbone dans les sols sous SCV, au Brésil et à Madagascar, en collaboration avec le CIRAD et leurs partenaires dans chacun de ces deux pays. À Madagascar, nous avons mis en place une étude destinée à quantifier l'effet des vers de terre endogés sur l'incorporation au sol de matières organiques enfouis ou non, et sur la protection physique de la matière organique dans les agrégats formés en présence de vers de terre. Cette étude est réalisée sur le terrain, en seaux, où sont manipulés les résidus de culture et les vers de terre. Cette étude permettra aussi de mieux comprendre le rôle des vers de terre sur la diversité et l'activité microbienne (notamment la dénitrification). Cette étude est menée en collaboration avec B. Rabary (chercheur FOFIFA, en cours de thèse), A. Ratnadass (entomologiste CIRAD), R. Lensi (microbiologiste CNRS), L. Phillipot (microbiologiste INRA), J.L. Chotte et A. Brauman (microbiologiste IRD), A. Albrecht (matière organique IRD), R. Oliver (protection physique de la matière organique, CIRAD), L. Lardy (émissions de N_2O, IRD).

VII. Bibliographie (références citées dans le texte)

(ordre alphabétique)

Achouak, W., Christen R., Barakat M., Martel M.H. & Heulin T. (1999) *Burkholderia caribensis* sp. nov. exopolysaccharide-producing bacterium isolated from Vertisol microaggregates in Martinique. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology 49 : 787-794.

Alegre, J., Pashanasi, B. and Lavelle, P. (1995) Dynamics of soil physical properties in Amazonian agroecosystems inoculated with earthworms. Soil Science Society of America Journal 60, 1522-1529.

Anderson J.M. & Ingram J.S.I. (Eds) (1993) Tropical Soil Biology and Fertility – A handbook of methods. 2nd edition. CAB International, Wallingford.

Barois I. (1987) Interactions entre les vers de terre (Oligochaeta) tropicaux géophages et la microflore pour l'exploitation de la matière organique du sol. Travaux des Chercheurs de Lamto, 7, 152 p.

Barois I. & Lavelle P. (1986) Changes in respiration rate and some physicochemical properties of a tropical soil during transit through *Pontoscolex corethrurus* (Glossoscolecidae, Oligochaeta). Soil Biology and Biochemistry 18, 539-541.

Barois, I., Villemin, G., Lavelle, P. and Toutain, F. (1993) Transformation of the soil structure through *Pontoscolex corethrurus* (Oligochaeta) intestinal tract. Geoderma 56, 57-66.

Barros E. (1999) Effet de la macrofaune sur la structure et les processus physiques du sol des pâturages dégradés d'Amazonie. Thèse de doctorat de l'Université Paris VI.

Bernoux M., Feller C., Cerri C.C., Eschenbrenner V., Cerri C.E.P. 2005. Soil carbon sequestration. In : Erosion & Carbon Dynamics (Roose E., Lal R., Feller C., Barthès B., Stewart B. Editeurs). Advances in Soil Science, CRC Publisher USA. Accepté. Sous presse.

Bouché M.B. (1972) Lombriciens de France. Ecologie et Systématique. INRA (Annales de Zoologie - Ecologie Animale, numéro hors série 72/2), Paris, 671 pages.

Bouché M.B. & Al-Addan F. (1997) Earthworms, water infiltration, and soil stability: some new assessments. Soil Biology and Biochemistry 29 : 441-452.

Boulaine J. (1989) Histoire des pédologues et de la science des sols. INRA, Paris, 298 pages.

Brussaard L. (1998) Soil fauna, guilds, functional groups and ecosystem processes. Applied Soil Ecology 9 : 123-135.

Brussaard, L., Kidza, N., Hillenaar, S.I. and Henrot, J. (1997) Effects of earthworms and plant residues on soil characteristics and maize crop performance in a pot experiment under humid tropical conditions (in prep.).

Casenave, A. et Valentin, C. (1988) Les états de surface : une des clefs de l'hydrologie sahélienne. Proceedings of the Sahel Forum on the state-of-the-art of hydrology and hydrogeology in the arid and semi-arid areas of Africa. UNESCO/IWRA, Urbana, Illinois, USA, 61-72.

Chapuis, L., Brossard, M., Lavelle, P. and Schouller, E. (1996) Organic and inorganic phosphorus transformations in a ferralsol ingested by a geophagous earthworm. IV International symposium on plant-soil interactions at low pH, March 17-24 1996, Belo-Horizonte, Brazil.

Charpentier F. (1996) Effets de l'inoculation d'un ver de terre endogé sur la dynamique de la matière organique d'un sol ferrallitique cultivé de l'Amazonie Péruvienne. Thèse de doctorat de l'université Paris VI.

Chevallier T. (1999) Dynamique et déterminants du stockage du carbone dans un vertisol sous prairie (Martinique). Thèse de doctorat en science du sol, ENSA Montpellier. Soutenue le 17-12-1999.

Darwin Ch. (1881) The formation of vegetable mould through the action of worms with some observations on their habits. John Murray, London, 298 pp.

Decaëns T., Rangel A.F., Asakawa N. & Thomas R.J. (1999) Carbon and nitrogen dynamics in ageing earthworm casts in grasslands of the Eastern plains of Colombia. Biology and Fertility of Soils 30 : 20-28.

Duboisset A. (1994) Interactions existant entre Polypheretima elon,gata (Oligochaeta, Megascolecidae) et les propriétés physico-chimiques des vertisols calco-magnéso-sodiques du Sud-Est de la Martinique suivant le mode d'anthropisation. Mémoire de MST, Université Paris VII, 32 pages + Annexes.

Duboisset A. (1995) Caractérisation et quantification par analyse d'image des modifications structurales engendrées par *Pontoscolex corethrurus* (Glossoscolecidae, Oligochaeta) sur un sol ferrallitique cultivé (Pérou). Mémoire de DEA, Université de Nancy I, 62pp.

Elliott P.W., Knight D. & Anderson J.M. (1990) Denitrification in earthworm casts and soil from pasture under different fertilizer and drainage regimes. Soil Biology and Biochemistry 22, 601-605.

Elliott P.W., Knight D. & Anderson J.M. (1991) Variables controlling denitrification from earthworm casts and soil in permanent pasture. Biology and Fertility of Soils 11 : 24-29.

Fontaine V. (1994) Rôle des macro-invertébrés dans la structuration de sols dégradés d'Amazonie. Mémoire de DEA, Université de Paris XII, 44pp.

Friend J.J. & Chan K.Y. (1995) Influence of cropping on the population of a native earthworm and consequent effects on hydraulic properties of Vertisols. Australian Journal of Soil Research, 33 : 995-106.

Gilot C. (1994) Effets de l'introduction du ver géophage tropical *Millsonia anomala* Omodeo en systèmes cultivés sur les caractéristiques des sols et la production végétale en Moyenne Côte d'Ivoire. Thèse de doctorat de l'université Paris XI, 178pp.

Groffman P.M. & Jones C.G. (2000) Soil processes and global change: will invertebrates make a difference? In : Coleman D.C. & Hendrix P.F. (Eds) Invertebrates as webmasters in ecosystems, CABI Publishing, Wallingford, UK, 313-326.

Hendrix P.F. Crossley Jr. D.A., Coleman D.C., Parmelee R.W. & Beare M.H. (1987) Carbon dynamics in soil microbes and fauna in conventional and no-tillage agroecosystems. INTECOL Bulletin 15 : 59-63.

Horn M.A., Schramm A. & Drake H.L. (2003) The earthworm gut : an ideal habitat for ingested N_2O-producing microorganisms. Applied and Environmental Microbiology 69 : 1662-1669.

Hunt H.W., Coleman D.C., Ingham E.R. et al. (1987) The detrital food web in a shortgrass prairie. Biology and Fertility of Soils 3 : 57-68.

Jones C.G., Lawton J.H. & Shachak M. (1994) Organisms as ecosystem engineers. Oikos 69 : 373-386.

Jones C.G., Lawton J.H. & Shachak M. (1997) Positive and negative effects of organisms as physical ecosystem engineers. Ecology 78 : 1946-1957.

Knight D., Elliott P.W., Anderson J.M. & Scholefield D. (1992) The role of earthworms in managed, permanent pastures in Devon, England. Soil Biology and Biochemistry 24 : 1511-1518.

Lattaud C., Zhang B.G., Locati S., Rouland C. & Lavelle P. (1997) Activities of the digestive enzymes in the gut and in tissue culture of a tropical geophagous earthworm, *Polypheretima elongata* (Megascolecidae). Soil Biology and Chemistry, 29 : 335-340.

Lattaud C., Locati S., Mora P., Rouland C. & Lavelle P. (1998) The diversity of digestive systems in tropical geophagous earthworms. Applied Soil Ecology, 9 : 189-196.
Lavelle, P. (1978) Les vers de terre de la savane de Lamto (Côte d'Ivoire) : peuplements, populations et fonctions dans l'écosystème. Thèse de doctorat d'état, Université de Paris VI. Publication du laboratoire de Zoologie de l'ENS 12, 310pp.
Lavelle P. (1997) Faunal activities and soil processes : adaptive strategies that determine ecoisystem function. Advances in Ecological Research 27 : 93-132.
Lavelle P. (2002) Functional domains in soils. Ecological Research 17 : 441-450.
Lavelle P., Melendez G., Pashanasi B. & Schaefer R. (1992) Nitrogen mineralization and reorganization in casts of the geophagous tropical earthworm *Pontoscolex corethrurus* (Glossoscolecidae). Biology and Fertility of Soils 14 : 49-53.
Lavelle P., Pashanasi B., Charpentier F., Gilot C., Rossi J.P., Derouard L., André J., Ponge J.F. & Bernier N. (1998) Large-scale effects of earthworms on soil organic matter and nutrient dynamics. In : Edwards C.A. (Ed.) Earthworm Ecology, St. Lucie Press, Columbus, Ohio. pp 103-122.
Lavelle P. & Spain A.V. (2001) Soil ecology. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 654 pages.
Le Mer J. & Roger P. (2001) Production, oxidation, emission and consumption of methane by soil : a review. European Journal of Soil Biology 37 : 25-50.
Marinissen, J.C.Y. and Dexter, A.R. (1990) Mechanisms of stabilization of earthworm casts and artificial casts. Biology and Fertility of Soils 9, 163-167.
Martin, A. (1991) Short- and long-term effect of the endogeic earthworm *Millsonia anomala* (Omodeo) (Megascolecidae, Oligochaeta) of a tropical savanna, on soil organic matter. Biology and Fertility of Soils 11, 234-238.
Martin A., Mariotti A., Balesdent J. & Lavelle P. (1991) Soil organic matter assimilation by a geophagous tropical earthworm based on ^{13}C measurements. Ecology, 73 : 118-128.
Martin, A. and Marinissen, J.C.Y. (1993) Biological and physico-chemical processes in excrements of soil animals. Geoderma 56, 331-347.
Minnich J., 1977 - The earthworm book: How to raise and use earthworms for your farm and garden. Rodale Press, Bethlehem.
Müller P.E. (1879) Studier over Skovjord, som Bidrag til Skovdyrkningens Theori. I. Om bøgemuld og Bøgemor på Sand og Ler. Tidsskrift for Skovbrug, 3: 1-124.
Müller P.E. (1884) Studier over Skovjord, som Bidrag til Skovdyrkningens Theori. II. Om Muld og Mor i Egeskove og paa Heder. Tidsskrift for Skovbrug, 7: 1-232.
Parker S.P. (1982) Synopsis and Classification of Living Organisms. Volume 2. McGraw-Hill Book Company, New York.
Parmelee R.W., Bohlen P.J., Blair J.M. (1998) Earthworms and nutrient cycling processes : integrating across the ecological hierarchy. In : Edwards C.A. (Ed.) Earthworm Ecology, St. Lucie Press, Columbus, Ohio. pp 123-143.
Raunet M. & Séguy L. (1998) Gestion agrobiologique et semis direct: enjeux pour l'agriculture tropicale. Oléagineux, Corps gras, Lipides (OCL). Dossier 5: 123-125
Rossi J.P. (2003a) Clusters in earthworm spatial distribution. Pedobiologia, 47 : 490-496.
Rossi J.P. (2003b) The spatiotemporal pattern of a tropical earthworm species assemblage and its relationship with soil structure. Pedobiologia, 47 : 497-503.
Rossi J.P. (2003c) Short-range structures in earthworm spatial distribution. Pedobiologia, 47 : 582-587.
Rouland C., Brauman A., Labat M. & Lepage M. (1993) Nutritional factors affecting methane emission from termites. Chemosphere 26 : 617-622.
Rozier l'Abbé, 1781-1805 - Cours complet d'agriculture théorique, pratique, économique et de médicine rurale et vétérinaire. 12 Vols., Rue et Hôtel Serpente, Paris.

Scheu S. (1987) Microbial activity and nutrient dynamics in earthworm casts (Lumbricidae). Biology and Fertility of Soils 5 : 230-234.
Scheu S. (1991) Mucus excretion and carbon turnover of endogeic earthworms. Biology and Fertility of Soils 12 : 217-220.
Schloesing Th. & Muntz A. (1877) Sur la nitrification par les ferments organisés. C.R. Académie des Sciences, tome 84: 301-3003, et tome 85: 1018-1020.
Shipitalo, M.J. and Protz, R. (1988) Factors influencing the dispersibility of clay in worm casts. Soil Science Society of America Journal 52, 764-769.
Shipitalo, M.J. and Protz, R. (1989) Chemistry and micromorphology of aggregation in earthworm casts. Geoderma 45, 357-374.
Smith P., Andrén O., Brussaard L., Dangerfield M., Ekschmitt K., Lavelle P. & Tate K. (1998) Soil biota and global change at the ecosystem level : describing soil biota in mathematical models. Global Change Biology 4 : 773-784.
Svensson B.H., Bostrom U. & Klemedtson L. (1986) Potential for higher rates of denitrification in earthworm casts than in the surrounding soil. Biology and Fertility of Soils 2 : 147-149.
Swift M.J., Heal O.W. & Anderson J.M. (1979) Decomposition in terrestrial ecosystem. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
Tian G., Kang B.T. & Brussaard L. (1997) Effect of mulch quality on earthworm activity and nutrient supply in the humid tropics. Soil Biology and Biochemistry 29 : 369-373.
Villenave C., Charpentier F., Lavelle P., Feller C., Brussaard L., Pashanasi B., Barois I., Albrecht A. & Patron J.C. (1999) Effects of earthworms on soil organic matter and nutrient dynamics following earthworm inoculation in field experimental situations. In Lavelle P., Brussaard L. & Hendrix P. (eds) Earthworm management in tropical agroecosystems. CABI Publishing, 173-197.
Wardle D.A. (2002) Communities and ecosystems: linking the aboveground and belowground components. Princeton University Press, Princeton, NJ, USA.
Watanabe H. & Ruaysoongnern S. (1984) Cast production by the Megascolecid earthworm Pheretima sp. in northeastern Thailand. Pedobiologia 26 : 37-44.
White G., 1789 - The natural history of Selborne. Benjamin White, London.
Zhang H. and Schrader S. (1993) Earthworm effects on selected physical and chemical properties of soil aggregates. Biology and Fertility of Soils 15, 229-234.

VIII. Liste des publications

(Ordre chronologique)

VIII.a. Mémoires

1. **Blanchart E.** (1985) Contribution à l'étude de la microdistribution des larves de Diptères le long de gradients hydriques en bordure d'étang. Rapport de DEA, Université de Rennes I. 47 pages.
2. **Blanchart E.** (1990) Rôle des vers de terre dans la formation et la conservation de la structure des sols de la savane de Lamto (Côte d'Ivoire). Thèse de doctorat de l'Université de Rennes I.

VIII.b. Publications dans des revues à comité de lecture

3. **Blanchart E.**, Frenot Y. & Tréhen P. (1987) Signification biologique du potentiel hydrique dans la distribution des diptères à larves hydrophiles. Pedobiologia, 30 : 333-344.
4. **Blanchart E.**, Lavelle P. & Spain A.V. (1989) Effects of two tropical earthworms (Oligochaeta : Eudrilidae) on the size distribution of aggregates in an African soil. Revue d'Ecologie et de Biologie du Sol, 26 : 417-425.
5. **Blanchart E.**, Lavelle P. & Spain A.V. (1990) Effects of biomass and size of *Millsonia anomala* (Oligochaeta : Acanthodrilidae) on particle aggregation in a tropical soil in the presence of *Panicum maximum* (Gramineae). Biology and Fertility of Soils, 10 : 113-120.
6. **Blanchart E.** (1992) Role of earthworms in the restoration of the macroaggregate structure of a de-structured savanna soil under field conditions. Soil Biology & Biochemistry, 24 : 1587-1594.
7. **Blanchart E.**, Bruand A., Lavelle P. (1993) The physical structure of casts of *Millsonia anomala* (Oligochaeta: Megascolecidae) in shrub savanna soils (Côte d'Ivoire). Geoderma, 56 : 119-132.
8. Lavelle P., **Blanchart E.**, Martin A., Martin S., Barois I., Toutain F., Spain A.V. & Schaefer R. (1993) A hierarchical model for decomposition in terrestrial ecosystems. Application to soils of the humid tropics. Biotropica, 25 : 130-150.
9. Gilot C., Lavelle P., **Blanchart E.**, Keli J., Kouassi P. & Guillaume G. (1995) Biological activity of soil under rubber plantations in Côte d'Ivoire. Acta Zoologica Fennica, 196 : 186-189.
10. Basu P., **Blanchart E.** & Lepage M. (1996) Termite community as influenced by anthropogenic disturbance of natural vegetation in the Western Ghats (South India). European Journal of Soil Biology, 32 : 113-121.
11. **Blanchart E.**, Lavelle P., Braudeau E., Le Bissonnais Y. & Valentin C. (1997) Regulation of soil structure by geophagous earthworm activities in humid savannas of Côte d'Ivoire. Soil Biology and Biochemistry, 29 : 431-439.
12. **Blanchart E.** & Julka J.M. (1997) Influence of forest disturbance on earthworm (Oligochaeta) communities in the Western Ghats (South India). Soil Biology and Biochemistry, 29 : 303-306.
13. Fragoso C., Brown G.G., Patron J.C., **Blanchart E.**, Lavelle P., Pashanasi B. & Senapati B.K. (1997) Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function: the role of earthworms. Applied Soil Ecology, 6 : 17-35.
14. Young I., **Blanchart E.**, Chenu C., Dangerfield M., Fragoso C., Grimaldi M., Ingram J. & Jocteur-Monrozier L. (1998) The interaction of soil biota and soil structure under global change. Global Change Biology, 4 : 703-712.

15. Loranger G., Ponge J.F., **Blanchart E.** & Lavelle P. (1998) Impact of earthworms on the diversity of microarthropods in a vertisol (Martinique). Biology and Fertility of Soils, 27 : 21-26.
16. Loranger G., Ponge J.F., **Blanchart E.** & Lavelle P. (1998) Influence of agricultural practices on arthropod communities in a vertisol (Martinique). European Journal of Soil Biology, 34 : 157-166.
17. Lavelle P., Barois I., **Blanchart E.**, Brown G., Brussaard L., Decaëns T., Fragoso C., Jimenez J.J., Kajondo K.K., Martinez M.A., Moreno A., Pashanasi B., Senapati B.K. & Villenave C. (1998) Earthworms as a resource in tropical agroecosystems. Nature and Resources, 34 : 26-41.
18. Hartmann C., **Blanchart E.**, Albrecht A., Bonneton A., Parfait F., Mahieu M., Gaullier C. & Ndandou J.F. (1998) Nouvelles techniques de préparation des vertisols en culture maraîchère à la Martinique. Incidences pédologiques et agro-économiques. Agriculture et Développement, 18 : 81-89.
19. Albrecht A., Angers D.A., Beare M.H., **Blanchart E.** (1998) Déterminants organiques et biologiques de l'agrégation : implications pour la recapitalisation de la fertilité physique des sols tropicaux. Cahier Agricultures, 7 : 357-363.
20. Chauvel A., Grimaldi M., Barros E., **Blanchart E.**, Desjardins T., Sarrazin M. & Lavelle P. (1999) Pasture damage by an Amazonian earthworm. Nature, 398 : 32-33.
21. Chevallier T., Voltz M., **Blanchart E.**, Chotte J.L., Eschenbrenner V., Mahieu M. & Albrecht A. (2000) Spatial and temporal changes of soil C after establishment of a pasture on a long-term cultivated vertisol (Martinique). Geoderma, 94 : 43-58.
22. **Blanchart E.**, Achouak W., Albrecht A., Barakat M., Bellier G., Cabidoche Y.M., Hartmann C., Heulin T., Larré-Larrouy C., Laurent J.Y., Mahieu M., Thomas F., Villemin G. & Watteau F. (2000) Déterminants biologiques de l'agrégation des vertisols des Petites Antilles. Conséquences sur l'érodibilité des sols. Étude et Gestion des Sols, 7 : 309-328.
23. Cabidoche Y.M., Guillaume P., Hartmann C., Ruy S., **Blanchart E**., Albrecht A., Mahieu M., Achouak W., Heulin T., Villemin G., Watteau F. & Bellier G. (2000) Déterminants biologiques du système poral des vertisols cultivés des Petites Antilles. Conséquences sur la disponibilité de l'eau du sol pour les plantes. Étude et Gestion des Sols, 7 : 329-352.
24. Feller C., Brown G.G. & **Blanchart E.** (2000) Darwin et le biofonctionnement des sols. Etude et Gestion des Sols, 7 : 395-402.
25. Chevallier T., **Blanchart E.**, Girardin C., Mariotti A., Albrecht A. & Feller C. (2001) The role of biological activity (roots, earthworms) on medium-term C dynamics in Vertisol under a Digitaria decumbens (Gramineae) pasture. Applied Soil Ecology, 16 : 11-21.
26. Lavelle P., Barros E., **Blanchart E.**, Brown G., Desjardins T., Mariani L. & Rossi J.P. (2001) SOM management in the tropics : Why feeding the soil macrofauna ? Nutrient Cycling in Agroecosystems, 61 : 53-61.
27. Feller C., Albrecht A., **Blanchart E.**, Cabidoche Y.M., Chevallier T., Hartmann C., Eschenbrenner V., Larré-Larrouy M.C. & Ndandou J.F. (2001) Soil organic carbon sequestration in tropical areas. General considerations and analysis of some edaphic determinants for Lesser Antilles soils. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 61 : 19-31.
28. Barros E., Neves A., **Blanchart E.**, Fernandes E.C., Wandelli E. & Lavelle P. (2003) Development of the soil macrofauna community under silvopastoral and agrosilvicultural systems in Amazonia. Pedobiologia, 47 : 273-280.
29. Larré-Larrouy M.C., Albrecht A., **Blanchart E.**, Chevallier T. & Feller C. (2003) Carbon and monosaccharides of a tropical Vertisol under pasture and market-gardening: distribution in primary organomineral separates. Geoderma, 117 : 63-79.

30. Larré-Larrouy M.C., **Blanchart E.**, Albrecht A., & Feller C. (2003) Carbon and monosaccharides of a tropical Vertisol under pasture and market-gardening: distribution in secondary organomineral separates. Geoderma, in press.
31. Barthès B., Azontonde A., **Blanchart E.**, Girardin C., Villenave C., Lesaint S., Oliver R., Mariotti A. & Feller C. (2004) Effect of a legume cover crop (*Mucuna pruriens* var. *utilis*) on soil carbon in an Ultisol under maize cultivation in southern Benin. Soil Use and Management, 20 : 231-239.
32. Brown G.G., Feller C., **Blanchart E.**, Deleporte P. & Chernyanskii S.S. (2003) With Darwin, earthworms turn intelligent and become human friends. Pedobiologia, 47, 924-933.
33. Feller C., Brown G.G., **Blanchart E.**, Deleporte P. & Chernyanskii S.S. (2003) Charles Darwin, earthworms and the natural sciences: various lessons from past to future. Agriculture, Ecosystems and Environment, 99 : 29-49.
34. **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.
35. Chevallier T., **Blanchart E.**, Albrecht A. & Feller C. (2004) The physical protection of soil organic carbon in aggregates: a mechanism of carbon storage in a Vertisol under pasture and market gardening. Agriculture, Ecosystems and Environment,103 : 375-387.
36. Brossard M., Boddey R.M. & **Blanchart E.** (2004) Soil processes under pastures in intertropical areas. Preface. Agriculture, Ecosystems and Environment,103 : 267-268.
37. **Blanchart E.**, Albrecht A., Chevallier T. & Hartmann C. (2004) The respective roles of biota (roots and earthworms) in the restoration of physical properties in vertisol under a *Digitaria decumbens* pasture (Martinique). Agriculture, Ecosystems and Environment, 103 : 343-355.
38. Decaëns T., Jiménez J.J., Barros E., Chauvel A., **Blanchart E.**, Fragoso C. & Lavelle P. (2004) Soil macrofaunal communities in permanent pastures derived from tropical forest or savanna. Agriculture, Ecosystems and Environment, 103 : 301-312.
39. Julka J.M., **Blanchart E.** & Chapuis-Lardy L. (2004) New genera and new species of earthworms (Oligochaeta : Octochaetidae) from Western Ghats, South India. Zootaxa, 486 : 1-27.
40. Feller C. & **Blanchart E.** (2004) Quatre grands savants ont observé des profils et/ou décrit des techniques de prospection pédologique avant 1850 : Palissy, Buffon, Thaer et Darwin. Étude et Gestion des Sols, 11 : 165-173.
41. Rossi J.P. & **Blanchart E.** (2005) Seasonal and land-use induced variations of soil macrofauna composition in the Western Ghats (South India). Soil Biology and Biochemistry, 37 : 1093-1104.
42. **Blanchart E.**, Brown G.G., Chernyanskii S.S., Deleporte P., Feller C. & Goulet F. (2005) Perception et popularité des vers de terre avant et après Darwin. Etude et gestion des Sols, 12 : 145-152.
43. Feller C., **Blanchart E.**, Jabiol B. & Greve M.H. (2005) Quand l'humus est à l'origine de la pédologie. 1. Les travaux du forestier danois P.E. Müller (1840-1926). Etude et Gestion des Sols, 12 : 101-122.

VIII.c. Publications dans revues sans comité de lecture

44. **Blanchart E.** & Langlais C. (2001) Matière organique et agriculture. Les Cahiers du PRAM, 1 : 13-16.

45. **Blanchart E.** (2002) Diversité de la faune du sol dans les systèmes cultivés à la Martinique. Les Cahiers du PRAM, 2 : 15-17.
46. Venkatapen C., **Blanchart E.**, Louri J., Rangon L., Totila R. & Urien B. (2002) Déterminants édaphiques et agronomiques des stocks organiques des sols de la Martinique. Les Cahiers du PRAM, 2 : 11-14.
47. **Blanchart E.** & Bernoux M. (2004) Le programme GESSOL-Antilles. Les Cahiers du PRAM, 4 : 11-12.
48. Feller C., Bernoux M., Eschenbrenner V., Barthès B. & **Blanchart E.** (2004) Les Cahiers du PRAM, 4 :13-16.
49. Cabidoche Y.M., **Blanchart E.**, Arrouays D., Grolleau E., Lehmann S. & Colmet-Daage F. (2004) Les Petites Antilles : des climats variés, des sols de natures contrastées et de fertilités inégales sur des espaces restreints. Les Cahiers du PRAM, 4 : 21-25.
50. Bernoux M., **Blanchart E.**, Venkatapen C., Noronha N.C., Burac M., Colmet-Daage F. & Scherer C. (2004) Evolution de l'occupation des sols en Martinique. Les Cahiers du PRAM, 4 : 27-30.
51. **Blanchart E.**, Cabidoche Y.M., Sierra J., Venkatapen C., Langlais C. & Achard R. (2004) Stocks de carbone dans les sols pour différents agrosystèmes des Petites Antilles. Les Cahiers du PRAM, 4 : 31-34.
52. Venkatapen C., **Blanchart E.**, Bernoux M. & Burac M. (2004) Déterminants des stocks de carbone dans les sols et spatialisation à l'échelle de la Martinique. Les Cahiers du PRAM, 4 : 35-38.

VIII.d. Chapitres d'ouvrages

53. Lavelle P., Martin A., **Blanchart E.**, Gilot C., Melendez G. & Pashanasi B. (1991) Conservation de la fertilité des sols de savane par la gestion de l'activité de la macrofaune du sol. *In* : Savanes d'Afrique, terres fertiles ? Actes des Rencontres Internationales, Montpellier, CIRAD-Ministère de la Coopération : 371-397 .
54. Lavelle P., **Blanchart E.**, Martin A., Spain A.V. & Martin S. (1992) Impact of soil fauna on the properties of soils in the humid tropics. *In* : Lal R. & Sanchez P.A.(Eds) : Myths and Science of Soils of the Tropics, Soil Science Society of America, Special Publication 29 : 157-185.
55. Chotte J.L., **Blanchart E.** & Lavelle P. (1995) Gestion durable des terres en milieu tropical. Régulation biologique des processus de décomposition de la matière organique. *In* : Ganry F. & Campbell B. (Eds) : Sustainable land management in African semi-arid and subhumid regions. Proceedings of the SCOPE Workshop, 15-19 November 1993, Dakar, Senegal. CIRAD, Montpellier, France : 89-97.
56. Chauvel A., Barbosa E.M., **Blanchart E.**, Grimaldi M., Ferraz J., Martins P., Topall O., Barros E., Desjardins T., Filho N.L., Miranda I.P., Sarrasin M. & Mitja D. (1997) Mise en valeur de la forêt et modifications écologiques. In: Théry H. (Ed.) Environnement et développement en Amazonie Brésilienne, Editions Belin : 42-75.
57. Fragoso C., Kanyonyo J., Moreno A., Senapati B.K., **Blanchart E.** & Rodriguez C. (1999) A survey of tropical earthworms : taxonomy, biogeography and environmental plasticity. In Lavelle P., Brussaard L. & Hendrix P. (eds) Earthworm management in tropical agroecosystems. CABI Publishing, 1-26.
58. Fragoso C., Lavelle P., **Blanchart E.**, Senapati B.K., Jimenez Jaen J.J., Martinez M., Decaëns T. & Tondoh J. (1999) Earthworm communities of tropical agroecoecosystems : origin, structure and influence of management practices. In Lavelle P., Brussaard L. &

Hendrix P. (eds) Earthworm management in tropical agroecosystems. CABI Publishing, 27-56.
59. Barois I., Lavelle P., Brossard M., Tondoh J., Martinez M., Rossi J.P., Senapati B.K., Angeles A., Fragoso C., Jimenez Jaen J.J., Decaëns T., Lattaud C., Kanyonyo J., **Blanchart E.**, Chapuis L., Brown G.G. & Moreno A. (1999) Ecology of earthworm species with large environmental tolerance and/or extended distributions. In Lavelle P., Brussaard L. & Hendrix P. (eds) Earthworm management in tropical agroecosystems. CABI Publishing, 57-86.
60. Brown G.G., Pashanasi B., Villenave C., Patron J.C., Senapati B.K., Giri S., Barois I., Lavelle P., **Blanchart E.**, Blakemore R.J., Spain A.V. & Boyer J. (1999) Effects of earthworms on plant production in the tropics. In Lavelle P., Brussaard L. & Hendrix P. (eds) Earthworm management in tropical agroecosystems. CABI Publishing, 87-148.
61. **Blanchart E.**, Albrecht A., Alegre J., Duboisset A., Villenave C., Pashanasi B., Lavelle P. & Brussaard L. (1999) Effects of earthworms on soil structure and physical properties. In Lavelle P., Brussaard L. & Hendrix P. (eds) Earthworm management in tropical agroecosystems. CABI Publishing, 149-172.
62. Senapati B., Lavelle P., Giri S., Pashanasi B., Alegre J., Decaëns T., Jimenez J.J., Albrecht A., **Blanchart E.**, Mahieu M., Rousseaux L., Thomas R., Panigrahi P.K. & Venkatachalam M. (1999) In-soil earthworm technologies for tropical ecosystems. In Lavelle P., Brussaard L. & Hendrix P. (eds) Earthworm management in tropical agroecosystems. CABI Publishing, 199-238.
63. Khamsouk B., Roose E., Dorel M. & **Blanchart E.** (1999) Effets des systèmes de culture bananière sur la stabilité structurale et l'érosion d'un sol brun-rouille à halloysite en Martinique. Bulletin du Réseau Erosion, 19 "L'influence de l'homme sur l'érosion, Vol. 1 : 206-215.
64. Lavelle P., Barois I., **Blanchart E.**, Brown G.G., Brussaard L., Decaëns T., Fragoso C., Jimenez J.J., Kajondo K.K., Martinez M., Moreno A., Pashanasi B., Senapati B.K. & Villenave C. (2001) Earthworms as a resource in tropical agroecosystems. In Subba Rao N.S. & Dommergues Y.R. (eds) Microbial interactions in agriculture and forestry. Science Publishers Inc., Enfield, USA, Plymouth, U.K. pp 163-181.
65. Lavelle P., **Blanchart E.**, Rossi J.P., Decaëns T. & Barros E. (2001) Les organismes et la porosphère du sol. Bulletin du Groupe Francophone Humidimétrie et Transferts en Milieux Poreux, N° 47 : 111-123.
66. Albrecht A., Cadisch G., **Blanchart E.**, Sitompul S.M. & Vanlauwe B. (2002) Below- and aboveground organic inputs, soil C storage and soil structure improvements and consequences for agroecosystems functions. In Ong C., Cadisch G. & van Noordwijk M. (eds) Belowground interactions, ICRAF-CABI.
67. **Blanchart E.**, Roose E., Khamsouk B., Dorel M., Laurent J.Y., Larré-Larrouy M.C., Rangon L., Pinot J.P. & Louri J. (2004) Pertes en carbone par erosion et drainage et variations de stocks de C en deux ans sous différentes pratiques en culture bananière (Martinique). Bulletin du Réseau Erosion, 22 : 95-107.
68. **Blanchart E.**, Roose E. & Khamsouk B. (2005) Carbon (C) losses by erosion and leaching, and C stock changes after two years in banana cropping systems with different practices (Nitisol, Martinique, West Indies). In : Erosion & Carbon Dynamics (Roose E., Lal R., Feller C., Barthès B., Stewart B. Editeurs). Advances in Soil Science, CRC Publisher USA. Accepté. 300 pp.
69. Saffache P., **Blanchart E.**, Cabidoche Y.M., Josien E., Michalon T., Saudubray F. & Scherer C. (2005) Contexte de l'agriculture martiniquaise : atouts et contraintes pour l'agriculture biologique. In: Agriculture biologique en Martinique (François M., Moreau R.

& Sylvander B. (Eds)), Chapitre 2, CD-Rom, Editions IRD, Collection Expertise Collégiale.
70. Cabidoche Y.M., Benoit M., **Blanchart E.**, Fournet J., Lhoste P., Gautronneau Y., Langlais C., Taupier-Lepage B. & Toribio A. (2005) Faisabilité technique de l'agriculture biologique en Martinique : aspects généraux. In : Agriculture Biologique en Martinique (François M., Moreau R. & Sylvander B. (Eds)), Chapitre 3, CD-Rom, Editions IRD, Collection Expertise Collégiale.
71. Josien E., Benoît M., **Blanchart E.**, Moreau R., Saffache P. & Sicot M. (2005) Faibsailité technique de l'agriculture biologique à la Martinique : productions. In : Agriculture biologique en Martinique (François M., Moreau R. & Sylvander B. (Eds)), Chapitre 5, CD-ROM, Editions IRD, Collection Expertise Collégiale.
72. **Blanchart E.**, Cabidoche Y.M., Gautronneau Y. & Moreau R. (2005) Les aspects spatiaux et environnementaux de l'agriculture biologique. In : Agriculture biologique en Martinique (François M., Moreau R. & Sylvander B. (Eds)), Chapitre 6, CD-ROM, Editions IRD, Collection Expertise Collégiale.
73. François M., Bertin Y., **Blanchart E**., Langlais C., Leusie M., Mbolidi-Baron H., Toribio A. & Sylvander B. (2005). Les marchés des produits biologiques de la Martinique : marché local et exportation. In : Agriculture biologique en Martinique (François M., Moreau R. & Sylvander B. (Eds)), Chapitre 7, CR-Rom, Editions IRD, Collection Expertise collégiale.
74. Cluzeau D., **Blanchart E.**, Perès G., Ablain F., Cuendet G., Fayolle L. & Lavelle P. (2005) Faune du sol et lombriciens dans les sols tempérés agricoles. In : Girard M.C., Walter C., Rémy J.C., Berthelin J. & Morel J.L. (Eds), Sols et Environnement. Dunod, Paris. pp 387-407.
75. **Barthès B**., Azontonde A., **Blanchart E**., Girardin C., **Villenave C**., Oliver R. & **Feller C**. (2005). Effect of a legume cover crop on carbon storage and erosion in an Ultisol under maize cultivation in southern Benin. In : Roose E., Lal R., Feller C., Barthès B., Stewart B. (éds.), Soil Erosion and Carbon Dynamics. Advances in Soil Science, CRC Press, Boca Raton, Floride (USA). sous presse.
76. Feller C., Clermont-Dauphin C., Venkatapen C., **Blanchart E.**, Cabidoche Y.M., Albrecht A., Bernoux M., Chevallier T., Larré-Larrouy M.C., Cerri C.E.P., Arrouays D. (2005) Soil organic carbon sequestration in the Carribean biome. In : Soil Carbon Sequestration and Global Climate Change: Mitigation Potential of Soils of Latin America (Lal R., Cerri C.C., Bernoux M., Etchevers J. Editeurs); The Harworth Press Inc., Binghamton, NY. ISBN: 978-1-56022-136-4

VIII.e. Communications dans des congrès internationaux

77. **Blanchart E.** (1992) Resoration by earthworms (Megascolecidae) on the macroaggregate structure of a destructured savanna soil under field conditions. 4th International Symposium on Earthworm Ecology, Avignon, 11-15 juin 1990. Communication orale.
78. Rossi J.P., **Blanchart E.** & Lavelle P. (1993) Effets des vers de terre sur les propriétés physiques et chimiques des sols : leur utilisation potentielle en agriculture tropicale. XXIXe congrès de la Caribbean Food Crops Society (Agriculture intensive dans les îles de la Caraïbe : enjeux, contraintes et perspectives), Fort-de-France (Martinique), 04-10 juillet 1993. Actes du Colloque : 428-440. Communication orale.
79. Palm C., Bear M.H., **Blanchart E.**, Okwakol, M. (1994) Biological control of soil organic matter dynamics. International Workshop on the Management of Carbon in Tropical Soils under Global Change : Science, practise and policy. ICRAF, Nairobi, 07-11 février 1994. Communication orale.

80. Chotte J.L., **Blanchart E.** & Lavelle P. (1995) Gestion durable des terres en milieu tropical. Régulation biologique des processus de décomposition de la matière organique. In Ganry F. & Campbell B. (eds) Sustainable land management in African semi-arid and subhumid regions. Proceedings of the SCOPE Workshop, 15-19 November 1993, Dakar, Senegal. CIRAD, Montpellier, France : 89-97. Communication orale.
81. Barros M.E., **Blanchart E.**, Neves A., Desjardins T., Chauvel A., Sarrazin M. & Lavelle P. (1996) Relação entre a macrofauna e a agregação do solo em três sistemas na Amazônia Central. Congrès International Solo-Suelo, Iguas de Lindoia, Brésil, août 1996. Poster.
82. **Blanchart E.** (1998) Earthworms and soil structure and physical properties in kaolinitic and smectitic tropical soils. Congrès Mondial de Science du Sol, Montpellier, 20-26 août 1998. Communication orale.
83. Albrecht A., Angers D.A., Beare M.H. & **Blanchart E.** (1998) Interactions entre agrégation, matière organique du sol et activités biologiques : implications pour la recapitalisation de la fertilité des sols tropicaux. Congrès Mondial de Science du Sol, Montpellier, 20-26 août 1998. Communication orale.
84. Bonneton A., Hartmann C., **Blanchart E.**, Gaullier C., Parfait F., Mahieu M. & Ndandou J.F. (1998) Consequences of two tillage systems on vertisol evolution and on working costs. Congrès Mondial de Science du Sol, Montpellier, 20-26 août 1998. Poster.
85. Chevallier T., **Blanchart E.**, Albrecht A., Chotte J.L., Eschenbrenner V., Voltz M. & Mahieu M. (1998) Restoration of C content and earthworm population in a vertisol under pasture (Martinique). Congrès Mondial de Science du Sol, Montpellier, 20-26 août 1998. Poster.
86. Hartmann C., **Blanchart E.**, Louri J., Rangon L. & Bernard J. (1998) Rehabilitation processes under fallow and pasture of a compacted vertisol in Martinique (FWI). Congrès Mondial de Science du Sol, Montpellier, 20-26 août 1998. Poster.
87. **Blanchart E.**, Schrader S. & Lavelle P. (1998) Role of earthworms in the conservation or rehabilitation of physical properties in cultivated tropical and temperate soils. Conférence introductive (invitée) de la session "Earthworms, physical properties and soil function", 6th International Symposium on Earthworm Ecology, Vigo, Espagne, Septembre 1998. Communication orale invitée.
88. Loranger G., Ponge J.F., **Blanchart E.** & Lavelle P. (1998) Impact des vers de terre sur la diversité des arthropodes dans un vertisol (Martinique). 9e congrès de la Caribbean Academy of Sciences, Guadeloupe, 28-30 mai 1998. Poster.
89. **Blanchart E.**, Albrecht A., Chevallier T., Hartmann C., Bernard J., Laurent J.Y., Louri J. & Rangon L. (2000) Respective roles of roots and earthworms in the restoration of C stocks and physical properties under pastures (vertisol, Martinique, FWI). Communication orale. Symposium "Soil functioning under pastures in intertropical areas", Brasilia, 16-20 octobre 2000. Communication orale.
90. Chevallier T., **Blanchart E.**, Albrecht A. & Feller C. (2000) CO2 evolution from soil and physical protection of soil organic carbon in a young pasture on vertisol (Martinique). Communication orale. Symposium "Soil functioning under pastures in intertropical areas", Brasilia, 16-20 octobre 2000. Communication orale.
91. Decaëns T., Jimenez J.J., Barros E., Chauvel A., **Blanchart E.** & Lavelle P. (2000) Soil macrofauna communities in permanent pastures derived from tropical forest or savanna. Poster. Symposium "Soil functioning under pastures in intertropical areas", Brasilia, 16-20 octobre 2000. Poster.
92. **Blanchart E.**, Chevallier T., Albrecht A., Hartmann C., Lavelle P. & Feller C. (2002) Consequences of earthworm (Polypheretima elongata) activities in the restoration of the properties of a Vertisol under pasture (Martinique). 7th International Symposium on Earthworm Ecology, Cardiff, 1-6 septembre 2002. Communication orale.

93. Brown G.G., Feller C., **Blanchart E.**, Deleporte P., & Chernyanskii S. (2002) Darwin's (1881) worms and vegetable mould: lessons in pedology, soil ecology, agronomy, geology, archaeology and ethology. "How well are we following in his footsteps?". 7th International Symposium on Earthworm Ecology, Cardiff, 1-6 septembre 2002. Communication orale.
94. Oliver R., Douzet J.M., Scopel E., **Blanchart E.**, Curmi P., Alves Moreira J.A., Minette S., Guérin P., Fortier M. & Maraux F. (2002) Medium term impact of no tillage on some physical properties of a Brasilian Oxisol in Cerrados. 17e Congrès Mondial de Science du Sol, Bangkok, Thaïlande, 14-21 août 2002. Poster, actes du colloque (Symposium 3, Paper n° 930).
95. Venkatapen C., **Blanchart E.**, Louri J., Rangon L., Totila R. & Urien B. (2002) Déterminants édaphiques et agronomiques des stocks organiques des sols de la Martinique. 38e Congrès Annuel de la Caribbean Food Crop Society, Fort-de-France, 30 juin – 5 juillet 2002. Communication orale.
96. **Blanchart E.**, Khamsouk B., Roose E., Dorel M., Laurent J.Y., Larré-Larrouy M.C., Rangon L., Pinot J.P. & Louri J. (2002) Comparaison des pertes de carbone par érosion et drainage aux variations de stock de carbone du sol en deux années : cas d'une rotation bananiers – cannes – ananas - sol nu sur un nitisol argileux sur cendres volcaniques en Martinique. Colloque "Effect of Land Use Management on Erosion and Carbon Sequestration", Montpellier, 23-28 Sept. 2002. Communication orale.
97. **Blanchart E.**, Villenave C., Viallatoux A., Barthès B., Girardin C., Azontonde A. & Feller C. (2004) Long-term effect of a legume cover crop (*Mucuna pruriens* var. *utilis*) on the communities of soil macrofauna and nematofauna, under maize cultivation, in southern Benin. XIVth International Congress on Soil Zoology, Rouen, 30 août-3 septembre. Poster.
98. **Blanchart E.**, Douzet J.M., Sarda X., Minette S., Bernoux M., Curmi P., Eschenbrenner V., Neto M.S., Noronha N.C., Marchetti A., Alves Moreira J.A., Stone L.F., Scopel E. & Maraux F. (2004) Soil macrofauna in no-tillage systems with cover plants in Brazil (Goias State). Comparison with natural ecosystems and conventional agrosystems. XIVth International Congress on Soil Zoology, Rouen, 30 août-3 septembre. Poster.
99. Barros E., Lavelle P., **Blanchart E.**, Barois I., Velasquez E. & Dubroeucq D. (2004) Soil formation and maintenance of physical structure by ecosystem engineers. XIVth International Congress on Soil Zoology, Rouen, 30 août-3 septembre. Communication orale.
100. Feller C., Clermont-Dauphin C., **Blanchart E.**, Cabidoche Y.M., Venkatapen C. & Bernoux M. (2004) Soil carbon storage in the Caribbean. International workshop on the potential of soil carbon sequestration in Latin America. CENA-USP/IRD/OSU, 2-5 juin 2004, Piracicaba, Brésil. Conférence invitée.
101. Barreteau D. & **Blanchart E**. (2005). Déterminants et spatialisation des stocks de carbone dans les sols des Petites Antilles (Martinique, Guadeloupe). 41e congrès de la Caribbean Food Crop Society, Guadeloupe, 10-16 juillet 2005. Conférence orale.

VIII.f. Communications dans des séminaires

102. Hartmann C. & **Blanchart E.** (1996) Influence du travail du sol sur la dégradation des sols maraîchers du Sud. Première journée technique de l'Association Martiniquaise pour le Développement des Plantes Alimentaires. Le Lamentin, mars 1996. Actes du colloque. Conférence orale.
103. **Blanchart E.** & Hartmann C. (1996) Importance de l'activité biologique pour la durabilité des terres : cas des vertisols du Sud de la Martinique. Première journée technique

de l'Association Martiniquaise pour le Développement des Plantes Alimentaires. Le Lamentin, mars 1996. Actes du colloque. Conférence orale.
104. Hartmann C., **Blanchart E.**, Mahieu M., Parfait F., Bernard J., Rangon L. & Laurent J.Y. (1996) Influence de la profondeur de travail du sol sur quelques caractéristiques des vertisols du sud de la Martinique. Rencontres Caraïbes - Gestion de l'eau dans les espaces agraires caraïbes. INRA Centre de Recherche des Antilles Guyane, 2 au 6 décembre 1996. Poster.
105. **Blanchart E.** & Hartmann C. (1996) La gestion durable des sols. Assises Régionales : Insularité et Développement Durable, cas de la Martinique. Martinique, 10 décembre 1996. Conférence orale.
106. **Blanchart E.**, N'Dandou J.F., Albrecht A., Hartmann C., Laurent J.Y., Mahieu M. & Parfait F. (1997) Influence de la profondeur de travail du sol sur les propriétés biologiques du vertisol. Cas de la transformation d'une prairie en culture maraîchère. Deuxième journée technique de l'Association Martiniquaise pour le Développement des Plantes Alimentaires. Le Lamentin, avril 1997. Actes du colloque. Conférence orale.
107. Saffache P., **Blanchart E.** & Hartmann C. (1998) De l'érodibilité des sols cultivés à l'engraissement des côtes (étude du cul-de-sac du Marin, Martinique). 123e Congrès National des Sociétés Historiques et Scientifiques, Fort-de-France, 4-11 avril 1998. Conférence orale.
108. **Blanchart E.**, Achouak W., Albrecht A., Barakat M., Bellier G., Cabidoche Y.M., Hartmann C., Heulin T., Larré-Larrouy C., Laurent J.Y., Mahieu M., Thomas F., Villemin G. & Watteau F. (1999) Déterminants biologiques de l'agrégation des vertisols des Petites Antilles. Conséquences sur l'érodibilité des sols. Séminaire "Le sol, milieu vivant : fonctionnement et gestion", Versailles, 10-11 février 1999. Conférence orale.
109. Cabidoche Y.M., Guillaume P., Hartmann C., Ruy S., **Blanchart E.**, Albrecht A., Mahieu M., Achouak W., Heulin T., Villemin G., Watteau F. & Bellier G. (1999) Déterminants biologiques du système poral des vertisols cultivés des Petites Antilles. Conséquences sur la disponibilité de l'eau du sol pour les plantes. Séminaire "Le sol, milieu vivant : fonctionnement et gestion", Versailles, 10-11 février 1999. Conférence orale.
110. **Blanchart E.**, Feller C., Chevallier T. Quénéhérvé P. & Cadet P. (2000) Faune et biofonctionnement des sols tropicaux. Exemples de la Martinique. Séminaire "Écosystèmes Tropicaux, Utilisation des sols et Biodiversité", Paris, 29 février – 01 mars 2000. Conférence orale.
111. **Blanchart E.** (2000) Macrofaune des sols aux Antilles. Séminaire IBOY (International Biodiversity Observation Year), Bondy, 16-20 juin 2000. Conférence orale.
112. Chevallier T. & **Blanchart E.** (2002) Séquestration du carbone sous prairie. Exemple d'une prairie artificielle à la Martinique. Journée thématique « Séquestration du carbone dans les sols tropicaux », Montpellier, 26 février 2002. Conférence orale.
113. **Blanchart E**., Brown G.G., Chernyanskii S.S., Deleporte P., Feller C. & Goulet F., (2005). Perception et popularité des vers de terre avant et après Darwin. Séance spéciale de l'Association Française d'Étude du Sol (AFES) « Histoire de la science du sol », 31 mai 2005, IRD-Paris.
114. Feller C., **Blanchart E**., Jabiol B. & Greve M.H. (2005). Quand l'humus est à l'origine de la pédologie. 1. Les travaux du forestier danois P.E. Müller (1840-1926). Séance spéciale de l'Association Française d'Étude du Sol (AFES) « Histoire de la science du sol », 31 mai 2005, IRD-Paris.
115. **Blanchart E.** (2005). Modélisation et activités biologiques des sols. Réunion de l'UR 179, Montpellier, 11-12 avril 2005.

VIII.g. Cartes numériques

116. Bernoux M., Venkatapen C., **Blanchart E.**, Noronha N.C., 2003. Carte digitale de l´occupation des sols de la Martinique 1969-1970 d´après les calques originaux de la carte des cultures au 1/20 000ème de la Martinique (1969-1970) établies sous la direction de M.F. Colmet Daage. Fichier électronique usage1970_v1- version 1 du 19/02/2003.
117. Bernoux M., Venkatapen C., **Blanchart E.**, Noronha N.C., 2003. Carte digitale de l´occupation des sols de la Martinique 1979-1980 d´après les calques originaux de la carte des cultures au 1/20 000ème de la Martinique (1979-1980) établies sous la direction de M.F. Colmet Daage. Fichier électronique usage1980_v1- version 1 du 19/02/2003.

VIII.h. Conférences

118. **Blanchart E.** (1995) Effet des vers de terre sur les propriétés physiques des sols tropicaux. Conférence donnée au Département d'Agronomie de l'Université de Brasilia, Brésil, avril 1995.
119. **Blanchart E.** (1996) La faune des sols. Conférence donnée au Département d'Agronomie de l'Université de Londrina, Brésil, mars 1996.
120. Hartmann C. & **Blanchart E.** (1996) La démarche du chercheur. Hypothèses, mesures, publications. Conférence Grand Public donnée dans le cadre des rencontres Gaïa du CDSA, Fort-de-France, 22 novembre 1996.
121. **Blanchart E.** & Hartmann C. (1997) La Terre... le sol, la terre... la Vie. Conférence Grand Public donnée dans le cadre de la Journée de l'Environnement à Fort-de-France, 6 juin 1997.
122. **Blanchart E.** (2002) La diversité biologique des sols : importance et fonction dans l'écosystème. Conférence Grand Public donnée dans le cadre de l'exposition d'Argile et de Terres, Fort-de-France, 7 mars 2002.
123. **Blanchart E.** & Feller C. (2003) Darwin et les vers de terre. Conférence donnée dans le cadre des journées du laboratoire MOST et de l'UR 041, IRD Montpellier, 23 janvier 2003.
124. Feller C. & **Blanchart E.** (2003) Ca chauffe au PRAM… L'effet de serre et la séquestration du carbone à la Martinique. Conférence donnée lors des journées pédeologiques au PRAM, 6 décembre 2003.
125. **Blanchart E.** (2004) Diversité biologique et importance de la macrofaune dans le bio-fonctionnement du sol (exemple des vers de terre). Conférence donnée dans le cadre de la quinzaine scientifique « L'alimentation, un enjeu planétaire », Antananarivo, Madagascar, 7 mai 2004.
126. **Blanchart E.**, Chotte J.L., Rabary B., Razafimbelo T., Albrecht A., Barthès B., Bernoux M., Douzet J.M. & Feller C. (2004) Semis direct sous couverture végétale (SCV) au brésil et à Madagascar. Activités biologiques du sol, agrégation et protection du carbone. Journée Agro-Ecologie, AFD, Paris, 6 octobre 2004.

VIII.i. Principaux Rapports

127. **Blanchart E.** & Spain A.V. (1989) Rôle des vers de terre dans l'élaboration et la conservation de la structure des sols de savane. In Lavelle P. (ed.) Processus biologiques et fertilité du sol dans les savanes humides de Côte d'Ivoire. Recherches fondamentales et appliquées sur le rôle des vers de terre. Ministère de l'Environnement (SRETIE), pp 26-43.

128. Brown G., **Blanchart E.** & Feller C. (1993) Short-scale pot experiments. In: Conservation of soil fertility in low-input agricultural systems of the humid tropics by manipulating earthworm communities (Macrofauna Project II), Lavelle P. (coordinator), Report n° 1 (Juillet 1993), CEE Project N° ERBTS3*CT920128. Bondy, 30-42.
129. Puyravaud J.P., Pouchepadass J. & **Blanchart E.** (1994) Dynamique des écosystèmes et devenir des sociétés dans les Ghats Occidentaux (Inde). Rapport final. Institut Français de Pondichéry (Inde). 70 pages.
130. Albrecht A., **Blanchart E.** & Rossi J.P. (1994) Restoration of degraded vertisols (Martinique) by root and earthworm activities in a large field experiment. In: Conservation of soil fertility in low-input agricultural systems of the humid tropics by manipulating earthworm communities (Macrofauna Project II), Lavelle P. (coordinator), Report n° 2 (Janvier 1994), CEE Project N° ERBTS3*CT920128. Bondy, 77-93.
131. **Blanchart E.** & Antony L.M.K. (1996) Structure et dynamique de la faune du sol dans des systèmes forestiers tropicaux convertis en pâturages ou en agrosystèmes. Rapport final du Projet SOFT "Changements dans les chaînes de décomposeurs de la matière organique dus à la mise en valeur de sols forestiers en Amazonie Centrale. Relations avec les transformations de la matière organique et la structure du sol" (Coordinateur T. Desjardins - ORSTOM Manaus).
132. Fragoso C., Lavelle P., **Blanchart E.**, Jimenez J.J., Martinez M., Senapati B., Tondoh J. & Feijoo A. (1996) Earthworm communities of tropical agroecosystems : origin, structure and influence of management practices. In: Conservation of soil fertility in low-input agricultural systems of the humid tropics by manipulating earthworm communities (Macrofauna Project II), Lavelle P. (coordinator), Final Report (Octobre 1996), CEE Project N° ERBTS3*CT920128. Bondy, 20-38.
133. Barois I., Angeles A., **Blanchart E.**, Brossard M., Fragoso C., Jimenez J.J., Martinez M., Moreno A., Lattaud C., Lavelle P., Rossi J.P., Senapati B., Giri S. & Tondoh J. (1996) Ecology of species with large environmental tolerance and/or extended distributions. In: Conservation of soil fertility in low-input agricultural systems of the humid tropics by manipulating earthworm communities (Macrofauna Project II), Lavelle P. (coordinator), Final Report (Octobre 1996), CEE Project N° ERBTS3*CT920128. Bondy, 39-58.
134. **Blanchart E.**, Brussaard L., Alegre J., Pashanasi B. & Albrecht A. (1996) Effects of earthworms on soil structure and physical properties. In: Conservation of soil fertility in low-input agricultural systems of the humid tropics by manipulating earthworm communities (Macrofauna Project II), Lavelle P. (coordinator), Final Report (Octobre 1996), CEE Project N° ERBTS3*CT920128. Bondy, 77-92.
135. Senapati B., Giri S., Pashanasi B., Decaëns T., Jimenez J.J., Albrecht A., **Blanchart E.**, Mahieu M., Rousseaux L., Thomas R. & Venkatachalam M. (1996) Earthworm technologies. In: Conservation of soil fertility in low-input agricultural systems of the humid tropics by manipulating earthworm communities (Macrofauna Project II), Lavelle P. (coordinator), Final Report (Octobre 1996), CEE Project N° ERBTS3*CT920128. Bondy, 113-148.
136. **Blanchart E.** (1997) Etude du rôle des systèmes biologiques dans le fonctionnement des vertisols (Martinique). Application aux processus de restauration des propriétés physiques des sols. Rapport final d'un Projet SOFT, Ministère de l'Environnement. 49 pages.
137. Thomas F., Heulin T., **Blanchart E.** & Cabidoche Y.M. (2000) Microstructuration et hydratation des sols argileux gonflants sous l'effet des polysaccharides microbiens rhizosphériques. Rapport final d'un projet PROSE (CNRS/INSU). 40 pages.
138. Bignell D.E., **Blanchart E.**, Barros E., Fernandez-Correia E., Houdin C., Jimenez J.J., Roman J., Lepage M., Rossi J.P., Senapati B.K. & Topoliantz S. (2000) Field and laboratory methodology. In : La macrofaune du sol : une ressource en danger dans un

monde en changement, Lavelle P. & Fragoso C. (coord.), Rapport du colloque international IBOY 2000, Bondy 19-23 juin 2000, pp 10-16.
139. **Blanchart E.** & Burac M. (2003) Révision de la délimitation de l'aire AOC de la canne à sucre à la Martinique. Aspects historiques et pédo-climatiques. Rapport final d'une expertise INAO. 20 pages.
140. **Blanchart E.**, Lehmann S., Hardy R., Arrouays D. & Moulard N. (2003) Numérisation de la carte des sols de la Martinique. Mise en place d'une base de données-sols géoréférencées. Rapport final du programme IGCS (MAP, IRD, INRA), 14 pages.
141. **Blanchart E.** & Bernoux M. (Coord.) (2005) Déterminants des stocks de carbone des sols des Petites Antilles (Martinique, Guadeloupe). Alternatives de séquestration du carbone et spatialisation des stocks actuels et simulés. Rapport final du programme GESSOL (MEDD), 53 pages + annexes.

IX. Liste des stagiaires encadrés ou co-encadrés

(ordre chronologique)

IX.a. Thèses

Ndandou J.F. (1996-1998) Variations du stock organique et des propriétés physiques d'un vertisol sous prairie après mis en culture maraîchère. Effet du mode de travail du sol. Thèse de doctorat en science du sol, ENSA Montpellier. Soutenue le 11-09-1998.

Barros E. (1999) Effet de la macrofaune sur la structure et les processus physiques du sol des pâturages dégradés d'Amazonie. Thèse de doctorat de l'Université Paris VI.

Chevallier T. (1996-1999) Dynamique et déterminants du stockage du carbone dans un vertisol sous prairie (Martinique). Thèse de doctorat en science du sol, ENSA Montpellier. Soutenue le 17-12-1999.

Venkatapen C. (2001-2005) Déterminants édaphiques et agronomiques du stockage de carbone dans les sols de Martinique, spatialisation et modélisation. Thèse de doctorat en géographie de l'Université Antilles-Guyane.

Rabary B. (2004-2006) Impact des modes de gestion du sol (semis direct sur couverture végétale et labour) et de la fertilisation sur la macrofaune et la microflore des sols ferrallitiques des Hautes Terres de Madagascar. Thèse de l'Université d'Antananarivo, Madagascar (participation au comité de thèse).

IX.b. DEA, DAA, DESS

Chevallier T. (1995) Rôle respectif des macro-organismes (racines, vers de terre) sur le stock de matière organique d'un vertisol (Martinique). Diplôme d'Agronomie Approfondie, ENSA Rennes, 63 pages + Annexes.

Chevallier T. (1996) Reconstitution à court terme du stock organique et du peuplement de vers de terre (*Polypheretima elongata*) d'un vertisol (Martinique) sous prairie plantée (Digitaria decumbens). Rapport de DEA, Nancy I. 38 pages.

Loranger G. (1995) Distribution spatiale de la mésofaune dans des vertisols martiniquais. Influence du mode d'exploitation du sol et des vers de terre. Rapport de DEA, Nancy I, 34 pages + Annexes.

Mariani L. (1996) Reconstitution de populations de vers de terre dans des milieux en voie de régénération : caractérisation écologique et génétique de populations de *Polypheretima*

elongata (Oligochètes, Megascolecidae) dans des vertisols dégradés (Ste Anne, Martinique). Rapport de DEA, Paris VI. 34 pages.

Venkatapen C. (1999) Distribution géographique des sols brun-rouille à halloysite à la Martinique et évolution de leurs propriétés physiques sous cultures. DEA Géographie, Université Antilles-Guyane.

Viallatoux A. (2000) Impact des systèmes de culture et des pratiques agricoles sur les peuplements de macro-invertébrés du sol au Bénin et à la Martinique. DES Ecologie, Paris VI.

Paupelard P. (2001) Etude des déterminants agro-pédo-climatiques du niveau des stocks de carbone des sols de la Martinique cultivés en canne à sucre. DESS Gestion des systèmes agro-sylvo-pastoraux en zones tropicales, Paris XII.

Goidts E. (2002) Intégration des conditions agro-pédo-climatiques de la culture de la canne à sucre dans la révision de l'aire d'Appellation d'Origine Contrôlée « Rhum Agricole de la Martinique ». Stage de dernière année d'ingénieur agronome à l'Université Catholique de Louvain-la-Neuve.

Lecurieux-Laferronay L. (2003) Etude des pratiques des agriculteurs maraîchers en terme de gestion de la fertilité des sols. Typologie des exploitations agricoles. Étude des déterminants des pratiques. DESS Gestion des systèmes agro-sylvo-pastoraux en zone tropicale, Paris XII.

Grandière I. (2004) Effet du semis direct sous couvert végétal sur la matière organique d'un sol ferrallitique argileux (Madagascar). Semis direct et matière organique d'un sol ferrallitique argileux. DEA National de Science du Sol, INA-PG.

IX.c. Mémoires d'ingénieur

Kulesza V. (1994) Evolution de la structure des vertisols du Sud-Est de la Martinique en fonction du système de culture. Mémoire de fin d'études ISTOM, 62 pages + Annexes.

Castiglione S. (1996) Impact des macro-organismes (racines, vers de terre) sur la porosité d'un vertisol de la Martinique. Rapport de l'ESITPA.

Simão Soares M.T. (1997) Macrofaune des sols tropicaux. Relations entre vers de terre et propriétés physiques. Dernière année à l'Ecole Supérieure d'Agronomie Luis de Queiroz (Piracicaba, Univ. São Paulo).

Bourgeais E. (2002) Re-délimitation de l'aire AOC de la canne à sucre à la Martinique. Stage de 3e année à l'ESA d'Angers.

Etienne M. (2001) Gestion de la fertilité des sols par les agriculteurs martiniquais. ENITA, Clermont-Ferrand.

Sarda X. (2004) Effet du semis direct sur la macrofaune des sols tropicaux des Cerrados Brésiliens. Mémoire de fin d'études ISTOM.

Ripoche A. (2004) Stockage du carbone, agrégation et localisation de a MO dans des systèmes alternatifs en Martinique. 2ème année INA-PG.

IX.d. Mémoires de maîtrise

Béhar C. (1992) Modification de la matière organique du sol après passage dans le tube digestif de *Pontoscolex corethrurus*. MST, Paris VII.

Duboisset A. (1994) Interactions existant entre *Polypheretima elongata* (Oligochaeta, Megascolecidae) et les propriétés physico-chimiques des vertisols calco-magnéso-sodiques du Sud-Est de la Martinique suivant le mode d'anthropisation. Mémoire de MST, Université Paris VII, 32 pages + Annexes.

Salomon F. (1996) Influence des vers de terre sur le peuplement d'Acariens dans un vertisol sous pâturage (Martinique). Rapport de maîtrise de Biologie, Nancy I. 29 pages.

Charles C. (1997) Effet des vers de terre sur l'agrégation d'un vertisol du sud-est de la Martinique. Influence du passage du sol dans le tube digestif. Rapport de maîtrise, Université des Antilles et de la Guyane.

Venkatapen C. (1998) Protection physique de la matière organique contre la minéralisation dans les agrégats provenant d'un vertisol sous prairie (Martinique). Relation avec la stabilité à l'eau des agrégats. Rapport de maîtrise, Université des Antilles et de la Guyane.

Pastel B. (1999) Effet des modes de gestion sur l'activité microbienne des sols brun-rouille à halloysite (Martinique). MST, Paris 13.

Gassette C. (2000) Influence des pratiques culturales sur la macrofaune des sols brun-rouille à halloysite de la Martinique. Maîtrise de Biologie des peuplements et des écosystèmes à l'Université Antilles-Guyane.

IX.e. BTS Agricole

Mainger E. (1994) Le rôle des vers de terre dans la restauration des vertisols du sud de la Martinique. Rapport de BTSA Croix-Rivail, Martinique.

Pendant J. (2000) Effet du mode de mise en culture d'une plantation d'agrumes sur les propriétés édaphiques. Comparaison entre un itinéraire traditionnel et un itinéraire intégré. BTS Agricole, Lycée de Croix-Rivail, Martinique.

IX.f. Participation à des jurys de thèse

19-2-1998 : thèse d'Université (Paris VI) de Jean-Pierre Rossi (Direction P. Lavelle) à Bondy.
11-9-1998 : thèse d'Université (ENSAM) de Jean-Fernand N'Dandou (Direction C. Feller) à Montpellier.
17-12-1999 : thèse d'Université (ENSAM) de Tiphaine Chevallier (Direction C. Feller) à Montpellier.
21-9-2001 : thèse d'Université (Paris VI) de Lucéro Mariani (Direction P. Lavelle) à Bondy.

IX.g. Évaluation d'une thèse étrangère

2003 : rapport sur la thèse (PhD) de Nabin Chandra Dash (Sambalpur University, Orissa, India) : « Comparative eco-physiological studies on tropical earthworms from an Eucalyptus and a Sal forest of Orissa, India ».

IX.h. Évaluation d'un mémoire de DAA

2003 : Karine Lombard : « Statut organique et fertilité des sols dans les systèmes de culture bananiers en Guadeloupe ». DAA Montpellier.

IX.i. Autres participations à jurys

Participation aux jurys d'examen du BTS Agricole au Lycée Agricole de Croix-Rivail (Martinique) en juin 2001 et juin 2002.

X. Autres activités de recherche

X.a. Animation de la recherche

• Superviseur d'un chercheur post-doc indien : Parthiba Basu, Institut Français de Pondichéry, 1991-1992.

• « Field Editor » du European Journal of Soil Biology (Elsevier).
• Membre du bureau éditorial de la revue Soil Science Reviews (Elsevier, arrêtée en 2003).
• « Associate Editor » du Canadian Journal of Soil Science.

• Membre élu de la Commission Scientifique 2 « Hydrologie-Pédologie » de l'IRD en 1997-1999.
• Membre élu de la Commission Scientifique Sectorielle 3 « Sciences des systèmes écologiques » de l'IRD depuis 2003.

• Membre du Comité Scientifique du 38e Congrès de la Caribbean Food Crop Society (Fort-de-France, juillet 2002).
• Membre du Comité Scientifique National du 14e Colloque International sur la Zoologie et l'Ecologie du sol (Rouen, septembre 2004).
• Membre du Comité Scientifique des Journées Nationales d'Etudes des Sols (AFES), Bordeaux, octobre 2004.

• Co-éditeur scientifique (avec M. Brossard et B. Boddey) d'un numéro spécial de la revue Agriculture, Ecosystems & Environment : Special Issue (Vol. 103, N°2) Soil processes under pastures in intertropical areas.

• Coordinateur (avec D. Barreteau et F. Saudubray) du numéro 4 des Cahiers du PRAM ; également membre du comité de lecture.

X.b. Coordination de projets de recherche

1989-1990 : coordinateur du groupe Propriétés Biologiques des Sols au sein de l'Observatoire de la Qualité des Sols (SRETIE, Ministère de l'Environnement).

1991-1992 : co-responsable (avec J.P. Puyravaud et J. Pouchepadass, IFP) d'un projet intitulé « Dynamique des écosystèmes et devenir des sociétés dans les Ghâts Occidentaux (Inde) » et soutenu par le PIR-Environnement (CNRS). Collaborations : L. Abbadie, M. Lepage, J.P. Pascal, J. Pouchepadass (CNRS), P. Bose, B.R. Ramesh (IFP), étudiants.

1994-1996 : responsable scientifique d'un projet SOFT (Ministère de l'Environnement) « Rôle des systèmes biologiques dans le fonctionnement des vertisols (Martinique). Application aux processus de restauration des propriétés physiques des sols ». Crédits 220 kF sur 2 ans. Collaborations : A. Albrecht, J.L. Chotte, V. Eschenbrenner, P. Lavelle, J.P. Rossi (IRD), Y.M. Cabidoche (INRA), étudiants.

1996-1997 : co-responsable (avec C. Hartmann, IRD) du programme « Evolution physique des vertisols sous culture et pâturage dans les Petites Antilles : importance de l'activité biologique pour la durabilité des terres » qui a fait l'objet d'un Contrat de Programme avec le Département MAA (UR35) de l'ORSTOM. Collaborations A. Albrecht (IRD), Y.M. Cabidoche, H. Ozier-Lafontainre, D. Tessier (INRA), P. Guillaume (CIRAD), étudiants.

1996-1998 : co-responsable (avec A. Albrecht, IRD) d'un projet intitulé « Déterminants biologiques de l'agrégation et de la porosité des vertisols des Petites Antilles. Conséquences sur l'érodibilité et la disponibilité de l'eau du sol pour les plantes » et mis en place dans le cadre de l'Action Incitative Interinstitutionnelle « Biofonctionnement des sols tropicaux et gestion durable des terres » (resp. C. Feller). Crédits 330 kF sur 3 ans. Collaborations : G. Bellier, C. Hartmann, C. Larré-Larrouy, J.Y. Laurent (IRD), Y.M. Cabidoche, S. Ruy (INRA), W. Achouak, M. Barakat, T. Heulin, F. Thomas, G. Villemin, F. Watteau (CNRS), P . Guillaume (CIRAD), M. Mahieu (Conseil Général Martinique), étudiants.

2001-2003 : co-responsable (avec D. Arrouays, INRA) d'un projet IGCS (MAP/IRD/INRA) intitulé « Numérisation de la carte des sols de la Martinique. Mise en place d'une base de données-sols géoréférencées (SIG) ». Crédits 120 kF sur 2 ans. Collaborations : S. Lehmann, R. Hardy, N. Moulard (INRA).

2002-2004 : co-responsable (avec M. Bernoux, IRD) d'un projet GESSOL (Ministère de l'Ecologie et du développement Durable) intitulé « Déterminants des stocks de carbone des

sols des Petites Antilles (Martinique, Guadeloupe). Alternatives de séquestration du carbone et spatialisation des stocks actuels et simulés ». Crédits 75 k€ sur 3 ans. Collaborations : B. Barthès, C. Feller, E. Roose (IRD), Y.M. Cabidoche, J. Sierra (INRA), F. Saudubray (CEMAGREF), A. Lassoudière, R. Achard, Ch. Langlais (CIRAD), étudiants.

2003-2005 : co-responsable (avec B. Barthès, IRD) d'un projet FFEM (Fonds Français pour l'Environnement Mondial) intitulé « Semis direct sous couverture végétale (SCV) au Brésil et à Madagascar : activités biologiques du sol, agrégation et protection du carbone ». Crédits 30 k€ sur 3 ans. Collaborations : L. Rabeharisoa (Université d'Antananarivo), B. Rabary (FOFIFA), A. Albrecht, J.L. Chotte (IRD), J.M. Douzet, A. Ratnadass (CIRAD), étudiants.

X.c. Participation à des projets de recherche

En dehors des conventions décrites ci-dessus pour lesquelles j'ai assuré ou participé à la coordination, j'ai également participé à d'autres projets :

1990-1996 : Conservation of soil fertility in low-input agricultural systems of the humid tropics by manipulating earthworm communities (Macrofauna Project). Projet financé par la Communauté européenne (STD2 et 3, DG 12) et coordonéé par P. Lavelle (Paris VI/IRD). Collaborations : A. Albrecht, M. Brossard, G. Brown, L. Chapuis-Lardy, F. Charpentier, T. Decaëns, C. Feller, C. Lattaud, I. M'Boukou, J.P. Rossi, J. Tondoh, C. Villenave-Gilot (IRD), J. Alegre (ICRAF), A. Angeles, E. Aranda, P. Arrelano, I. Barois, A. Contreras, C. Fragoso, S. Irisson, B. Ortiz, J.C. Patron, J. Rodriguez, T. Salazar (Institut d'Ecologie, Xalapa, Mexique), L. Brussard (Université Agronomique Wageningen), P. Hendrix (Université de Georgia, USA), S. Giri, P.K. Panigrahi, B.K. Senapati (Université de Sambalpur, Inde), J.J. Jimenez, A. Moreno (Université de Madrid), J. Kanyonyo (Université de Kukavu, Congo), M. Martinez, C. Rodriguez (Université de La Havane, Cuba), B. Pashanasi (INIA, Yurimaguas, Pérou), A.V. spain (CSIRO, Australie), R. Thomas (CIAT, Colombie), étudiants.

1993-1995 : Changements dans les chaînes de décomposeurs de la matière organique dus à la mise en valeur des sols forestiers en Amazonie Centrale. Relations avec les transformations de la matière organique et de la structure des sols. Programme SOFT (MEDD), coordinateur T. Desjardins (IRD). Collaborations : E . Barros, M. Brossard,

A. Chauvel, P. Lavelle, M. Sarrazin (IRD), L. Antony, A. Neves (INPA) ; E.C Fernandez (Cornell University, USA), étudiants.

1997-1999: Microstructuration et hydratation des sols argileux sous l'effet des polysaccharides microbiens rhizosphériques. Projet PROSE, coordonné par F. Thomas (CNRS). Collaborations : Y.M. Cabidoche, H. Ozier-Lafontaine (INRA), P. Guillaume (CIRAD), W. Achouak, T. Heulin, G. Villemin, F. Watteau (CNRS).

1998-2000 : Interactions entre matière organique, activités biologiques et propriétés physiques d'un sol ferrallitique cultivé (Bénin). Conséquences pour la modélisation de la nutrition hydrique et azotée d'un maïs. Intérêt des plantes de couverture. Projet PROSE coordonné par C. Feller (IRD). Collaborations : B. Barthès, C. Villenave (IRD), R. Oliver (CIRAD), C. Girardin (INRA-INAPG), A. Azontonde (CENAP, Bénin), étudiants.

1998-2000 : Contribution à la modélisation du fonctionnement des systèmes de culture en semis direct sous couverture au Brésil (Goias). ATP-CIRAD, coordonnée par F. Maraux. Collaborations : J.M. Douzet, A. Findeling, S. Marlet, S. Minette, R. Oliver, E. Scopel, F. Reyes, (CIRAD), P. Curmi (INRA), L.F. Stone, J.A.A. Moreira (EMBRAPA-CNPAF).

X.d. Valorisation

• 5 conférences grand public

• Nombreuses participations à la Science en Fête (Martinique), participations à des émissions radiophoniques et télévisées

• Organisation de 2 réunions de diffusion des résultats de la recherche vers les utilisateurs de la recherche en Martinique (agriculteurs, socioprofessionnels, élus, étudiants)

• Co-organisation d'une exposition grand public intitulée « d'Argiles et de Terre » et présentée à Fort-de-France (Martinique, du 26 février au 16 mars 2002).

X.e. Formation

• Formation sur les sols à des professeurs de collège dans le cadre de la Mission Académique de Formation des Professeurs de l'Education Nationale (Martinique)

• Formation des techniciens de la Chambre d'Agriculture en Martinique

• Travaux pratiques et stages de terrain (faune du sol et faune aquatique) pour les étudiants en Licence de Biologie des Organismes et des Populations, Université de Rennes I (1988-1989).

• Cours sur la faune du sol (classification, récolte, tri...) à des étudiants de mestrado (début de 3e cycle) du Département d'Agronomie de l'Université d'Etat de Londrina, Brésil (1996).
• Cours de 2 heures sur la biodiversité de la faune du sol et le bio-fonctionnement des sols dans le cadre du DEA de l'Université Antilles-Guyane intitulé "Environnement tropical et gestion de la biodiversité".

• Responsable scientifique de deux Clubs Jeunes pour la Recherche et le Développement mis en place par l'IRD avec deux lycées de Martinique. Objectif : mener, pendant 1 an, une étude scientifique avec des lycéens.

X.e. Expertise

• *1999-2000* : participation à une expertise demandée par la DIREN-Martinique concernant l'origine agricole de l'engraissement de la Baie du Marin (au sud de la Martinique, entourée par des bassins versants recouverts de vertisols).
• *2002-2003* : responsable pour la partie « sols » d'une expertise demandée par l'INAO (Institut National des Appellations d'Origine) à propos de la définition de critères pédologiques, agronomiques, climatiques et historiques permettant de redéfinir l'aire AOC de la canne à sucre en Martinique. Co-rédaction du rapport final avec le Prof. M. Burac (UAG) [139].
• *2002-2003* : participation à une expertise collégiale menée par l'IRD suite à une demande du Conseil Général de la Martinique d'étudier les possibilités de développer l'Agriculture Biologique à la Martinique. Co-rédaction de cinq chapitres dans le cadre de cette expertise [69, 70, 71, 72, 73].

• *2005* : expert pour évaluation de deux projets dans le cadre de l'appel d'offres « ANR – jeunes chercheurs ».

XI. Curriculum Vitae

ERIC BLANCHART

Né le 8 décembre 1962
Marié, 3 enfants

Formation

1980 : Baccalauréat série D (Montluçon).

1984 : Maîtrise de Sciences Naturelles (Université de Clermont-Ferrand).

1985 : DEA en écologie-éthologie à l'Université de Rennes I « Contribution à l'étude de la microdistribution des larves de Diptères le long de gradients hydriques en bordure d'étang » (sous la direction de Prof. P. Tréhen). Mention très bien.

1990 : Thèse de doctorat de l'Université de Rennes I « Rôle des vers de terre dans la formation et la conservation de la structure des sols de la savane de Lamto (Côte d'Ivoire) » (sous la direction de Prof. P. Lavelle). Mention très honorable avec félicitations du jury.

Activités professionnelles

1986-1988 : Station d'Ecologie Tropicale de Lamto - Côte d'Ivoire (VSN de l'Université d'Abidjan, travail de terrain de la thèse).

1989-1990 : Station Biologique de Paimpont (Université de Rennes, rédaction de thèse).

1991-1992 : responsable du laboratoire de Science du sol - Institut Français de Pondichéry - Inde (Chercheur Contractuel du Ministère des Affaires Etrangères).

Depuis 1993 : chercheur à l'IRD.

1993-2002 : responsable du laboratoire Biologie et Organisation des Sols Tropicaux de l'IRD Martinique, responsable du projet Antilles de l'UR « Séquestration du carbone dans les sols intertropicaux ».

Depuis 2002 : chercheur au laboratoire Matières Organiques des Sols Tropicaux de l'IRD Montpellier, membre de l'UR 41 « Séquestration du carbone dans les sols intertropicaux » puis de l'UR 179 « Séquestration du carbone et biofonctionnement des sols tropicaux ».