Pratiques et indicateurs agroécologique des agroécosystèmes traditonnels et innovants de l'est du Burkina Faso : alternatives d'optimisation

Aboubacar Coulibaly

▶ **To cite this version:**

Aboubacar Coulibaly. Pratiques et indicateurs agroécologique des agroécosystèmes traditonnels et innovants de l'est du Burkina Faso : alternatives d'optimisation. Sciences de la Terre. Université d'Orléans; Université Joseph Ki-Zerbo (Ouagadougou, Burkina Faso), 2018. Français. NNT : 2018ORLE2025 . tel-02096193

HAL Id: tel-02096193
https://theses.hal.science/tel-02096193

Submitted on 11 Apr 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

ÉCOLE DOCTORALE ENERGIE, MATERIAUX, SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS

ÉCOLE DOCTORALE SCIENCES ET TECHNOLOGIES

Institut des Sciences de la Terre d'Orléans/Laboratoire Sols-Matériaux et Environnement

THÈSE EN COTUTELLE INTERNATIONALE présentée par:

Aboubacar COULIBALY

soutenue le : 23 Octobre 2018

pour obtenir le grade de:

Docteur de l'Université d'Orléans et
Docteur de l'Université Ouaga I Pr Joseph KI-ZERBO

Discipline/Spécialité: Science du sol et Environnement/Agro-pédologie

PRATIQUES ET INDICATEURS AGROECOLOGIQUES DES AGRO ECOSYSTEMES TRADITIONNELS ET INNOVANTS DE L'EST DU BURKINA FASO : ALTERNATIVES D'OPTIMISATION

THÈSE dirigée par :

M. Edmond HIEN	**Professeur, Université Ouaga I Pr J. KI-ZERBO**
M. Mikael MOTELICA-HEINO	**Professeur, Université d'Orléans**

RAPPORTEURS :

Jean-Louis YENGUE	**Directeur de recherche, Université de Poiriers**
Laurent COURNAC	**HDR, IRD- Montpelier**

JURY:

Jean-Louis YENGUE	Directeur de recherche, Université de Poitiers (Président du jury)
Laurent COURNAC	HDR, IRD-Montpelier (Rapporteur)
Edmond HIEN	Professeur, Université Ouaga I Pr J. KI-ZERBO (Directeur de thèse)
Mikael MOTELICA-HEINO	Professeur, Université d'Orléans (Co-directeur de thèse)

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS ..... **I**

SIGLES ET ABREVIATIONS ..... **IV**

LISTE DES TABLEAUX ..... **V**

LISTE DES FIGURES ..... **VI**

INTRODUCTION GENERALE **1**

PREMIERE PARTIE: REVUE BIBLIOGRAPHIQUE **6**

CHAPITRE I: ETAT DE DEGRADATION DES SOLS **7**

CHAPITRE II: L'AGROECOLOGIE **17**

DEUXIEME PARTIE: MATERIELS ET METHODES **27**

CHAPITRE III : PRESENTATION DU CADRE DE L'ETUDE: CONTEXTE GENERAL DE L'EST DU BURKINA FASO **28**

CHAPITRE IV : METHODES UTILISEES **37**

TROISIEME PARTIE: RESULTATS ET DISCUSSION **60**

CHAPITRE V : RESULTATS **61**

CHAPITRE VI: DISCUSSION **120**

CONCLUSION GENERALE **130**

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES **132**

ANNEXES **143**

TABLE DES MATIERES **159**

DEDICACE

Ce travail, je le dédie

à toute ma famille pour son grand soutien

REMERCIEMENTS

Une thèse....j'y ai cru et nous y voici. Ca me rappel cette appellation « Docteur » que j'avais déjà comme surnom tout petit en famille. Pour y arriver ce fut un parcours et le moment est venu de dire merci et toutes ces personnes qui ont permis la réalisation de ce rêve.

A **Edmond HIEN**, Professeur, Enseignant-Chercheur à l'Université Ouaga I Joseph KI ZERBO, Responsable du Laboratoire Sols-Matériaux et Environnement et Chercheur Associé à l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD), UMR 210 Ecologie Fonctionnelle & Biogéochimie des sols & des Agro-écosystèmes, Ouagadougou, Burkina Faso j'exprime toute ma gratitude. Merci pour m'avoir fait confiance depuis mon diplôme d'ingénieur, d'avoir été un soutien indéfectible tout au long de mon parcours. Merci pour la confiance porté à ma personne pour la conduite de cette étude. Merci en outre d'avoir accepté de diriger cette thèse. Sa grande compétence, ses qualités humaines, sa disponibilité et ses multiples conseils et apports ont permis l'aboutissement de ce travail.

A **Mikael MOTELICA-HEINO**, Professeur à l'Université d'Orléans, j'exprime toute ma gratitude. Merci d'abord pour l'initiative de cette thèse et ensuite pour avoir accepté de la codiriger. Sa grande compétence, sa simplicité, sa clairvoyance, sa disponibilité au jour le jour pour la rédaction et les discussions tout au long du travail et ses divers conseils m'ont permis de réaliser ce travail. Au-delà du travail accompli, il a toujours été là pour moi quand j'ai eu besoin de lui.

Je témoigne ma reconnaissance au Représentant Délégué de l'IRD à Ouagadougou et au Directeur de l'Institut des Sciences de la Terre d'Orléans (ISTO) pour m'avoir accepté dans leurs locaux en me donnant toutes les facilités pour la réalisation de ce travail. Mes remerciements vont également à l' endroit du personnel de ces deux Instituts.

Cette étude a pu se réaliser grâce au soutien matériel et financier du projet BIOSOL (Région Centre Val de Loire) et du soutien financier de la Coopération Française à travers le Service de Coopération et d'Action Culturelle de l'ambassade de France au Burkina Faso. Qu'ils en soient remerciés.

A **Sylvain Bourgerie**, Maître de Conférences à l'Université d'Orléans, je dis merci pour son aide précieuse, ses encouragements soutenus et sa constante disponibilité. Cela a permis la réalisation de la partie microbiologie de cette thèse. Qu'il trouve ici l'expression de ma profonde gratitude.

A **Christian Defarge**, Maître de Conférences à l'Université d'Orléans et **Annie Richard ingénieure au centre de microscopie de l'Université d'Orléans**, pour leur participation à ce travail, leurs conseils, leurs multiples soutiens et encouragements. Merci pour la réalisation des manipes Cryo-Meb et l'interprétation des résultats.

Aux docteurs **Boussafir** et **Fabrice Muller** pour leurs contributions combien importantes dans les travaux de laboratoire à Orléans.

A **Regis Guegant**, Maître de Conférences à l'Université d'Orléans, pour ses conseils, ses multiples soutiens, ses encouragements.

A **Salif Dera**, Docteur à l'IRD pour son aide précieuse dans l'analyse des données de l'enquête agricole et ses encouragements soutenus.

A **Der Some**, Enseignant à l'Université Ouaga I Joseph KI ZERBO, pour son appui et ses conseils.

A **Alain Bret**, Technicien de laboratoire à Polytech Orléans pour sa disponibilité et son dévouement sans relâche dans la conduite de différentes manipes au sein de son laboratoire.

A Monsieur **Moussa Barry, Prosper Sadaré, Sibiri Siri,** Techniciens à l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD), UMR 210 Ecologie Fonctionnelle & Biogéochimie des sols & des Agro-écosystèmes, Ouagadougou, Burkina Faso, pour leur contribution à la réalisation de ce travail.

Aux braves producteurs, habitants et travailleurs de Sampieri particulièrement à Monsieur **Denis OUOBA, Tanga et Eric Kabré (chef UAT de Sakoani), je dis** merci pour l'accueil et l'accompagnement tout au long des travaux sur le terrain et la collecte des données.

A **Dofihouyan Ye**, Directeur Général de l'Eau et précédemment Directeur Régional de l'Agriculture de la Boucle du Mouhoun pour son soutien et sa vision qui ont permis mon engagement pour un Master et par la suite cette thèse.

A **Alassane Guiré, Secrétaire Général du MAAH** et précédemment Directeur Général des Aménagements Hydraulique et du Développement de l'Irrigation pour son soutien et compréhension qui ont permis la réalisation des travaux terrains et d'alternance à Orléans.

A **Amidou SAVADOGO,** Direction Générale des Aménagements Hydrauliques et du Développement de l'Irrigation (DGAHDI), je dis merci pour les appuis et conseil multiforme pour l'aboutissement de ce travail.

A **Fréderic Dabiré**, Directeur du Développement de l'Irrigation et son personnel, je dis merci pour les soutiens multiformes qui m'ont permis de réaliser les travaux de terrain et d'alternance en France.

A Adolphe ZANGRE, Directeur des Aménagements Hydrauliques, je dis merci pour les encouragements et les multiples conseils.

A **Donkoura KAMBOU,** et Directeur de la Restauration des Terres, je dis merci pour les soutiens multiformes.

A tous mes collègues de la Direction Générale des Aménagements Hydrauliques et du Développement de l'Irrigation (DGAHDI) et de la Direction du Développement de l'Irrigation (DDI), je dis merci pour les soutiens multiformes et les moments de partage.

Aux camarades doctorants et stagiaires de l'IRD **Salomon Bouda, Celine Sanou, Jean-Martin Lipobè Bonou, Daouda Guebre, Amina Kabore…** pour l'ambiance et les moments de partage et les conseils divers. Tout cela a contribué à créer un environnement propice à la réalisation de ce travail.

Aux camarades et amis doctorants et stagiaires du laboratoire de l'ISTO d'Orléans, **Hugo Bourque, Mohamed Al Juhaishi, Simona Iconaru, Bachar, Sami, Rémi** pour l'ambiance, les moments de partage et les soutiens multiformes au cours de mes séjours à Orléans.

Comme pour toute œuvre de ce genre, au-delà des aspects purement techniques, l'environnement social en dehors du bureau et du Laboratoire vaut son pesant d'or. Dans ce sens, j'aimerai dire merci à ses amis de toujours **Drissa Bengaly, Mohamed Ouattara Ibrahim Cire-Ba, Aristide Begué, Aida Koanda, Freddy Ange, Ousmane Gansoré** qui de près ou de loin ont contribué à un moment ou un autre à rendre cet environnement propice et convivial.

Enfin, pour terminer, je dis grand merci à toute ma famille pour le soutien tout au long de mon cursus : à mon père **N'Go Moussa Coulibaly**, ma mère **Karambiri Fatou Traore**, ma marâtre feue **Diarra Ouattara,** mes frères et sœurs**,** mes oncle et Tante **Adama OUEDRAOGO, Karambiri Mamadou Traore, Karambiri Mariam Traore**, mes grand parents **Kadidja ZOURE** et feu **Karambiri Bakary Kouayé Traore** (qui a été pour moi un modèle).

SIGLES ET ABREVIATIONS

AVAPAS	:	Association pour la Vulgarisation et l'Appui aux Producteurs Agroécologistes au Sahel
C	:	Compost
CEP	:	Centre d'Etude et de Prospection
CP	:	Cordon pierreux
FAO	:	Organisation mondiale pour l'Alimentation et l'Agriculture
INERA	:	Institut de l'Environnement et des Recherches Agricoles
LADA	:	Land Degradation Assessment at the global Level
MEA	:	Millenium Ecosystem Assesment
MEDD	:	Ministère de l'Environnement et du Développement Durable
OGM	:	Organisme Génétiquement Modifié
OMM	:	Organisation Météorologique mondiale
ONU	:	Organisation des Nations Unies
PAS	:	Programme d'Ajustement Structurel
PAC	:	Politique Agricole Commune
PICOFA	:	Programme d'Investissement Communautaire en Fertilité Agricole
SIR	:	Respiration induite par les substrats
TA	:	Témoin absolu
UICN	:	Union Internationale pour la Conservation de la Nature
UNCCD	:	United Nations Convention to Combat Desertification
VN	:	Végétation Naturelle
Z	:	Zaï

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 : REPARTITION DE LA POPULATION DE LA REGION DE L'EST 28
TABLEAU 2 : CARACTERISTIQUES DES SOLS DE SAMPIERI (BUNASOLS, 2008) 35
TABLEAU 3 : LISTE DES VARIABLES EXPLICATIVES DU MODELE D'ADOPTION 39
TABLEAU 4 : DETAILS DES HYPOTHESES DU MODELE SUR L'ADOPTION DES TECHNIQUES AGROECOLOGIQUES 40
TABLEAU 5 : INDICATEURS DE FERTILITE DES SOLS SELON LES PRODUCTEURS 41
TABLEAU 6 : TRAVAIL TRADITIONNEL DU SOL 63
TABLEAU 7 : MODE DE FERTILISATION ORGANIQUE 63
TABLEAU 8 : TAUX D'UTILISATION DU COMPOST DANS LES EXPLOITATIONS 65
TABLEAU 9 : ESTIMATIONS DES EFFETS DES PRATIQUES SUR LES RENDEMENTS PAR LES PRODUCTEURS 68
TABLEAU 10 : TEST DE CORRELATION ENTRE LES VARIABLES ET Y 69
TABLEAU 11: RESULTAT DE L'ANALYSE ECONOMETRIQUE DE L'ADOPTION DES PRATIQUES AGROECOLOGIQUES DANS L'EST DU BURKINA (COEFFICIENTS DE REGRESSION) 70
TABLEAU 12 : TAUX DE REFERENCE AUX INDICATEURS EN FONCTION DU TEMPS DE PRODUCTION 71
TABLEAU 13 : FRACTIONS GRANULOMETRIQUES DES SOLS 74
TABLEAU 14 : PH; PH-$_{KCL}$ ET L'ACIDITE POTENTIELLE CONDUCTIVITE ELECTRIQUE DES SOLS (N=3) 85
TABLEAU 15 : TENEURS EN CARBONE ORGANIQUE, AZOTE TOTAL, PHOSPHORE ASSIMILABLE ET RAPPORT C/N DES DIFFERENTS TRAITEMENTS 90
TABLEAU 16 : CEC ET CATIONS ECHANGEABLES DES DIFFERENTS TRAITEMENTS 92
TABLEAU 17: PROPRIETES BIOLOGIQUES DU SOL EN FONCTION DES DIFFERENTS TRAITEMENTS 99
TABLEAU 18: CORRELATION ENTRE LES PROPRIETES PHYSIQUES CHIMIQUES, AND BIOLOGIQUES DE SOLS 100
TABLEAU 19 : PH ; PH-$_{KCL}$ ET CONDUCTIVITE ELECTRIQUE DES DIFFERENTES PARCELLES 108
TABLEAU 20: COMPARAISON DES MOYENNES DES TENEURS EN C, N, PA ET C/N 111
TABLEAU 21 : CATIONS ECHANGEABLES ET CAPACITE D'ECHANGE CATIONIQUE DES DIFFERENTES PARCELLES . 112
TABLEAU 22: PH ET CONDUCTIVITE ELECTRIQUE 115
TABLEAU 23 : TENEUR EN C, N, PA ET RAPPORT C/N 115

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 : LES FONCTIONS DU SOL (ADAPTE DE SCOTTISH GOVERNMENT, 2009) 8
FIGURE 2 : ETAPES DE LA DEGRADATION STRUCTURALE SUR SOL LIMONEUX (LE BISSONNAIS *ET AL.*, 2002) 13
FIGURE 3 : EVOLUTION DES APPROCHES SCIENTIFIQUES DE L'AGROECOLOGIE DEPUIS SES DEBUTS A L'ECHELLE SPATIALE (SCHALLER, 2013 ; WEZEL AND SOLDAT, 2009) 18
FIGURE 4 : CARTE ADMINISTRATIVE DE LA REGION DE L'EST DU BURKINA FASO 29
FIGURE 5 : PLUVIOMETRIE MOYENNE ANNUELLE (MM) DE LA REGION DE L'EST (SOURCE PICOFA ,2006) 30
FIGURE 6 : SITUATION DU VILLAGE DANS LE DEPARTEMENT DE KANTCHARI 33
FIGURE 7 : PRECIPITATIONS ET TEMPERATURES MOYENNES DE LA STATION DE KANTCHARI SUR UNE PERIODE DE 30 ANNEES (1986 A 2016). 34
FIGURE 8 : HUMIDITES MOYENNES DE LA STATION DE FADA N'GOURMA SUR UNE PERIODE DE 30 ANNEES (1986 A 2016). 34
FIGURE 9 :CARTE GEOLOGIQUE DES SILLONS BIRRIMIENS, AVEC 1 : TERRAINS SEDIMENTAIRES ; 2 : SILLONS BIRRIMIENS ; 3 TERRAINS GRANITIQUES ; 4 : NUMEROS DE SILLONS, D'APRES (SATTRAN AND WENMEGA, 2002) 35
FIGURE 10 : CARTE PEDOLOGIQUE DE LA COMMUNE DE KANTCHARI 36
FIGURE 11 : ZONE DE CONDUITE DE L'ENQUETE 38
FIGURE 12 : IMPLANTATION DU TUBE (A) ET MESURE D'HUMIDITE AU CHAMP (B) (SAMPIERI 2014, AUTEUR COULIBALY ABOUBACAR) 41
FIGURE 13 : PARCELLES AMENAGEES EN CORDONS PIERREUX ET PLAN DE PRELEVEMENT 43
FIGURE 14 : ZONE DE PRELEVEMENT DES ECHANTILLONS DANS LE BASSIN VERSANT DE SAMPIERI 44
FIGURE 15 : SCHEMA DU TUBE (SERNA ET AL., 2014) 45
FIGURE 16 : CHAMBRE DE RAYONS X (SERNA ET AL., 2014) 46
FIGURE 17: SYNTHESE DES PARAMETRES MESURES DANS L'ETUDE 59
FIGURE 18 : ETAT DE SURFACE DES SOLS EN HAUT ET BAS DU MIS GLACIS (SAMPIERI 2014, AUTEUR COULIBALY ABOUBACAR) 62
FIGURE 19 : CREUSAGE, STABILISATION ET REMPLISSAGE DE LA FOSSE A COMPOST (SAMPIERI 2014, AUTEUR COULIBALY ABOUBACAR) 66
FIGURE 20 : CORDON PIERREUX (SAMPIERI 2014, AUTEUR COULIBALY ABOUBACAR) 67
FIGURE 21 : MISE EN PLACE DE LA PARELLE DE ZAÏ (SAMPIERI 2014, AUTEUR COULIBALY ABOUBACAR) 68
FIGURE 22: VUE D'UNE PARCELLE TEMOIN (GAUCHE) ET UNE PARCELLE AGROECOLOGIQUES (DROITE) (SAMPIERI 2015, AUTEUR COULIBALY ABOUBACAR) 69
FIGURE 23 : MODELE THEORIQUE DES DETERMINANTS DE L'ADOPTION DES PRATIQUES AGROECOLOGIQUES 71
FIGURE 24 : GRANULOMETRIE DES COUCHES DE 0-10 CM (GAUCHE) ET DE 10-20 CM (DROITE) 73
FIGURE 25: DIFFACTOGRAMMES DES DIFFERENTS TRAITEMENTS1: Z+CP+C; 2 : TEMOIN ; 3 : CP+C (COUCHE 0-10 CM) 75
FIGURE 26: DIFFRACTOGRAMMES DES DIFFERENTS TRAITEMENTS 1: Z+CP+C; 2 : TEMOIN ; 3 : CP+C (COUCHE 10-20 CM) 75
FIGURE 27 : DIFFRACTOGRAMMES DE 2 ECHANTILLONS VN1 ET VN2 DU TRAITEMENT VEGETATION NATURELLE (COUCHE 0-10 CM) 76
FIGURE 28 : EVOLUTION DES REFLEXIONS EN FONCTION DES TRAITEMENTS DANS LE CAS DE L'ECHANTILLON VN1 77
FIGURE 29 : MICROGRAPHIES AU CRYO-MICROSCOPE ELECTRONIQUE A BALAYAGE A EMISSION DE CHAMP DE LA SURFACE DE LA CROUTE MICROBIOTIQUE DE SAMPIERI SUR PARCELLE TEMOIN NATUREL (1-4 X 1300/250/1300/450). F: FILAMENTS; MO: MATIERE ORGANIQUE D: DIATOMEES ; EPS : PERMETTENT DE FIXER LES GRAINS LES PLUS GROSSIERS, C: CAVITES FORMEES PAR L'AGENCEMENT DES GRAINS ET LE RECOUVREMENT DE MATIERE ORGANIQUE. 78
FIGURE 30 : MICROGRAPHIES AU CRYO-MICROSCOPE ELECTRONIQUE A BALAYAGE A EMISSION DE CHAMP DE LA SURFACE DE LA CROUTE MICROBIOTIQUE DE SAMPIERI SUR PARCELLE Z+CP+C (1-4 X

180/4000/1800/1100). MO: MATIERE ORGANIQUE D: DIATOMEES; EPS: EXOPOLYSACCHARIDES PERMETTANT DE FIXER LES GRAINS LES PLUS GROSSIERS. 79
FIGURE 31 : MICROGRAPHIES AU CRY-MICROSCOPE ELECTRONIQUE A BALAYAGE A EMISSION DE CHAMP DE LA SURFACE DE LA CROUTE MICROBIOTIQUE DE SAMPIERI SUR PARCELLE CP+C (1-4 X 250/1500/7000/4500).G: GRAIN GROSSIERS; F: FILAMENTS; MO: MATIERE ORGANIQUE 80
FIGURE 32: MICROGRAPHIES AU CRYO-MICROSCOPE ELECTRONIQUE A BALAYAGE A EMISSION DE CHAMP DE LA SURFACE DE LA CROUTE SUR PARCELLE TEMOIN ABSOLU (1-4 X 250/600/600/4000). 81
FIGURE 33: SPECTRES DE VN PRESENTANT LES ELEMENTS C, AL, O, SI, K, FE, MG, NA. 82
FIGURE 34: SPECTRES DES TRAITEMENTS AGROECOLOGIQUES (CP+C ET Z+CP+ C) PRESENTANT LES ELEMENTS C, AL, O, SI, K, FE. 82
FIGURE 35: SPECTRES DU TEMOIN ABSOLU (TA) PRESENTANT LES ELEMENTS C, AL, O, SI. 82
FIGURE 36 : HUMIDITE DU SOL EN SAISONS SECHE (A) ET HUMIDE (B) 83
FIGURE 37 : TENEUR EN CARBONE ORGANIQUE DES SOLS EN FONCTION DES TRAITEMENTS (N=3) 86
FIGURE 38 : VARIATION DE LA TENEUR EN CARBONE ORGANIQUE EN FONCTION DES COUCHES DE PRELEVEMENT (N=3) 86
FIGURE 39 : TENEUR EN AZOTE TOTAL DES SOLS EN FONCTION DES TRAITEMENTS (N=3) 87
FIGURE 40 : VARIATION DE LA TENEUR EN AZOTE TOTAL EN FONCTION DES HORIZONS DE PRELEVEMENT (N=3) . 87
FIGURE 41 : RAPPORT C/N DES SOLS EN FONCTION DES TRAITEMENTS (N=3) 88
FIGURE 42 : RAPPORT C/N EN FONCTION DES COUCHES (N=3) 89
FIGURE 43: TENEUR EN PHOSPHORE ASSIMILABLE DES SOLS EN FONCTION DES TRAITEMENTS (N=3) 89
FIGURE 44 : VARIATION DE LA TENEUR EN PHOSPHORE ASSIMILABLE EN FONCTION DES COUCHES DE PRELEVEMENT (N=3) 90
FIGURE 45 : CAPACITE D'ECHANGE CATIONIQUE DES SOLS (N=3) 91
FIGURE 46 : CAPACITE D'ECHANGE CATIONIQUE EN FONCTION DES COUCHES (N=3) 91
FIGURE 47: CORRELATION ENTRE LA CEC ET LA TENEUR EN ARGILE ET EN MO DANS LA COUCHE 0-10 CM (A ET B) ET 10-20 CM (C ET D) 93
FIGURE 48 : RESPIRATION BASALE (RB) DES DIFFERENTS TRAITEMENTS SANS APPORT DE SUBSTRAT CARBONE... 94
FIGURE 49 : PROFIL CATABOLIQUE DE L'UTILISATION MOYENNE DES 15 SOURCES DE CARBONE PAR LES MICROORGANISMES DU SOL (N=3) 95
FIGURE 50 : PROFIL CATABOLIQUE DE L'UTILISATION DES 15 SOURCES DE CARBONE PAR LES MICROORGANISMES DU SOL (N=3) 95
FIGURE 51: PROFIL D'UTILISATION DE L'ENSEMBLE DES SUBSTRATS CARBONES PAR LES MICROORGANISMES 96
FIGURE 52: BIOMASSE MICROBIENNE (BM) SOLS DE SURFACE POUR LES DES DIFFERENTS TRAITEMENTS 97
FIGURE 53 : QUOTIENT METABOLIQUE (qCO_2) DES SOLS 98
FIGURE 54 : INDICE DE SHANNON-WEAVER H' DES SOLS 98
FIGURE 55: INDICE D'EQUITABILITE E DES SOLS DE SURFACE 99
FIGURE 56 : RESULTATS DE L'ACP POUR LA BASE DE DONNEES DES ANALYSES PHYSIQUES ET CHIMIQUES (12 OBSERVATIONS). A : VALEURS PROPRES EN FONCTION DES FACTEURS. B: PROJECTION DES VARIABLES DANS LE PLAN F1-F2. C : PROJECTION DANS LE PLAN F1-F2 DES OBSERVATIONS. 101
FIGURE 57 : RESULTATS DE L'ACP POUR LA BASE DE DONNEES DE MICRORESP (72 OBSERVATIONS). A : VALEURS PROPRES EN FONCTION DES FACTEURS. B: PROJECTION DES VARIABLES DANS LE PLAN F1-F2. C : PROJECTION DANS LE PLAN F1-F2 DES OBSERVATIONS. 102
FIGURE 58: RESULTATS DE L'ACP POUR L'ENSEMBLE DES DONNEES DES (84 OBSERVATIONS). A : VALEURS PROPRES EN FONCTION DES FACTEURS. B: PROJECTION DES VARIABLES DANS LE PLAN F1-F2. C : PROJECTION DANS LE PLAN F1-F2 DES OBSERVATIONS. 103
FIGURE 59 : RENDEMENTS GRAINS ET PAILLE. 104
FIGURE 60 : CORRELATION ENTRE LES TENEURS EN CARBONE ORGANIQUE, AZOTE TOTAL ET PHOSPHORE ASSIMILABLE ET LA PRODUCTION GRAIN (A, B, C) ET LA PRODUCTION PAILLE (D, E, F) 105
FIGURE 61 : EVOLUTION DE LA BIOMASSE MICROBIENNE (µG BIOMASSE-G^{-1}) ET DU POIDS DES GRAINS DU SORGHO (T/HA) CULTIVE AU CHAMP 106

FIGURE 62 : BIOMASSE MICROBIENNE (µG BIOMASSE-C G^{-1}) ET POIDS PAILLE DU SORGHO (T/HA) CULTIVE AU CHAMP 106
FIGURE 63 : CORRELATION ENTRE LA BM ET LA PRODUCTION DE GRAIN DE SORGHO, ... 107
FIGURE 64: CORRELATION ENTRE LA BM ET LA PRODUCTION DE PAILLE DE SORGHO, ... 107
FIGURE 65 : TENEUR EN CARBONE ORGANIQUE DES DIFFERENTES PARCELLES 109
FIGURE 66 : TENEUR EN AZOTE TOTAL DES DIFFERENTES PARCELLES 109
FIGURE 67: RAPPORT C/N DES DIFFERENTES PARCELLES 110
FIGURE 68 : TENEURS EN PHOSPHORE ASSIMILABLE DES DIFFERENTES PARCELLES 111
FIGURE 69 : RESPIRATION BASALE (RB) DES DIFFERENTES PARCELLES 112
FIGURE 70: BIOMASSE MICROBIENNE (BM) DES DIFFERENTES PARCELLES 113
FIGURE 71 : QUOTIENT METABOLIQUE (qCO_2) DES DIFFERENTES PARCELLES 113
FIGURE 72 : INDICE DE SHANNON-WEAVER H' DES SOLS 114
FIGURE 73 : INDICE D'EQUITABILITE E DES SOLS 114
FIGURE 74 : RELATIONS ENTRE LA DISTANCE DE PRELEVEMENT ET LE PH DES SOLS 116
FIGURE 75 : RELATIONS ENTRE LA DISTANCE DE PRELEVEMENT ET LA TENEUR EN AZOTE DES SOLS 116
FIGURE 76 : RELATIONS ENTRE LA DISTANCE DE PRELEVEMENT ET LA TENEUR EN CARBONE DES SOLS 116
FIGURE 77: RELATIONS ENTRE LA DISTANCE DE PRELEVEMENT ET LA TENEUR EN PHOSPHORE ASSIMILABLE DES SOLS 117
FIGURE 78: RESPIRATION BASALE (RB) DES POINTS DE PRELEVEMENT 117
FIGURE 79: BIOMASSE MICROBIENNE (BM) DES POINTS DE PRELEVEMENT 118
FIGURE 80 : QUOTIENT METABOLIQUE (qCO_2) DES POINTS DE PRELEVEMENT 118
FIGURE 81 : INDICE DE SHANNON-WEAVER H' DES POINTS DE PRELEVEMENT 118
FIGURE 82: INDICE D'EQUITABLE E DES POINTS DE PRELEVEMENT 119
FIGURE 83: FOSSE PEDOLOGIQUE EN HAUT DE PENSE DANS LE BASSIN VERSANT DE SAMPIERI 153
FIGURE 84 : FOSSE PEDOLOGIQUE EN MILIEU-BAS DE PENSE DANS LE BASSIN VERSANT DE SAMPIERI 154
FIGURE 85: FOSSE PEDOLOGIQUE EN MILIEU-BAS DE PENSE DANS LE BASSIN VERSANT DE SAMPIERI 155
FIGURE 86 : RESPIRATION BASALE DES DIFFERENTS POINTS DE PRELEVEMENT EN FONCTION DES PARCELLES 156
FIGURE 87 : BIOMASSE MICROBIENNE DES DIFFERENTS POINTS DE PRELEVEMENT EN FONCTION DES PARCELLES 156
FIGURE 88 : QUOTIENT METABOLIQUE DES DIFFERENTS POINTS DE PRELEVEMENT EN FONCTION DES PARCELLES 157
FIGURE 89 : INDICE DE SHANOON-WEAVER DES DIFFERENTS POINTS DE PRELEVEMENT EN FONCTION DES PARCELLES 157
FIGURE 90 : INDICE D'EQUITABILITE DES DIFFERENTS POINTS DE PRELEVEMENT EN FONCTION DES PARCELLES . 158

INTRODUCTION GENERALE

Dans la zone soudano-sahélienne, les sécheresses récurrentes ayant sévies depuis les années 1970, la pression démographique, les modèles intensifs inadaptés tentés ça et là, ainsi que les systèmes extensifs de productions agro-pastoraux, ont eu pour conséquence immédiate d'accroître la vulnérabilité des agro-écosystèmes. En effet, la révolution verte, symbole de l'intensification agricole(ou d'agriculture industrialisée) reposant sur le travail du sol, sur le recours massif aux intrants minéraux et de synthèse d'origine industrielle (engrais, pesticides et énergie) et sur un petit nombre d'espèces cultivées (Sainju *et al.*, 2003; Goïta ,2014) a eu pour corollaire l'augmentation des rendements des cultures céréalières (Sainju *et al*., 2003; Gomiero *et al.*, 2011). A l'échelle mondiale, les conséquences de cette modernisation ont été notamment la multiplication par dix des rendements de la production céréalière et des superficies cultivées par exploitant, une forte augmentation de la production de l'élevage, et une multiplication par plus de cent de la productivité brute du travail agricole (Mazoyer *et al*., 2002). En Afrique, cela a eu comme effet l'augmentation des rendements estimée à environ 14%, mais avec en parallèle un doublement des surfaces cultivées (Soule and Gansari, 2010).

Malgré cela, la nourriture ne parvient pas à tout le monde pour diverses raisons. D'ailleurs, entre 2012 et 2014, les estimations montrent qu'environ 805 millions de personnes sont chroniquement sous-alimentées avec 30% environ en Afrique et plus de 98% dans l'ensemble des pays en voie de développement (FAO, 2014). Malgré ces efforts et ces pratiques modernes, l'insuffisance d'aliments et la sous-alimentation sont des phénomènes qui affectent le continent africain de façon récurrente.

Ce type d'agriculture engendre cependant comme conséquence la réduction de la biodiversité, la dégradation des terres arables, l'altération de la qualité et la quantité de l'eau et une contribution négative aux changements climatiques (Gomiero *et al.* 2011). La conséquence la plus caractéristique est de façon pratique, une baisse continue de la productivité des terres qui est la traduction d'un processus complexe de détérioration des propriétés chimiques, physiques et biologiques du sol (Hien, 2004). Ces dysfonctionnements sont également aggravés par l'impact des changements climatiques globaux (Jauffret, 2009) dont les modèles prédictifs s'accordent sur une augmentation probable de l'instabilité des conditions climatiques à travers le monde avec des sécheresses ou d'inondations catastrophiques.

En plus de ces perturbations climatiques et anthropiques qui se traduisent sur le fonctionnement des systèmes biogéosystèmes continentaux par l'accélération ou l'atténuation des changements engendrés par ces perturbations, il convient de noter que les milieux tropicaux présentent généralement des sols fragiles et des climats agressifs.

Pays enclavé et fragile sur le plan écologique, le Burkina Faso n'est malheureusement pas à l'abri de cette tendance générale du monde agricole au Sahel. Il est même plus exposé car son économie à une structure essentiellement basée sur son capital « terres et/ou ressources naturelles ». Malheureusement, sous l'effet conjugué du climat et de l'action anthropique, ce capital « terres et/ ou ressources naturelles » subit une dégradation inquiétante mettant en péril le développement socioéconomique du pays. En effet, certaines études (Gomgnimbou *et al.*, 2010) ont montré que la dégradation des écosystèmes terrestres et d'une manière générale de l'environnement au Burkina Faso est liée aux facteurs anthropiques, notamment les activités agricoles. De plus, les versants présentent une hétérogénéité morpho-pédologique de l'amont vers l'aval marquée souvent par la présence d'une carapace ou d'une cuirasse qui limite la profondeur utile du sol (80 et 100 cm maximum).

La présence de cette carapace ou cuirasse à faible profondeur sur près des 2/3 des glacis impose entre autres des contraintes au fonctionnement hydrique et à la croissance végétale de même que la susceptibilité des sols au ruissellement quelle que soit sa texture. Selon une évaluation de l'INERA en 2010, environ 24% des terres arables du Burkina Faso sont fortement dégradés et menacent de nuire à la qualité du milieu naturel et à la sécurité alimentaire du pays à moyen et à long termes.

A cela, il faut ajouter le fait que les sols du pays sont caractérisés par leur pauvreté des nutriments, en particulier l'azote et le phosphore (Dembélé et Somé, 1991). Ils sont également caractérisés par une richesse en limon et en sable fin avec une mauvaise stabilité structurale, une faible teneur en argiles et une faible teneur en matière organique (moins de 3% sous la végétation et 0,7% sous cultures) (Pieri, 1989).

Le défi qui se pose aujourd'hui aux acteurs de développement en Afrique subsaharienne et en particulier au Burkina Faso est de concilier production agricole, croissance démographique, protection et gestion raisonnée des ressources naturelles. En effet, les systèmes de grande culture doivent être mieux gérés pour qu'ils soient plus résilients, augmentent la production agricole, tout en conservant les ressources naturelles et la biodiversité (Koohafkan *et al.,* 2012).

L'engagement du secteur agricole vers des voies permettant de concilier plus efficacement et durablement les enjeux socio-économiques (notamment la compétitivité via l'augmentation de la production et des rendements) et les enjeux environnementaux (restauration des sols dégradés) comme l'intensification écologique apparaît aujourd'hui comme une nécessité impérieuse.

Dans ce contexte, des travaux scientifiques agronomiques combinés avec des savoirs traditionnels paysans ont contribué à identifier et révéler des solutions techniques innovantes. On peut citer entre autres: (i) l'agriculture biologique qui interdit l'utilisation d'intrants chimiques de synthèse et minéraux et d'organismes génétiquement modifiés (OGM), et tente de restaurer des cycles biogéochimiques et des processus écologiques jusqu'alors substitués par la technologie. Ce modèle dispose d'un label permettant de reconnaître et valoriser ces pratiques. (ii) l'agriculture de conservation qui est un autre modèle de production qui n'exclut pas complètement les intrants chimiques mais vise à en réduire l'utilisation, et qui porte l'essentiel de son attention sur la préservation des sols (par le non-labour, les couverts végétaux, etc.). Chacune de ces alternatives met l'accent sur des enjeux plus ou moins ciblés et ouvre dans ce cadre de nouvelles voies d'action; cependant, aucun n'est en mesure de répondre à l'ensemble des dégradations d'un agroécosystème (Berthet, 2013).

La recherche scientifique propose un nouveau concept : l'agroécologie ou l'agriculture écologiquement intensive (Griffon, 2013), qui vise à concevoir des systèmes de production agricole s'appuyant sur les fonctionnalités offertes par les agroécosystèmes, est de plus en plus citée, notamment dans les travaux de recherche et par certains professionnels du secteur agricole, comme l'une des voies possibles (Bonny, 2010) pour la gestion de la crise liée aux pratiques agricoles. De plus, au niveau politique, divers instruments ont été mis en œuvre et entrant dans la logique de la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques et le protocole de Kyoto. Le Millennium Ecosystem Assessment (MEA, 2005) a même fourni une classification des services écosystémiques en quatre grandes catégories : les services d'approvisionnement, de régulation, culturelle et de support. En Europe, la Politique Agricole Commune (PAC) a mis en place depuis 2005 des aides aux agriculteurs respectant les bonnes pratiques agricoles et environnementales. Dans les pays en voie de développement en général, et au Burkina Faso en particulier, des actions publiques en faveur de la promotion des bonnes pratiques agricoles et la préservation de l'environnement ont vu le jour et sont appuyées par divers partenaires au développement.

Le pays a ainsi lancé en mars 2010, le Programme National de Partenariat pour la Gestion Durable des Terres dont le but est de « combattre la dégradation des terres et la pauvreté au Burkina Faso, à travers un aménagement durable, décentralisé et équitable des ressources rurales ». Un des résultats attendus du programme porte sur « la promotion des bonnes pratiques, équitable et intégrée des terres, incluant les pratiques innovantes et les connaissances locales » (MEDD, 2011). Mais ce type de programme bien qu'inclusif ne couvre pas tout le territoire bien que la problématique environnementale soit générale. Des ONG et associations prennent souvent le relais pour accompagner des communautés rurales dans leur quête du bien-être. C'est le cas par exemple de certains programmes surtout au Nord du pays et du projet BIOSOL dans la région Est du Burkina Faso. Il apparaît donc nécessaire de bien connaître et de comprendre l'impact des techniques agricoles pour les systèmes de grandes culture actuellement mises en œuvre et les trajectoires de culture des paysans.

Techniquement basée sur l'utilisation mesurée des ressources locales, l'agroécologie vise à intégrer dans sa pratique l'ensemble des paramètres de gestion écologique de l'espace cultivé permettant de concilier productivité, gestion durable des ressources naturelles, sécurité alimentaire et développement humain tout en préservant la santé des populations (Altieri, 2002; De Schutter , 2010; Dufumier, 2010; Van Walsum, *et al.*, 2014; Francis et al., 2003). Ces avantages sont par conséquent les socles de construction d'une agriculture plus résiliente (USAID, 2012).

Les effets de ces pratiques agroécologiques notamment le zaï, les cordons pierreux en association avec la fertilisation organique sur le sol et les rendement des cultures ont été évalués dans la partie Ouest et Nord surtout du Burkina Faso (Yaméogo *et al.*, 2011 ; Sawadogo *et al.*, 2008). En revanche, la partie Est du pays avec des caractéristiques climatiques et pédologiques différentes de celles de ces zones a été très peu étudiée.

Dans la partie Nord du Burkina Douamba *et al.* (2011) ont conduit des travaux sur l'effet des cordons pierreux sur la biologie du sol. Dans des conditions climatiques quasi-similaires, d'autres études ont été conduites de par le monde (Zhou *et al.*, 2012; Jiang *et al.*, 2012; Ding et *al.* , 2013; Diakhaté *et al.*, 2016). Ces études ont révélé globalement l'effet positif de bonnes pratiques agricoles sur les caractéristiques de la microflore du sol. Mais dans ce genre de pratiques, l'effet environnemental et les habitudes des producteurs prennent également une place importante. De plus, l'effet combiné des différentes pratiques n'a pas été abordé dans les études citées ci-dessus.

D'où l'intérêt de cette étude dans cette zone agroécologique après plusieurs années de promotion de ces pratiques et le suivi de la trajectoire de culture. Elle aborde ainsi le problème de la dégradation des ressources naturelles en générale et celle du sol en particulier. Elle place également l'agroécologie ainsi que les indicateurs physiques, chimiques et biologiques qui peuvent en découler au centre des questions à aborder pour faire face à cette dégradation dans l'optique d'améliorer les productions agricoles.

Ce travail a consisté dans un premier temps à faire le bilan des connaissances agroécologiques ainsi que les déterminants de leur adoption auprès des producteurs dans le contexte tropical et en particulier en Afrique de l'Ouest. Dans un second temps, il s'est agi d'évaluer l'impact de ces pratiques adoptées sur les caractéristiques physiques, chimiques et microbiologiques des sols. Enfin, l'effet de ces variations sur les rendements du sorgho, principale céréale des systèmes de culture étudiés, a été appréhendé. Sur la base des résultats obtenus, des alternatives d'amélioration ont été proposées pour l'optimisation de ces pratiques.

Le **premier chapitre** est consacré à l'état actuel des connaissances sur la dégradation des sols. Les processus en jeu, les causes ainsi que les conséquences sur les sols agricoles ont été abordés. Dans cette même partie ont été présentés l'historique et l'évolution ainsi que les effets de certaines pratiques agroécologiques sur les sols.

Le **deuxième chapitre** présente les caractéristiques agro-pédo-climatiques de l'Est du Burkina en général et celle de Sampieri (commune de Kantchari) en particulier qui constitue notre zone d'étude. Il aborde également les méthodes utilisées pour conduire l'enquête agronomique, les observations et mesures directes de terrain ainsi que les analyses au laboratoire des sols.

Les **troisième, quatrième et cinquième chapitres** présentent respectivement les résultats de l'enquête agronomique, les effets des pratiques agroécologiques sur les caractéristiques du sol et des rendements des cultures et ceux de l'essai d'amélioration de l'effet distance entre les lignes de cordon pierreux.

Le **sixième chapitre** fait une analyse critique des résultats en comparaison aux données de la littérature. Enfin, une conclusion générale et des perspectives mettent fin à ce mémoire.

PREMIERE PARTIE: REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I: ETAT DE DEGRADATION DES SOLS

Introduction

Le sol est un milieu vivant d'une extrême complexité, dont il convient de mettre en valeur toutes les possibilités pour la maîtrise des fonctions biologiques et de production (Keilling, 1997). La dégradation des sols constitue une menace majeure pour la vie sur terre, y compris pour les humains de façon directe et indirecte. La dégradation des sols résulte de divers facteurs, dont les activités humaines et les catastrophes induites par les variations climatiques telles que la sécheresse et les inondations. Pour une gestion rationnelle des sols afin de minimiser les risques, il s'avère nécessaire d'appréhender l'ampleur du phénomène et les effets sur la ressource elle-même, sur les écosystèmes et les êtres humains.

1.1 Phénomène de dégradation des sols

1.1.1 Fonctions du sol

Le sol est un mélange complexe biologiquement actif de minéraux altérés, de composés organiques et inorganiques, d'organismes vivants, d'air et d'eau (Scottish Government, 2009). Ces éléments sus cités sont liés aux interactions et processus physiques, chimiques et biologiques qui se déroulent dans le sol. Il est considéré comme une ressource non renouvelable à l'échelle humaine car sa formation (pédogenèse) est un processus long et il faut environ 1000 à 100 000 ans suivant les conditions pour former un mètre de sol (Lavelle, 2013). A partir de ce processus le sol acquiert des capacités et des qualités à fournir des biens et services aux agro-écosystèmes. Le concept de services écosystémiques est largement utilisé de nos jours (Dobbie *et al.*, 2011) et se définit comme les bénéfices directs et indirects obtenus par les individus et la société grâce aux services fournis par les écosystèmes (MEA, 2005). Ces services écosystemiques sont les suivants:

- services d'approvisionnement : les produits obtenus à partir des écosystèmes;
- services de régulation : les avantages obtenus à partir de la régulation des processus de l'écosystème;
- services culturels: les bénéfices immatériels, tels que l'enrichissement spirituel, de la réflexion et de loisirs que les gens tirent des écosystèmes;
- soutien (support) : les services qui sont nécessaires pour la production de tous les autres services écosystémiques.

La capacité du sol à assurer ces services écosystemiques est étroitement liée à la qualité du sol et donc également en partie aux facteurs extérieurs que peuvent appliquer les agriculteurs à ces sols. Et cette qualité du sol peut être définie comme la capacité des sols à remplir certaines fonctions (Dobbie *et al.*, 2011).Ainsi donc le sol assumerait certaines fonctions (Figure 1) lui permettant de fournir les différents services. Ces principales fonctions sont:

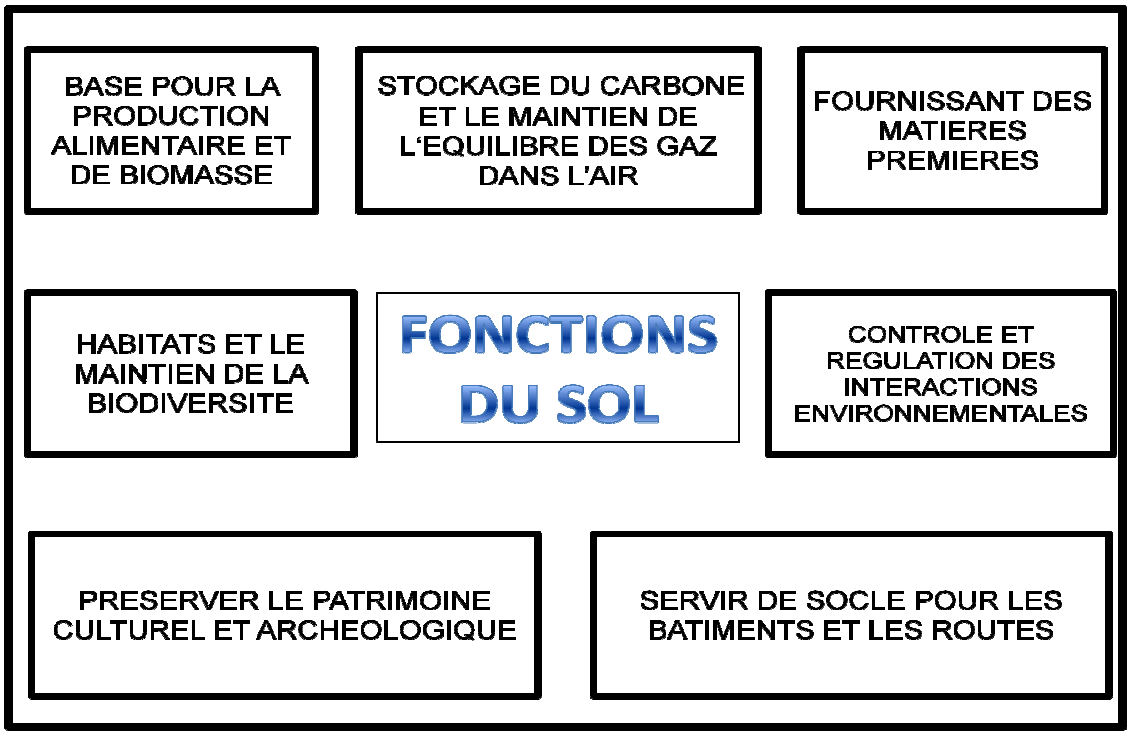


Figure 1 : Les fonctions du sol (adapté de Scottish Government, 2009)

1.1.2 Rôles du sol dans les agro-ecosystèmes

Le sol joue un rôle primordial dans la production agricole. Il met à la disposition des végétaux les éléments nutritifs dont ils ont besoin. En effet, c'est grâce à la dégradation de la matière organique que les végétaux obtiennent des nutriments et d'autres composés (Doran *et al.,* 1996) nécessaires pour leur croissance. Ces éléments nutritifs ainsi produits sont soient directement mis à la disposition des plantes ou stockés dans le sol pour être progressivement mis à leur disposition.

Le sol joue également un rôle dans le stockage et de régulation du carbone. Essentiellement sous forme de matière organique, le stockage du carbone organique tout en protégeant l'environnement contribue à la fertilité du sols et donc à l'augmentation des production agricoles et autres biens (Turbé *et al.,* 2010). Le carbone des sols affecte aussi la dynamique et la biodisponibilité des principaux éléments nutritifs.

La quantité de carbone organique contenue dans les sols est évaluée à 1 500 milliards de tonnes, soit environ deux fois plus que dans l'atmosphère, et trois fois plus que dans la végétation terrestre (Joosten, 2015 ; Arrouays *et al.*, 2002 ; Doran *et al.,* 1996). Suite à la dégradation de la matière organique, le carbone du sol est relâché principalement sous forme de CO_2 (Dominati *et al.*, 2010) . En général, le travail du sol est cité comme un facteur influençant cette émission (Doran *et al.,* 1996).

Le sol joue en plus un rôle majeur dans le cycle de l'eau sur la terre. La ressource en eau renouvelable de la planète est fournie par les précipitations annuelles (Marsily, 2013) et l'état de surface du sol jouerait un rôle crucial dans le devenir de l'eau qui tombe. En effet, il peut y avoir infiltration ou ruissellement selon les propriétés physiques des sols ainsi que la couverture végétative qui s'y trouve (Turbé *et al.,* 2010). La végétation retient l'eau, réduit le ruissellement et augmente donc l'évapotranspiration du sol. A l'opposé, l'absence de végétation favorise le ruissellement et les phénomènes connexes comme l'érosion et les inondations. L'eau qui s'infiltre ainsi permettra la recharge des nappes souterraines et autres stocks pour la consommation humaine et l'utilisation ultérieure par les plantes.

1.1.3 Dégradation des sols

1.1.3.1 Ampleur d'un phénomène mondial

Plus qu'un support, le sol est un facteur important pour l'homme puisqu'il représente pour lui son milieu de vie et contribue également à la production de biens et services indispensables à sa survie. En effet, l'alimentation (calories) de l'homme provient à 99.7 % de la terre et à 0.03% des océans et autres milieux aquatiques (Pimentel, 2006). Les différentes fonctions assurées par le sol permettent ainsi aux humains de subvenir à leurs besoins. Mais selon la FAO(2011), malgré le rôle primordial des terres elles ne sont pas bien gérées et sont actuellement dégradées à un niveau alarmant. En effet, chaque année, 12 millions d'hectares de terres productives sont perdus à cause de la dégradation des sols et de la désertification (UNCCD, 2012). Cette situation menace l'équilibre des écosystèmes et rend vulnérable de nombreuses populations.

La dégradation des terres qui est la réduction de la capacité de la terre à fournir des biens et services écosystémiques sur une période donnée à l'écosystème et à ses bénéficiaires (LADA, 2011) est un problème mondial. En effet, on estime qu'environ un quart de la superficie mondiale des terres est dégradé, affectant ainsi 1,5 milliard de personnes dans toutes les zones agroécologiques à travers le monde (Von Braun *et al.,* 2013).

Au cours des 40 dernières années, environ 65% des terres arables ont été affectés par ce phénomène (Scherr, 1999; Bationo *et al.,* 2007). En outre, environ dix millions d'hectares de terres agricoles sont perdus chaque année (Roose *et al.,* 2008). En Afrique, la dégradation des terres affecte 45% des terres arables et ce fait pourrait atteindre 66% d'ici à 2025 si des mesures ne sont pas prises pour la limiter (UNCCD, 2011).

Ce phénomène a des incidences notables sur plus de 80 pays (surtout en Afrique et en zone tropicale) dans le monde et 25% des terres sont considérées comme très dégradées (FAO, 2011). Sur cette portion de terres dégradées 45% sont des forêts, 20% des terres cultivées et entre 20 à 25 % des pâturages (MEA, 2005). De plus les prévisions semblent alarmistes sur la question de la dégradation des terres. Lors des quarante prochaines années, la perte annuelle des terres cultivées serait de l'ordre de 10 à 12 millions d'hectares (MEA, 2005), soit 0,7 à 1% du capital disponible suite à une détérioration de leur qualité (forte baisse de productivité) ou d'un changement d'usage (Brabant et Cheverry, 2012) si aucune action n'est prise pour inverser ces tendances. L'activité humaine est donc un facteur majeur de la dégradation des sols. La dégradation des sols touche en majorité les populations rurales dans les régions pauvres et de forte démographie dans le monde en développement. Ces populations habitent pour la plupart dans les zones arides ou semi-arides qui sont sujettes à la désertification. D'ailleurs, ces zones comptent plus du tiers de la population mondiale, ce qui correspond à 2,1 milliards d'êtres humains (MEA, 2005). 90 % de cette population habitent dans les pays en voie de développement.

Parmi tous les continents, l'Afrique apparait comme le plus fragile (UNCCD, 2011). L'UNCCD affirmait en 2011 que la désertification touche 45 % des terres africaines et que ce chiffre pourrait atteindre 66 % en 2025 si des actions ne sont pas prises pour la limiter (UNCCD, 2011). En 2014, on estimait que les deux tiers des terres africaines sont déjà dégradées dans une certaine mesure et que la dégradation des terres affectait au moins 65% de l'ensemble de la population africaine (UNCCD, 2014).

1.1.3.2 Cas du Burkina Faso

Le Burkina Faso est l'un des pays les plus touchés par le phénomène de la dégradation des terres dans le monde. Il est de loin le pays le plus touché en Afrique et souffre sérieusement de la dégradation des terres agricoles avec plus de 20% du territoire affecté (LADA, 2011)). On estime à ce jour à 9 234 500 ha l'ensemble des terres agricoles dégradées avec un taux annuel de progression de l'ordre de 105 000 à 250 000 ha.

Une étude réalisée déjà 1996 estimait que les surfaces de productions dénudées sont passées de 375 ha environ en 1956 à 1 160 ha environ en 1990, soit une progression moyenne d'environ 9 % par an (Hien et al., 1996). Ces auteurs affirment en outre que cette dégradation des terres va bien au-delà des terres cultivées et les méthodes de conservation doivent tenir compte des espaces naturels et non cultivés (brousses) sous peine de voir l'ensemble du système agro-pastoral menacé. Le phénomène parait ainsi généralisé au Burkina Faso depuis bien longtemps vu le constat fait par les études aussi variées que diversifiées en terme de zone agro écologique du pays : dans le bassin du Nakanbé (Hien et al.,1996) ; dans la zone Est du pays (Mazzucato *et al*.,2001) ; dans la zone de Boromo (Aurouet *et al.*, 2005) ; dans la zone Nord (Bayen *et al.*, 2011, et Sawadogo *et al.*, 2008). Tous s'accordent sur le fait que le phénomène est réel au Burkina Faso même si les causes de la dégradation sont diverses. Cependant, pour Gomgnimbou *et al*. (2010), la principale raison de la dégradation des écosystèmes terrestres et d'une manière générale de l'environnement au Burkina Faso est liée aux facteurs anthropiques, notamment les activités agricoles.

1.2 Typologie des dégradations des sols

Toute action sur les sols les transforme qu'il s'agisse de modifications voulues, destinées à améliorer certains paramètres (teneur en matière organique, pH, salinité) ou propriétés physiques (porosité, drainage, etc.) par les pratiques agricoles. Toutefois les fonctions du sol peuvent se détériorer et aboutir à une dégradation des sols suite à ces interventions ou de façon naturelle. Selon la Convention des Nations Unies sur la Lutte Contre la Désertification (UNCCD) , la dégradation des sols est « la diminution ou la disparition, dans les zones arides, semi-arides et subhumides sèches, de la productivité biologique ou économique et de la complexité des terres cultivées non irriguées, des terres cultivées irriguées, des parcours, des pâturages, des forêts ou des surfaces boisées du fait de l'utilisation des terres ou d'un ou de plusieurs phénomènes, notamment de phénomènes dus à l'activité de l'homme et à ses modes de peuplement, tels que l'érosion des sols causée par le vent et/ou l'eau ». Bien souvent, intervenir sur le sol provoque différentes formes de dégradation physique, chimique et biologique dont les plus extrêmes se manifestent sous la forme d'érosion (Dosso, 2015).

Elle résulte des activités humaines ou elle est un phénomène naturel aggravé par l'effet des activités humaines. (Brabant, 2008). Sur la base des études du Global Assessment of Human Induced Soil Degradation (GLOSAD) on estime que la dégradation chimique (12%) et la dégradation physique (5%) représentent des formes de dégradation des sols liées surtout à l'activité humaine.

1.2.1 Dégradation chimique

La dégradation chimique se manifeste par la perte des éléments nutritifs, l'acidification, la salinisation et la pollution des sols (Lavelle, 2013; Calvet, 2003; Cheverry, 1994). Elle consiste en général en des processus qui causent des déséquilibres de la composition chimique du sol (Dominati *et al*., 2010). L'acidification provient de la perte irréversible ou une lixiviation du sol en trop grande quantité des cations minéraux (Ca notamment) (Dominati *et al.*, 2010). Ce processus peut s'accompagner d'une toxicité aluminique surtout pour des sols à pH voisin de 5,5 (Segalen, 1973; Boyer, 1976)qui affecte fortement la production végétale ; d'où l'apport d'amendements calciques (chaulage) pour atténuer cette menace. Par contre, l'augmentation dans le sol de sels solubles (chlorure, sulfates…) peut provoquer la salinité et même parfois l'alcalinisation (accumulation de carbonates de sodium) (Lavelle, 2013). Ces processus qui peuvent être naturels sont souvent renforcés lors des opérations d'irrigation. Quant à la pollution, elle résulte de l'accumulation d'éléments chimiques toxiques ou qui le deviennent à une certaine quantité. Elle est due le plus souvent à l'emploi de produits chimiques dans l'agriculture ou les activités industrielles, avec leurs rejets solides, liquides et même atmosphériques.

1.2.2 Dégradation physique

La dégradation physique des sols correspond principalement à une désorganisation de leur structure (Dosso, 2015) empêchant ainsi les différents transferts et processus naturels qui sont essentiels pour un sol en bonne santé (Turbé *et al.,* 2010). Comme exemple de dégradation physique du sol on peut citer la compaction et l'encroutement ou battance (Joosten, 2015).

1.2.2.1 Compaction

La compaction est une réorganisation des agrégats du sol qui sont déformés où détruits sous la pression. Les causes les plus fréquentes sont une forte concentration de bétail et l'utilisation de lourdes machines agricoles et des pratiques de labour inappropriées, principalement menées en agriculture industrialisée (FAO, 2015 ; Lavelle, 2013).

1.2.2.2 Encroûtement

L'encroûtement (battance) des sols est un phénomène local à la surface du sol qui se traduit par une mince couche imperméable. C'est une dégradation structurale superficielle sous l'action de la pluie (Le Bissonnais, 1990 ; Bradford et Huang, 1992).On distingue à l'échelle de la parcelle et en fonction du positionnement sur les versants différents types de croûtes: les

croûtes structurales, les croûtes de ruissellement, les croûtes d'érosion, les croûtes de sédimentation et les croûtes grossières (Valentin, 1994).

Leur apparition sur une parcelle donnée peut entrainer des conséquences tant au niveau des végétaux que des autres caractéristiques du sol. On peut observer en particulier les phénomènes suivants:

- entrave à l'émergence des plantules;
- réduction de l'infiltration (Casenave et Valentin, 1989) et
- augmentation du ruissellement et l'érosion.

Le déclenchement et la formation de ces croûtes superficielles dépendent de la texture du sol, de la stabilité des agrégats, de la topographie notamment la pente (Chaplot et Le Bissonnais, 2000) et des précipitations (Le Bissonnais, 2000). Ce phénomène est donc la résultante d'un ensemble de mécanismes complexes aboutissant à la désagrégation des agrégats du sol (Figure 2).

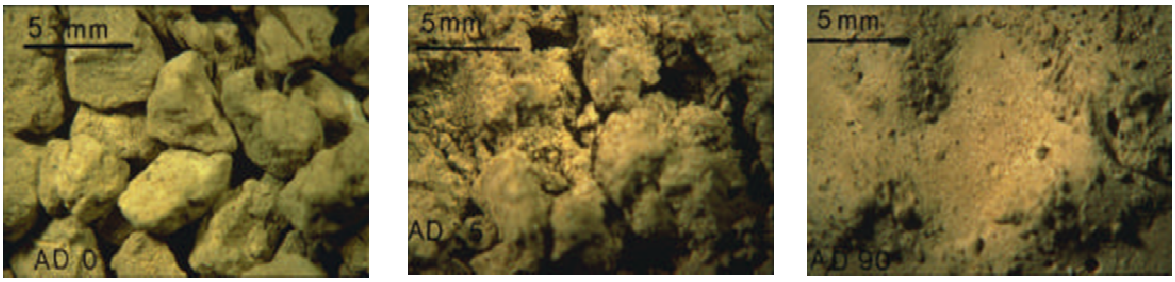


Figure 2 : Etapes de la dégradation structurale sur sol limoneux (Le Bissonnais *et al.*, 2002)

1.2.3 Erosion

L'érosion est un phénomène naturel mais elle devient dangereuse quand elle va plus vite que la reconstitution régulière des horizons organiques et biologiques de surface. Elle est définie comme un processus d'altération de la surface du sol et de modification du relief impliquant successivement le détachement de particules de sol, leur transport sous l'action de divers agents exogènes (Dominati *et al.,* 2010) dont les principaux sont l'eau et le vent (Turbé *et al.,* 2010). Au niveau mondial l'érosion représente 83% des terres affectées par le phénomène de la dégradation des sols. Elle provoque ainsi une perte de la fertilité des sols ainsi que la diminution de leur productivité à long terme (Kiage, 2013). Le décapage de la couche superficielle ainsi que la formation de ravines et de rigoles sont des effets visibles de l'érosion sur le sol.

Des mesures sont donc prises pour lutter comme ces différentes formes d'érosion des sols à travers l'adoption de méthodes culturales appropriées (apport de matière organique, non déchaumage, travail du sol…) et d'aménagements d'ouvrages antiérosifs (bandes enherbées, bassin de rétention des eaux, construction du chemin de l'eau…) (Gauvin, 2000) .Malgré tout, quand elle atteint un point de non-retour elle fait place à la désertification et le sol au-delà de ne plus remplir ces fonctions habituelles ne peut plus être restauré. Le climat peut être cité comme le principal facteur mais elle est accélérée par l'action de l'homme et les changements climatiques.

1.3 Causes et conséquences de dégradation des sols

1.3.1 Causes de la dégradation

La dégradation des terres fait intervenir deux systèmes solidaires et complexes: l'écosystème naturel et le système social et économique (Pulido et Bocco, 2014). Elle est donc le résultat d'une combinaison et/ou de l'interaction de plusieurs facteurs biophysiques et anthropiques qui ont un effet direct sur l'écosystème terrestre (UNCCD, 2012). Cependant, Kiage (2003) révèle que la seule interaction entre les facteurs biophysiques peut conduire à l'érosion et à la dégradation des sols. Contrairement à certaines analyses qui lient la dégradation et l'érosion des terres à la croissance démographique avec son corollaire de production agricole, il apparait donc que les phénomènes naturels ont une part importante de responsabilité dans le devenir des terres agricoles.

1.3.1.1 Facteurs biophysiques

Les facteurs biophysiques, y compris la géologie, le climat, la topographie et la couverture végétale ont des rôles importants dans le processus de dégradation et d'érosion des sols (Kiage, 2013). Des régions entières peuvent avoir des prédispositions à la dégradation des terres en raison de leur histoire géologique (Dominati *et al.,*2010) indépendamment de toute intervention humaine. Les propriétés inhérentes des sols, telles que la texture et le type d'argiles, la structure, le taux de la matière organique, et les propriétés de rétention d'eau sont des facteurs qui déterminent son érodibilité (Kiage, 2013). De plus les caractéristiques du climat local. dont l'intensité, la quantité et la fréquence des précipitations ainsi que la température et l'ensoleillement ont un impact significatif sur les processus de dégradation et des services écosystémiques (Dominati *et al.,* 2010).

En outre, les conditions topographiques dont la pente à travers sa longueur et la forme de la pente, ainsi que la présence d'éléments rocheux à la surface du sol sont des facteurs qui peuvent contrôler les taux d'érosion (Kiage, 2013 ; Kairis *et al.,* 2013).

Enfin, la présence ou l'absence de couvert végétal est un facteur qui peut influencer le phénomène de dégradation des sols. Ainsi un principe simple est que plus un sol est couvert, plus ce couvert est dense et permanent et plus ce sol sera protégé du pouvoir érosif des gouttes de pluie et des flux de ruissellement hydrique. La biodiversité de même que le type et la densité élevée des racines contribuent ainsi à limiter ces effets.

1.3.1.2 Facteurs anthropiques

Bien que des facteurs naturels entrainent la dégradation des terres, dans la plupart des cas, l'action de l'homme à travers les pratiques agricoles et l'utilisation des terres sont des facteurs majeurs de dégradation. La déforestation liée au déboisement incontrôlé pour les besoins énergétiques des hommes ainsi que l'expansion agricole dans certaines zones sont des activités qui mettent le sol à nu et provoquent une forte dégradation de ce dernier (Ozer et Ozer, 2005). De tous les facteurs anthropiques, le surpâturage est désigné comme une cause principale de dégradation (Kiage, 2013). De plus, le labour inapproprié et mal maitrisé ainsi que l'emploi des fertilisants minéraux, accélèrent les processus naturels d'érosion. Mais la plupart du temps les facteurs anthropiques sont eux aussi influencés par d'autres facteurs tels que la pauvreté, l'absence de garantie de l'accès à la terre à long terme, l'accès au marché et bien sur l'orientation politique.

1.3.2 Conséquences de la dégradation des sols

La dégradation des sols est un problème mondial qui nous affecte tous à travers l'augmentation des prix des denrées alimentaires, des conflits potentiels et de migration forcée ainsi que par une fourniture plus faible de services écosystémiques mondiaux, comme par exemple la séquestration du carbone (Lal, 2004). Elle engendre des modifications significatives au niveau des fonctions du sol et influence donc sa capacité à fournir les services écosystémiques. Ainsi, une dégradation des capacités du sol à recycler la matière organique perturberait sa capacité à fournir les nutriments aux plantes. Il en résulte une baisse considérable de la productivité des terres (Peprah *et al.,* 2014; Turbé *et al.,* 2010) menaçant ainsi la sécurité alimentaire de 9 milliards de personnes (UICN, 2012). La compaction et/ou la perte par exemple de la macroporosité du sol va créer une résistance à la pénétration et la croissance racinaire des cultures et par conséquent une réduction probable de la production

(De Paul and Bailly, 2005). Les conséquences sont bien sûr contextuelles et certaines régions surtout les plus pauvres sont affectées plus durement que les autres (Von Braun *et al.,* 2013). De même, les populations les plus pauvres en général et qui n'ont que le sol pour subvenir à leurs besoins sont durement éprouvées.

Aussi, le sol grâce à sa capacité de stockage de l'eau, sa contribution à l'évapotranspiration et au couvert végétal qu'il porte, régule les cycles hydriques et contribuent à la purification des eaux (UNCCD, 2009). Il est donc évident que sa dégradation peut diminuer l'accessibilité et la distribution de l'eau, de même que sa qualité pour la consommation humaine et pour les cultures (Peprah *et al.,* 2014; Turbé *et al.,* 2010).
En effet, les phénomènes comme la compaction provoqueraient une baisse de l'infiltration de l'eau qui aurait à son tour une influence sur la recharge des nappes souterraines.

De plus, le sol et plus globalement les écosystèmes terrestres jouent un rôle central comme puits de carbone en captant et en stockant celui-ci. La dégradation des sols réduit par conséquent l'aptitude du sol à servir de puits de carbone et ces modifications des flux de carbone peuvent entraîner une dérégulation du climat (Turbé *et al.,* 2010). Tout cela à pour conséquence une amplification des changements climatiques et ses effets corollaire sur les écosystèmes, les productions agricoles et la vie des êtres humains en général.

Aussi, la dégradation des sols est la cause principale de la perte de diversité biologique des sols. Elle s'accompagne en effet souvent d'une perte de la capacité des sols à être l'habitat d'une diversité d'espèces, aussi bien dans les terres cultivées que dans les zones forestières.

En somme, ce phénomène à des conséquences sur l'ensemble des fonctions du sol. Elle favorise ainsi la destruction des écosystèmes et les risques d'insécurité alimentaire dans les zones durement touchées. Au-delà de ces aspects environnementaux et de sécurité alimentaire, la dégradation des terres occasionne également le phénomène de migration des populations (von Braun *et al.,* 2013) à la recherche de nouvelles terres fertiles et de nouvelles bonnes conditions de vie. Enfin, les pertes de production qu'elle occasionne ont des répercussions sur les coûts des produits agricoles (Von Braun *et al.,* 2013) des pays et zones dont l'économie est principalement tirée de la terre.

CHAPITRE II: L'AGROECOLOGIE

Il est bien établi qu'en plus des faiblesses naturelles des sols, certaines pratiques agricoles participent à la dégradation de cette ressource. Les défis qui se posent donc au monde agricole est de concilier augmentation de la productivité et des productions agricoles et protection de l'environnement dans un contexte de changements globaux (croissance démographique, changement climatique). Pour cela, plusieurs alternatives ont été proposées mais les spécificités des zones et des agricultures font que toutes ne peuvent pas répondre aux situations agricoles qui se présentent. L'agroécologie qui vise à concevoir des systèmes de production agricole s'appuyant sur les fonctionnalités offertes par les écosystèmes est l'une des voies possibles (Schaller, 2013), particulièrement dans les pays émergents ou en développement (Altieri, 2002). Une approche agro-écologique apporte des avantages sociaux, économiques et environnementaux (OXFAM, 2014). Pour De Schutter (2010) l'agroécologie peut être la solution durable pour nourrir la planète. Elle permettrait ainsi de doubler la production alimentaire de régions entières en 10 ans tout en réduisant la pauvreté rurale et en apportant des solutions au changement climatique.

2.1 Historique de l'agroécologie

Le concept d'agroécologie a évolué dans le temps (Figure 3) dans sa mise en œuvre et dans ses applications et est aujourd'hui considéré comme une discipline, un ensemble de pratiques agricoles et un mouvement social. Selon Wezel *et al.*(2009) ce terme a été utilisé pour la première fois en 1930 par un agronome russe du nom de Bensin, pour désigner l'utilisation de méthodes écologiques au service de la recherche sur les plantes commerciales. A cette époque ce concept ne prenait pas en compte l'aspect social et se limitait uniquement à la parcelle agricole. En 1965, l'écologue et zootechnicien allemand Tischler publia ce qui est sans doute le premier livre intitulé « agroécologie » (Schaller ; 2013) dans lequel il fait une analyse des différents compartiments de l'agroécosystème (sol, plante, etc.) et leurs interactions, ainsi que l'impact de la gestion humaine des activités agricoles sur ces compartiments. Mais c'est cependant véritablement autour des années 1980 que ces pratiques prennent de l'ampleur avec plusieurs études et des approches de par le monde (Schaller, 2013). La notion d'agro-écosystème est ainsi devenue un élément fondamental de cette approche. L'agro-écosystème est un produit de la modification de l'écosystème par l'homme et constitue un espace d'interaction entre l'homme, ses savoirs et ses pratiques et la diversité des ressources naturelles (UNESCO, 2009).

La gestion durable de ces agroécosystèmes avec un souci de protection de l'environnement était donc déjà prise en compte à cette époque (Wezel et Soldat, 2009).

A partir des années 2000, l'agroécologie a dépassé la perspective unidimensionnelle des agroécosystèmes pour embrasser une compréhension des niveaux écologiques et sociaux et de leur interaction, leur structure et leur fonction. Au lieu de se concentrer sur un composant particulier de l'agroécosystème, l'agroécologie souligne l'interdépendance de tous les composants d'un agroécosystème et de la dynamique complexe des processus écologiques. L'agroécologie étudie d'une façon holistique les agroécosystèmes, y compris tous leurs éléments environnementaux et humains. Elle intègre à cet effet un ensemble d'acteur et de connaissances en interaction avec l'économie, les politiques et le social.

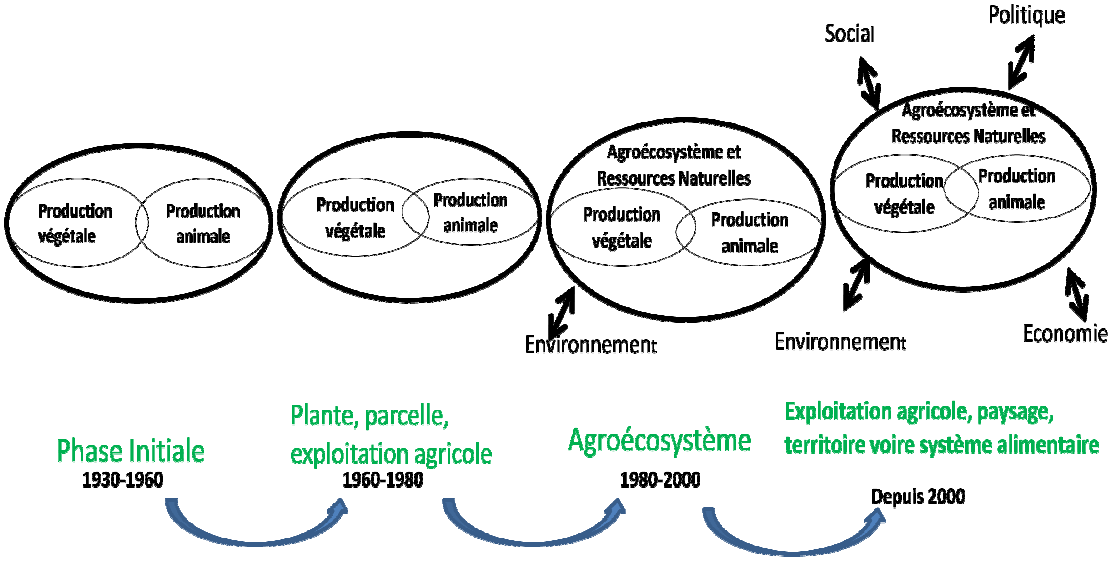


Figure 3 : Evolution des approches scientifiques de l'agroécologie depuis ses débuts à l'échelle spatiale (Schaller, 2013 ; Wezel and Soldat, 2009)

2.2 Définition et principes de base de l'agroécologie

Bien que l'agroécologie ait évolué vers le concept de système alimentaire, les autres concepts sont tout de même toujours utilisés en fonction des contextes (Wezel *et al,* 2009).Les définitions qui y sont associées sont également très variées (Schaller, 2013) du fait du contexte d'évolution et de l'usage du concept dans son environnement. Par exemple aux États-Unis, l'agroécologie a d'abord été explorée par des scientifiques intéressés par les pollutions d'origine agricole puis s'est élargie pour donner naissance à des mouvements agroécologiques visant à promouvoir le développement rural et la préservation de l'environnement.

Au Brésil inversement, l'agroécologie est d'abord née en tant que mouvement social et ces actions ont stimulé les recherches sur des pratiques alternatives donnant ensuite naissance à une discipline scientifique. En France par contre, l'agroécologie a d'abord été perçue comme un modèle alternatif en agriculture: on l'entend donc plutôt comme un ensemble de pratiques. L'étude des pratiques agroécologiques a fait évoluer la discipline « agronomie » en France, avec une approche systémique et une vision holistique de l'agroécosystème. L'agroécologie en tant que discipline scientifique se développe peu à peu, avec une approche assez restreinte au paysage. Pour embrasser au moins les objectifs de notre étude, la définition suivante sera utilisée à savoir que l'agroécologie est une «Agriculture ou ensemble de pratiques agricoles, responsables et durables qui minimise les intrants, valorise les ressources naturelles et s'appuie sur les connaissances locales et scientifiques» (Allaverdian *et al.,* 2014 ;Wesel *et al.,*2009).

L'agroécologie peut donc être perçue comme un ensemble de pratiques et de techniques inspirées des lois de la nature. Elle considère que la pratique agricole ne doit pas se cantonner à une technique, mais au contraire envisager l'ensemble du milieu dans lequel elle s'inscrit. Elle intègre la dimension de la gestion de l'eau, du reboisement, de la lutte contre l'érosion, de la biodiversité, du réchauffement climatique, du système économique et social et de la relation de l'humain avec son environnement. Pour y arriver, l'agroécologie se base sur les principes fondamentaux suivants (Altieri et Nicholls, 2005):

1. améliorer le recyclage de la biomasse et optimiser la disponibilité et l'équilibre des nutriments;
2. assurer les conditions optimales pour la croissance des plantes par la bonne gestion de la matière organique et de l'activité biotique dans le sol;
3. minimiser les pertes de flux d'énergie lumineuse, d'air et d'eau par la gestion du microclimat, la récolte d'eau et la gestion du sol par l'augmentation de sa couverture;
4. favoriser la diversité génétique et des espèces dans l'espace et dans le temps;
5. augmenter les interactions et les synergies biologiques entre les composantes de l'agrobiodiversité pour augmenter les processus et services écologiques clés.

Cependant, la tendance est de résumer ces principes en deux axes fondateurs à savoir:((i) accroître la biodiversité dans les agroécosystèmes et (ii) renforcer les régulations biologiques (Doré *et al.,* 2011; Malézieux *et al.,* 2012).

L'agroécologie est donc perçue comme une façon de concevoir des systèmes de production qui s'appuient sur les fonctionnalités offertes par les écosystèmes avec comme objet de diminuer la pression sur l'environnement (ex : réduire les émissions de gaz à effet de serre, limiter au maximum le recours aux engrais de synthèse et aux produits phytosanitaires...) et de préserver les ressources naturelles (eau, énergie, éléments minéraux...). Il s'agit en somme d'utiliser au maximum la nature comme facteur de production en maintenant ses capacités de renouvellement.

A l'échelle de la parcelle, l'agroécologie implique le recours à un ensemble de techniques en synergie et ne peut pas être assimilée à une technique particulière et unique. Elle considère en effet l'exploitation dans son ensemble et dans son contexte naturel.

2.3 Pratiques agroécologiques

Basée sur l'utilisation mesurée des ressources locales, l'agroécologie vise à intégrer dans sa pratique l'ensemble des paramètres de gestion écologique de l'espace cultivé permettant de concilier productivité, gestion durable des ressources naturelles, sécurité alimentaire et développement humain tout en préservant la santé des populations (Fondation GoodPlanet, 2013). L'application de ces pratiques a des impacts différents sur le sol et sa fertilité et chacune répond à un ou plusieurs problèmes. De plus, ces pratiques offrent aux agriculteurs un meilleur contrôle et leur permettent de répondre à leurs propres besoins et d'augmenter leurs revenus tout en atténuant leur exposition aux chocs climatiques et en améliorant la résilience des agroécosystèmes (OXFAM, 2014).

2.3.1 Fertilisation

Les sols en Afrique de l'Ouest et donc ceux du Burkina Faso sont réputés être pauvres en éléments nutritifs avec une mauvaise stabilité structurale des horizons superficiels, une richesse en limons et sables fins, une faible teneur en argile et en matière organique (inférieurs à 3% sous végétation, et 0,7% sous cultures), et une faible réserve minérale (Pieri, 1989; Saidani, 1995). Pour Lompo e*t al.*(2009), la pauvreté des sols en matières organiques et en P est une contrainte à l'intensification de la production agricole au Burkina Faso. La réponse à cet état de fait a souvent été et reste en majorité à ce jour l'apport d'engrais chimiques pour accroitre les productions agricoles. Or par principe, l'agroécologie prône la réduction voire la suppression de l'usage des intrants chimiques de synthèse et minéraux.

La fertilisation est un élément central en agroécologie et le Centre d'Actions et de Réalisations Internationales (CARI, 2008) résume bien la question en disant qu'il faut « nourrir le sol pour nourrir les plantes». Pour y arriver, la fabrication du compost grâce aux résidus de récolte et autres matières végétales combinés avec les extrants d'élevages est fortement recommandée en agroécologie. La matière organique (MO) est une source d'énergie pour les microorganismes du sol (Culot, 2005) et un «garde-manger pour les végétaux» (Laboubée, 2007). Elle joue un rôle prépondérant dans la fertilité des sols (Hien *et al.,* 2003) d'autant plus que sa minéralisation génère les éléments minéraux tels que N, P,K, S et des oligoéléments pour les plantes. Elle joue aussi un rôle fondamental dans (i) la structure du sol et sa stabilité (liant des particules minérales dans le complexe argilo-humique) ;(ii) la rétention de l'eau et sa disponibilité pour les plantes ;(iii) le stockage et la mise à disposition des éléments nutritifs (forte contribution à la CEC, produits de la minéralisation, etc.) ;(iv) la régulation du pH du sol (effet tampon) ; (v) la stimulation de l'activité biologique (substrat énergétique et supports) ; (vi) la rétention des micropolluants (améliorant leur dégradation ou rétention) (Seguy *et al.,* 2009). Cependant plutôt que l'apport direct de la MO, l'agroécologie préconise la fabrication et l'utilisation du compost. Ce dernier qui est la clé de la fertilisation en agroécologie, s'il est réalisé dans de bonnes conditions permet d'enrichir le sol sur le long terme (en améliorant sa structure, sa capacité de rétention en eau), d'éliminer les organismes pathogènes, les graines d'adventices, d'éviter la faim d'azote (Weill *et al.,* 2009) et de réduire le rapport C/N des produits (Lompo *et al.,*2009). De même, lorsqu'il est apporté aux sols cultivés, il permet une amélioration des rendements par rapport aux pratiques traditionnelles de fertilisations (Segda *et al.,* 2001). Un rendement additionnel de riz de plus de $3t.ha^{-1}$ est atteint avec l'adjonction de la fumure organique (Segda *et al.,* 2013). Malheureusement, il semble que bien souvent le compost n'est pas bien réalisé et des pertes de l'ordre de 50% de C, de 30 à 70% pour N et 50% pour K pour le potassium sont enregistrées. Les pertes en azote augmentent avec la durée du compostage et du nombre de retournement (Weill *et al.,* 2009).

2.3.2 Travail du sol

L'agriculture conventionnelle basée sur le travail du sol réduit ce dernier à sa plus simple expression, celui de support physique pour les plantes et de réservoir d'éléments nutritifs (Seguy *et al.,* 2009). L'agroécologie préconise en revanche le travail minimum du sol avec un labour en surface voire le zéro labour (semis direct) en laissant le soin à la mésofaune et aux racines des végétaux d'effectuer celui en profondeur (CARI, 2008).

Comparées aux modes conventionnels actuels, ces méthodes agroécologiques améliorent la capacité de rétention en eau du sol, les teneur en MO ainsi que les rendements agricoles (Abdellaoui *et al.;* 2011). Traoré *et al.,*(2012) ont tout de même montré que le travail superficiel du sol favorisait le développement de populations de nématodes parasites sur le sorgho. D'autres variantes comme le semis sous couverture végétale permanente (SCV) ont été expérimentées et ont donné des résultats satisfaisants (Seguy *et al.,* 2009). Il protège le sol de l'érosion, et améliore sa structure physique et sa fertilité biologique (SOS FAIM, 2011).

2.3.3 Lutte contre l'érosion et récupération des terres dégradées

Cette lutte passe par l'amélioration de la couverture végétale des sols et l'accroissement de la stabilité des horizons de surface des sols instables (texture, structure, fertilité chimique). Diverses techniques sont utilisées.

2.3.3.1 Cordons pierreux

Ce sont des obstacles filtrants en pierres qui ralentissent la vitesse de ruissellement de l'eau. On distingue selon l'origine et le mode d'implantation le système de pierres alignées, le système trois pierres (système FEER) ou et le système PDS (Pierres Dressées Associées au Sous Solage). L'implantation de cet ouvrage permet la sédimentation des particules (sables, mais aussi terre fine, matière organique) en amont de la diguette et une augmentation de l'infiltration des eaux de ruissèlement (Lamachère et Serpantié, 1998). Il ressort des nombreuses études (Yaméogo *et al.,* 2013; Zougmoré *et al.,* 2004; Zougmoré *et al.,*2000) que ces ouvrages luttent significativement contre l'érosion des sols et grâce à leur présence le début du ruissellement est retardé et sa vitesse réduite. Le ruissellement sur un champ aménagé est réduit de 53 % (Zougmoré *et al.,* 2004) et les pertes en terre diminuent de 21 à 61% en fonction des écartements (entre 4 et 96 mètres) entre cordons pierreux(Zougmoré *et al.,* 2000). Il s'en suit une meilleure infiltration des eaux ainsi que le dépôt des particules qu'elles contiennent. L'efficacité des cordons pierreux dépend donc de leur espacement et plus l'espace entre les lignes de pierres est réduit plus les cordons pierreux sont efficaces (Zougmoré, 2003). L'association d'une bonne fertilisation notamment organique augmente d'avantage leurs efficacités en améliorant les propriétés physiques et chimiques du sol (Zougmoré *et al.,* 2004) et augmentent les rendements de l'ordre de 3 à 6 fois en zone sahélienne (Yaméogo *et al.,* 2013, Zougmoré *et al.,* 2000).

2.3.3.2 Bandes enherbées, diguettes filtrantes

Ce sont des techniques également utilisées pour protéger les sols de l'érosion. Cependant elles peuvent être moins durables que les cordons pierreux (Hien uj*et al.,* 2004). Zougmoré et al.,(2004) ont obtenu une réduction de l'érosion de 45 % grâce aux bandes enherbées.

2.3.3.3 Paillage

Cette technique consiste à recouvrir le sol d'une couche de 2 cm d'herbes équivalent à 3 à 6 t ha^{-1}, ou de branchages ou encore de résidus culturaux (tiges de mil ou de sorgho). Elle permet de stimuler l'activité des termites (Hien *et al.,* 2004) qui vont casser la croûte superficielle du sol en creusant des galeries sous les paillis. Il s'est avéré que cette technique donne des rendements en sorgho inferieurs par rapport aux autres techniques (Zai et autres) mais nettement supérieurs aux parcelles témoins (sans paillage, ni aménagements CES/DRS) dans les mêmes conditions (Da, 2008). Toutes ces techniques améliorent ainsi l'infiltration et la rétention de l'eau (CARI, 2008).

2.3.3.4 Zaï

Cette technique très vulgarisée au Burkina Faso et plus généralement en Afrique de l'Ouest appelée « **zaï** » est très souvent citée comme une alternative pour la récupération des terres dégradées (Roose *et al.,* 1995). De plus en plus citée comme pratique agroécologique quand elle est améliorée par l'apport de compost (Morin *et al.,* 2012). Cette technique traditionnelle originaire du Yatenga permet ainsi de récupérer des terres impropres à toutes formes de production végétale. Elle consiste en un creusage de trou d'environ 20-40 cm de diamètre et de 15 cm de profondeur. La terre ainsi retirée des trous est déposée en aval du trou pour stopper les eaux de ruissèlement et permettre une meilleure infiltration des eaux. Cette technique permet ainsi l'amélioration des caractéristiques physiques et chimiques (Yaméogo *et al.,* 2013) du sol et l'augmentation substantielle de leur productivité agricole (Roose e*t al.,* 1995). Et la MO associée permet un regain de l'activité biologique du sol (Roose *et al.,* 1995).

La combinaison de l'apport de la matière organique est déterminante pour l'augmentation de la production due à la technique du zaï. Cette augmentation dépendrait même de la nature et de la quantité de la MO apportée même si Roose *et al.,* (1995) ont montré que la seule technique des poquets (sans aucun apport minéral ou organique) permettait, dès la première année, de doubler les rendements en grains du sorgho par rapport à un simple grattage manuel du sol à la daba. Mais la pénibilité de sa mise en œuvre est souvent évoquée comme limite à sa vulgarisation et sa promotion à grande échelle. L'ensemble de ces techniques en plus de

protéger et restaurer des terres permettent de doubler voire tripler les rendements dans les mêmes contextes écologiques (SOS FAIM, 2011). Mais il est apparu que ces techniques sans addition de nutriments n'induit pas forcement les résultats escomptés particulièrement en année de bonne pluviométrie (Zougmoré *et al.,* 2004). Il s'avère donc une fois de plus que l'apport de MO (compost en particulier) est incontournable pour la gestion de la fertilité des sols.

2.4 Déterminants de l'adoption des pratiques nouvelles

Le choix d'un producteur (ou de tout autre acteur) d'accepter une innovation ou un changement dépend de plusieurs facteurs. Pour certaines technologies notamment les variétés améliorées la disponibilité de la semence et de l'information (Adeoti *et al.,* 2002) peuvent être un facteur déterminant dans leur adoption. Mais de façon générale la perception que l'agriculteur a des caractéristiques de l'innovation par rapport à la technologie traditionnelle, l'attitude de l'agriculteur face au risque, les facteurs sociaux (âge du producteur, niveau d'alphabétisation, expérience dans l'activité), les facteurs institutionnels (formation et encadrement agricoles, accès au crédit, appartenance à un groupement coopératif), et les prix et revenus agricoles (Mbétid-Bessane, 2014 ; Ouédraogo, 2003) sont des facteurs clés.

Pour ce qui est du zaï au nord du Burkina par exemple Koutou *et al.* (2007) ont montré que les variables telles que la perception des paysans et la possession ou non de matériel agricole et d'animaux peuvent affecter positivement l'adoption de cette technologie. Divers modèles sont utilisés et les prédictions sont certes variables mais tous s'accordent sur la perception du producteur comme facteur déterminant dans sa prédisposition à l'acceptation ou non de l'innovation.

De même le niveau d'instruction, le contact avec les agents d'encadrement et les facteurs socioéconomiques sont déterminants dans l'adoption des technologies de conservation des eaux et des sols (Kebede, 2014).

2.5 Indicateurs de fertilité des sols

Au cours des travaux de préparation du sol, d'installation puis d'entretien des cultures, les paysans parcourent leurs parcelles, observent les composantes de l'agro-écosystème et analysent l'état de la ressource en sol à travers un ensemble d'indicateurs (Blanchard, 2010). Ces indicateurs, souvent propres à eux sont des critères de classification des sols basés sur la couleur, la texture, la topographie, les éléments grossiers, la rétention en eau, l'engorgement et la végétation (Kissou, 2014). De multiples définitions de ce outil sont légion à travers la

littérature mais nous retiendront essentiellement deux dans notre travail pour illustrer l'importance de ce outil d'évaluation: (i) un indicateur est une variable qui fournit des informations sur d'autres variables qui sont moins facilement accessibles (Briquel *et al.,* 2001) ; (ii) un indicateur est une grandeur qui fournit une information au sujet d'une variable plus difficile d'accès ou d'un système plus complexe (Le Roux *et al.,* 2008), afin d'aider un utilisateur dans son action (prise de décision, construction d'un programme d'action, modélisation, etc.) (Bockstaller *et al.,* 2008b).

Au-delà de ces théories ils servent de guide pour prendre une décision (Zahm *et al.,* 2008) et doivent être scientifiquement valables, pertinents à la question à l'étude, sensibles, facilement accessibles et compréhensibles(Girardin *et al.,* 1999).

2.6 Synthèse et objectif de travail

Synthèse bibliographique

Les pratiques agroécologiques constituent un moyen efficace de lutte contre la dégradation des sols agricoles et aussi de récupération de ceux déjà dégradés. Elles permettent aussi une optimisation des rendements des cultures comparativement aux pratiques traditionnelles ou conventionnelles. Dans cette dynamique, il est important de faire l'état des pratiques et leur effet en fonction des réalités agronomiques et agroécologiques des producteurs pour atteindre les effets escomptés. De cette synthèse il apparait les constats suivants : (i) la dégradation des sols agricoles au Burkina Faso est un fait réel et il entrave les efforts des producteurs. Cependant, il est maintenant bien établi qu'il existe des pratiques qui ont porté des résultats probants dans certaines zones. Mais pour ce qui est de la zone Est du Burkina très peu ou pas d'études sur la question ont été abordées. (ii) les effets des pratiques ont été étudiés pour la plupart individuellement et dans des conditions d'essai agronomique. En revanche, des connaissances en milieu paysan ne sont pas très rependues. De plus des combinaisons de ces pratiques sont également très peu étudiées. Nous nous proposons donc de combler ce vide à travers des analyses approfondies sur la thématique de ces pratiques dans la zone d'étude.

Questions de recherche et hypothèses

De cette problématique générale, naissent trois questions de recherche:

- Les pratiques agroécologiques promues à l'Est du Burkina sont-elles adoptées et adaptées aux besoins des producteurs?

- Quels sont les effets de ces pratiques sur les caractéristiques physiques, chimiques et microbiologiques des sols agricoles?
- Ces pratiques ont-elles des impacts sur les rendements des cultures pratiquées dans la zone?

Ce travail de thèse s'appuie sur trois hypothèses.

- Plusieurs facteurs interviennent dans le choix d'adoption de nouvelles techniques (agroécologie notamment) par les producteurs dans les exploitations agricoles
- L'adoption des pratiques agroécologiques permet d'améliorer les caractéristiques physiques, chimiques et biologiques des lixisols de l'Est du Burkina Faso et enfin
- Les rendements des cultures céréalières sont nettement augmentés grâce à l'adoption de ces techniques agroécologiques adaptées

L'objectif global de notre travail est de déterminer les pratiques agroécologiques adoptées par les producteurs et les déterminants de leur adoption et d'évaluer leurs effets sur les sols et les rendements des cultures. De façon spécifiques il s'est agi de :

- Faire l'état des lieux des pratiques traditionnelles et agroécologiques
- Etablir les déterminants de l'adoption de ces pratiques
- Identifier les indicateurs paysans de fertilité des sols
- Evaluer l'impact des pratiques adoptées sur les caractéristiques physiques, chimiques et biologiques des sols
- Evaluer l'effet des pratiques sur les rendements du sorgho et
- Proposer des alternatives d'optimisation des pratiques.

DEUXIEME PARTIE: MATERIELS ET METHODES

CHAPITRE III : PRESENTATION DU CADRE DE L'ETUDE: CONTEXTE GENERAL DE L'EST DU BURKINA FASO

Notre travail a eu pour cadre d'étude le village de Sampieri dans la région Est du Burkina. Ce village a la réputation d'être un pionnier dans la pratique de l'agroécologie dans cette partie du pays et de disposer d'un cadre dédié à cet effet.

3.1 PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

3.1.1 Situation administrative

Située à l'extrême Est du Burkina Faso, la région de l'Est couvre une superficie de 46 256 Km^2 soit 17% du territoire national. Elle est limitée au Nord-Est par le Niger, au Nord par la région du Sahel, à l'Ouest par la région du Centre-Est et du Centre Nord, au Sud par le Bénin et le Togo. Elle compte 5 provinces (Komandjari, Kompienga, Gnagna, Gourma et Tapoa), 27 départements et 806 villages. Le recensement général de la population de 2006 (Tableau 1) donne à cette région une population de 1 212 284 soit 8,6% de la population totale du pays. Sur la base d'un taux d'accroissement de 3.1% l'an cette population s'établit à 1 645 095 habitants en 2016. Elle a en outre la densité de population la plus faible du pays estimée à 26,0 habitants au km².

Tableau 1 : Répartition de la population de la région de l'Est

Province	Chef lieu	Départements	Villages	Population (2016)
Komandjari	Fada N'Gourma	6	227	107 893
Kompienga	Bogandé	7	258	102 953
Gnagna	Gayéri	3	49	554 573
Gourman	Pama	3	40	415 162
Tapoa	Diapaga	8	232	464515
Total		**27**	**806**	**1645095**

Source: INSD 2008, DRED-Est, 2003

Il existe une grande disparité entre les densités des populations des zones approchant 50 habitants/Km^2 (Gnagna et une partie du Gourma) et celle ne possédant que 7 habitants/Km^2 (Kompienga). Les Gourmantchés sont les populations autochtones et majoritaires. On y retrouve également des Peuhls installés de longue date et des Mossis fruits de l'immigration toujours en cours.

Source : DRED-Est, 2003

Figure 4 : Carte administrative de la région de l'Est du Burkina Faso

3.1.2 Milieu physique

3.1.2.1 Climat

Située entre les parallèles 11° et 13° 30' Nord, la région Est se caractérise comme une aire de transition entre la zone Soudanienne au sud et la zone Sahélienne au Nord. Elle compte deux saisons : une saison des pluies, courte de trois à cinq mois (juin à octobre et une saison sèche, longue de sept à neuf mois. A l'instar des autres régions du pays, les précipitations se caractérisent par une grande variabilité spatio-temporelle en nombre de jours de pluies et en quantité d'eau tombée. La région reçoit des précipitations croissantes du Nord (600 mm) vers le Sud-ouest (1000 mm). En effet environ 4,60% de l'espace régional reçoit une pluviométrie d'environ 600 mm dans l'extrême Nord tandis que 2.95 % de l'espace régional reçoit une pluviométrie excédent souvent 1000 mm dans l'extrême Sud-Ouest. Cependant les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 800 mm.

Les isohyètes annuels (Figure 5) sont globalement orientés d'Ouest en Est mais présentent une inclinaison plus ou moins irrégulière axée Nord-Ouest/Sud-Est.

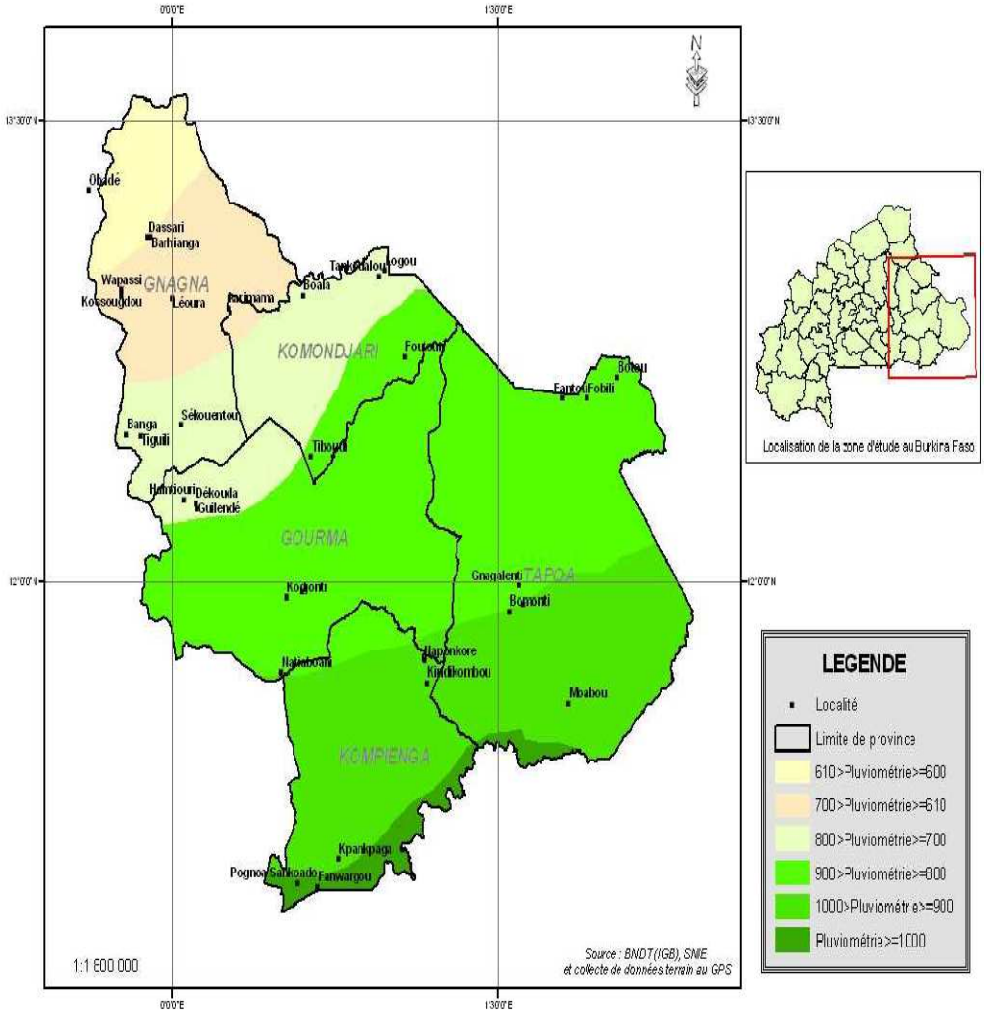


Figure 5 : Pluviométrie moyenne annuelle (mm) de la région de l'Est (Source PICOFA ,2006)

3.1.2.2 Végétation

Trois types de végétation apparaissent dans la région de l'Est du Burkina Faso. Il s'agit de:

- La steppe essentiellement au Nord de la province de la Gnagna. Elle est caractérisée par des arbustes de petite taille, clairsemés et pour la plupart épineux, et par une strate herbacée largement dominée par des graminées à cycle très bref.
- La savane qui est la végétation dominante de la région. Elle couvre 90% du territoire régional et est presque boisée, avec une absence presque totale de la strate herbacée. Cependant, leur accès est en partie limité par la présence d'aires protégées et la progression rapide du front cotonnier (PICOFA, 2006).

- Les forêts limitées seulement à des galeries (Pendjari) avec une absence presque totale de la strate herbacée.

En lien avec l'importante ressource forestière et des aires protégées la région abrite de nombreuses réserves de faune et de parcs nationaux:

- Réserve partielle de faune de Pama : 223 000 ha
- Réserve partielle de faune de Arly : 113 000 ha
- Réserve totale de faune de Singou : 151 000 ha

L'espace protégé représente environ 11,3% des réserves fauniques du pays avec une faune abondante et variée : buffles, hippotragues, bubales, cobs, céphalophes. Les réserves occupent 25 % de la superficie de la province de la Tapoa.

3.1.2.3 Hydrographie

La région de l'Est est presque séparée en 2 parts égales entre le bassin versant des affluents du Niger au Nord et le bassin versant des affluents de l'Oti au Sud. La ligne de partage suit l'axe Koupela-Fada-Ougarou puis orientée Nord-Est_Sud-Est en suivant la ligne de crête dite de «la côte». On dénombre une multitude de rivières non pérennes. Dès l'arrêt des écoulements (octobre-février) les rivières continuent de couler à très faibles débits pour alimenter les marres pendant un à deux mois avant que ces marres ne s'assèchent à leur tour. On dénombre également plusieurs barrages exploités par les producteurs pour la production de contre saison.

3.1.2.4 Sols

On distingue différents types de sols:

- Les sols ferrugineux tropicaux peu lessivés qui sont surtout rencontrés au centre et au sud de la région. Du fait du caractère ancien des matériaux qui les composent, ces sols sont pauvres en éléments nutritifs, avec des teneurs basses en Ca, K, K et P. Ces matériaux selon (Fauck, 1963; Segalen, 1967, Sattran et Wenmenga, 2002) sont: (i) sables, sables argileux, grès argileux soit du Continental Terminal, du Continental Intercalaire, ou des nappes colluvionnaires anciennes; (ii) schistes argileux plus ou moins graveleux, parfois micaschistes et séricitoschistes ; (iii) granites, en particulier les granites calco-alcalins ; (iv) migmatite à grain grossier ou grain fin; (v) gneiss en particulier ceux du Dahomey; (vi) grès siliceux; (vii) quartzites et jaspes.

Des techniques d'aménagement et de lutte contre l'érosion, une bonne intégration de l'agroforesterie, des associations et rotations de culture, avec une jachère améliorée, des apports réguliers de matière organique permettraient une mise en culture de ces sols en mil, sorgho, niébé et arachide (PICOFA, 2006).

- Les sols peu évolués d'érosion, sur matériaux gravillonnaires Ces sols ont une profondeur insuffisante inférieure à 20 cm, avec une faible capacité de rétention en eau. Bien que cultivés dans certaines zones, ces sols doivent être considérés comme impropres à la culture. En revanche, ils peuvent être plantés par exemple en gommiers. Après réhabilitation et protection, ils peuvent servir de pâturage de graminées annuelles (en évitant la surcharge d'animaux).

- Les sols bruns tropicaux sur matériaux argileux (surtout à l'Est), ont un potentiel chimique élevé. Ils constituent les meilleurs sols. Ils peuvent être cultivés en coton, sorgho, pommes de terre, manioc. Ces sols sont aussi ceux qui apportent la meilleure réponse à la fumure organique et/ou minérale.

- Les vertisols sur alluvions ou matériaux argileux (surtout présents au Sud) ont une richesse minérale élevée. Cependant, leurs caractéristiques physiques imposent des techniques de mise en valeur particulières : sous-solage à sec et labours motteux périodiques et des engins de forte puissance. Avec des techniques de culture appropriées, ces sols permettent d'obtenir de hauts rendements.

- Les sols hydromorphes à pseudogley sur matériaux à textures variées. Ils sont surtout présents dans l'extrême Sud-Est. Ils se caractérisent par un excès d'eau temporaire. Ces sols sont traditionnellement plantés en riz lorsque la quantité d'eau est suffisante. Ils peuvent être cultivés en maïs ou en sorgho, avec des techniques culturales appropriées.

3.2 Village d'étude : Sampiéri

Situé à l'extrême Est du Pays Sampiéri est l'un des 232 villages de la province de la Tapoa (chef-lieu Diapaga). Il est situé à environ 150 Km de la ville de Fada N'gourma et à 20 Km de la commune de Kantchari (frontière Burkina-Niger) (Figure 6).

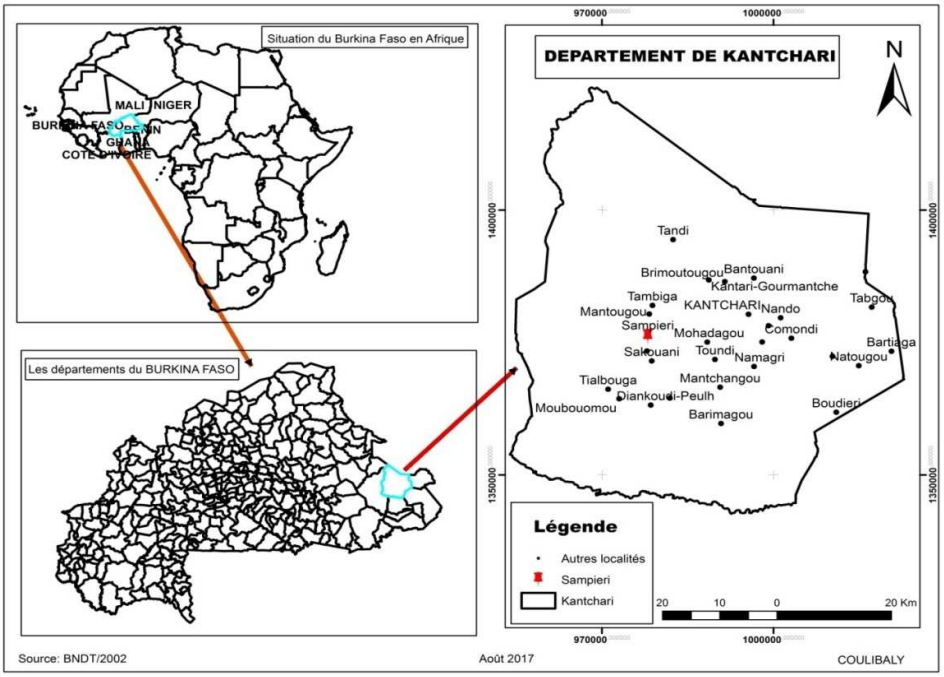


Figure 6 : Situation du village dans le département de Kantchari

Le village compte environ 1300 habitants (INSD, 2006), majoritairement des Gourmantché (agriculteurs) mais avec une forte communauté Peulh (éleveurs). La pratique de l'agriculture est de ce fait la principale activité. L'agriculture familiale avec un ensemble de petites parcelles d'environ 2 ha par producteur est fortement repandue. La production vivrière, principal mode voit se développer depuis quelques années les cultures de rentes avec l'installation du coton et du sésame. Le climat est de type nord soudanien avec des pluviométries moyennes annuelles entre 800 et 1000 mm (PICOFA, 2006).

La saison des pluies dure 4 mois (juin à septembre) pendant lesquels tombent 90 p.c. du total des précipitations, avec un maximum très marqué en août. Pendant la saison des pluies, il est observé une baisse de la température et une augmentation de l'hygrométrie. La hauteur totale des pluies ainsi que leur répartition sont très irrégulières, en particulier les dates de début et de fin des pluies. Les précipitations constituent le facteur le plus contraignant pour la production végétale de par la hauteur d'eau qui tombe et sa répartition dans le temps.

Les figures 7 illustrent les précipitations et les températures moyennes enregistrées sur une période de 30 ans (1986-2016).

La station de Fada N'Gourma se caractérise par une humidité relative forte en saison pluvieuse et faible en saison sèche 83 p.c. et 20 p.c. respectivement (moyennes des relevés des

mois d'août et de janvier 2016).La moyenne sur les trente dernières années est donnée sur la Figure 8.

Sur le plan géologique Sampieri est sur un socle résultant de l'alternance entre sillons birrimiens et des terrains granitiques (Figure 9). En outre, le village se situe dans une zone ou les sols sont principalement des plinthosols et lixisols (WRB, 2015).Ces sols sur matériaux sableux, sablo-argileux et argilo-sableux et peu évolués (Figure 10) se caractérisent par une accumulation et une redistribution du fer, de faibles teneurs en argile, en matière organique et en éléments majeurs surtout l'azote. Les caractéristiques de ces sols selon le Bunasols (2008) sont données dans le tableau 2.

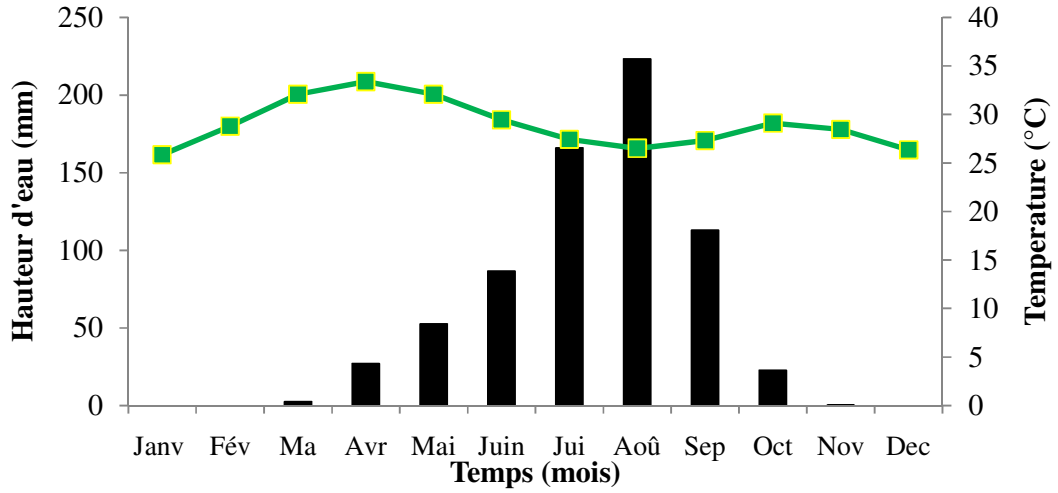


Figure 7 : Précipitations et températures moyennes de la Station de Kantchari sur une période de 30 années (1986 à 2016).

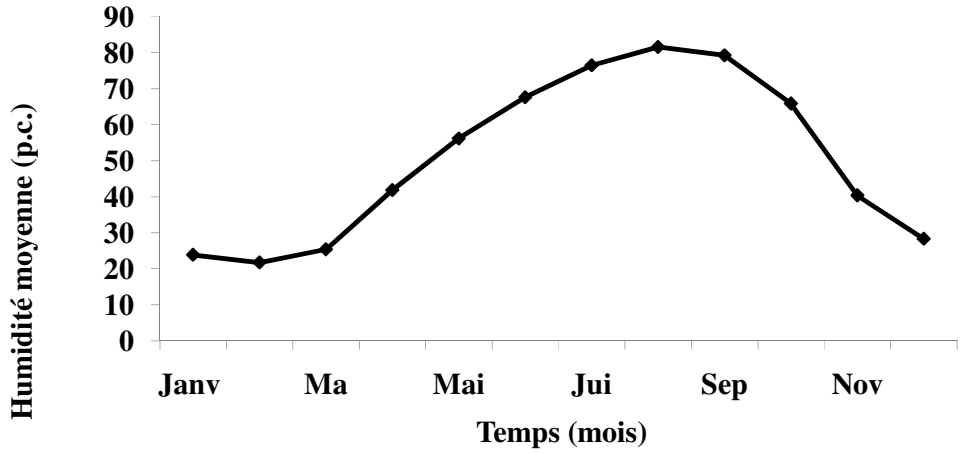


Figure 8 : Humidités moyennes de la Station de Fada N'Gourma sur une période de 30 années (1986 à 2016).

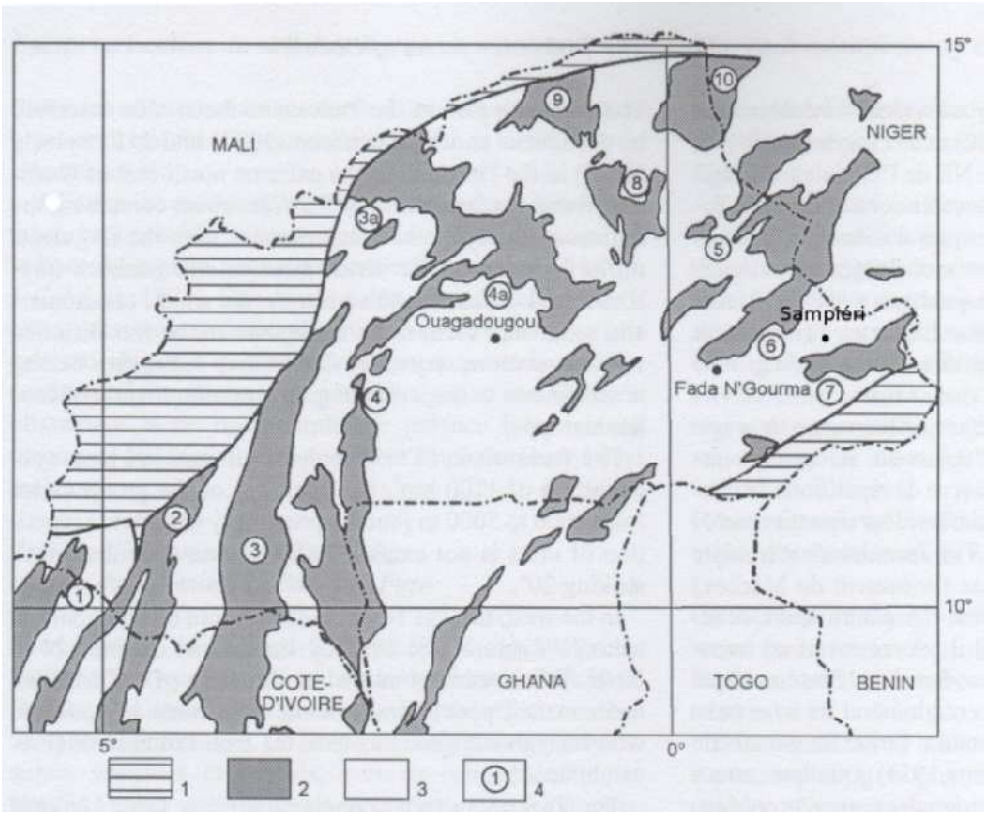


Figure 9 :Carte géologique des sillons birrimiens, avec 1 : Terrains sédimentaires ; 2 : sillons birrimiens ; 3 terrains granitiques ; 4 : numéros de sillons, d'après (Sattran and Wenmega, 2002)

Tableau 2 : Caractéristiques des sols de Sampieri (Bunasols, 2008)

Paramètres	Argiles	Sable	Limon	C	N	C/N	Pa	pH
Unité	%	%	%	$mg.g^{-1}$	$mg.g^{-1}$	-	ppm	-
Valeur moyenne	8-10	37-51	39-55	4.5	0.4	10-13	1.4	6-6.6

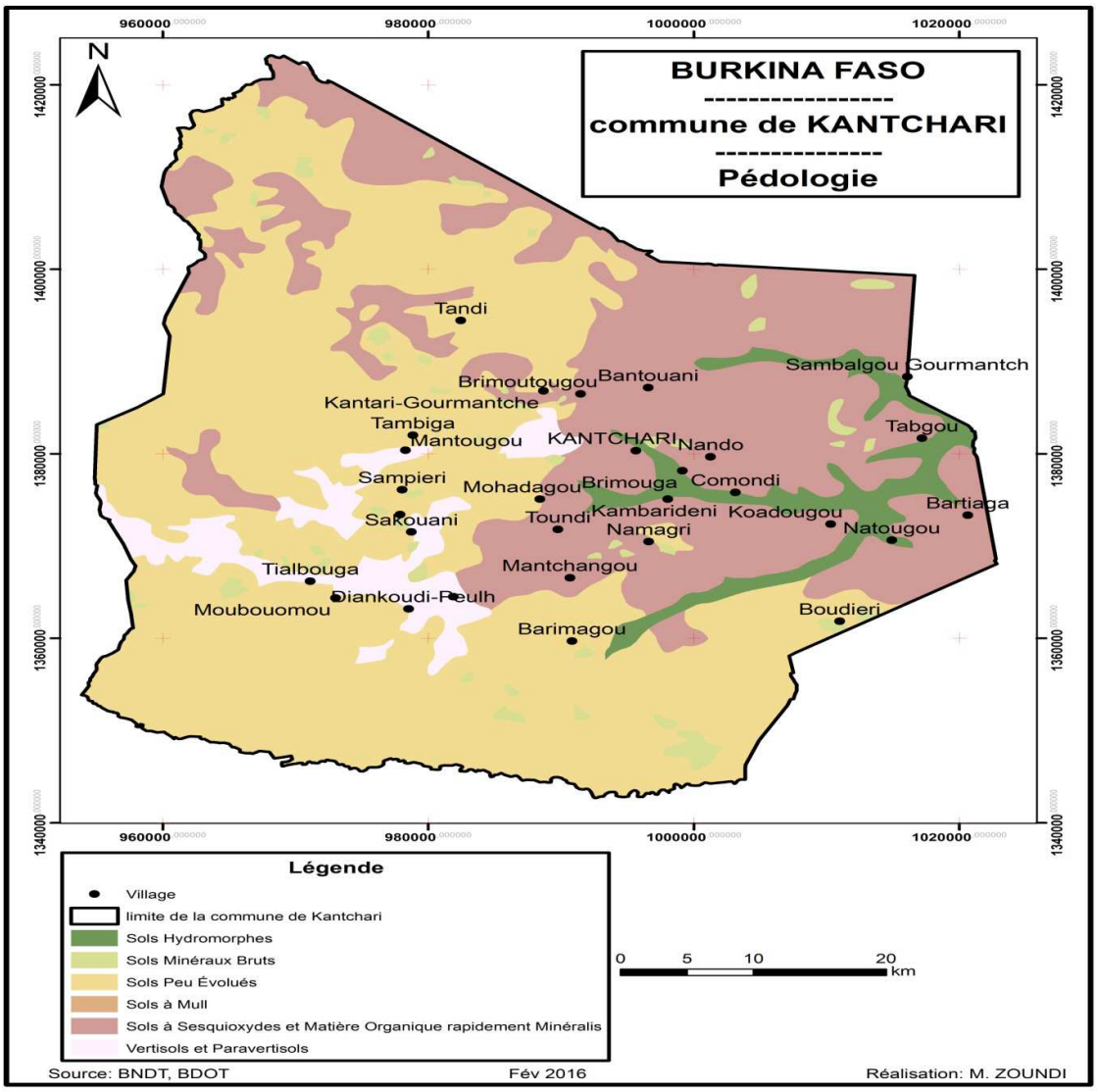


Figure 10 : Carte pédologique de la commune de Kantchari

CHAPITRE IV : METHODES UTILISEES

Les méthodes utilisées sont des méthodes classiques utilisées tant sur le terrain qu'en laboratoire pour déterminer les paramètres chimiques et biologiques des sols.

4.1 Evaluation des déterminants de l'adoption des pratiques agroécologiques

Pour évaluer les déterminantes de l'adoption une enquête agronomique a été conduite auprès des producteurs de Sampieri.

4.1.1 Choix des acteurs cibles

Le choix de Sampieri s'explique par la présence de l'Association Loos N'gourma depuis 1981 dans divers domaines de développement notamment la santé et l'éducation au départ. Depuis 2004 cette collaboration s'est orientée également vers la pratique d'une agriculture durable avec la promotion des pratiques agroécologiques. A cet effet un centre agroécologique a été construit à Sampieri et des acteurs locaux notamment « l'Association pour la vulgarisation et l'appui agro-écologique au Sahel (AVAPAS) »fondé en 1991 comme cadre de vulgarisation et le groupement Fiimba qui est un regroupement de producteurs pour la promotion des bonnes pratiques agricoles dans le village de Sampieri comme bénéficiaire sont impliqués dans cette activité.

Pour ce qui est de l'enquête proprement dite le choix s'est porté sur un échantillon de producteurs dit modèles (selon Fiimba). Ainsi, environ 15 producteurs modèles ont été rencontrés et enquêtés pour une première phase. Dans un second temps un tirage au hasard a été effectué. L'objectif était d'avoir dans l'échantillon à enquêter à Sampieri et ses environs des producteurs ayant fait la formation en agroécologie et ceux qui ne l'ont pas fait (Figure 11). Ainsi, au total une quarantaine de producteurs ont été rencontrés.

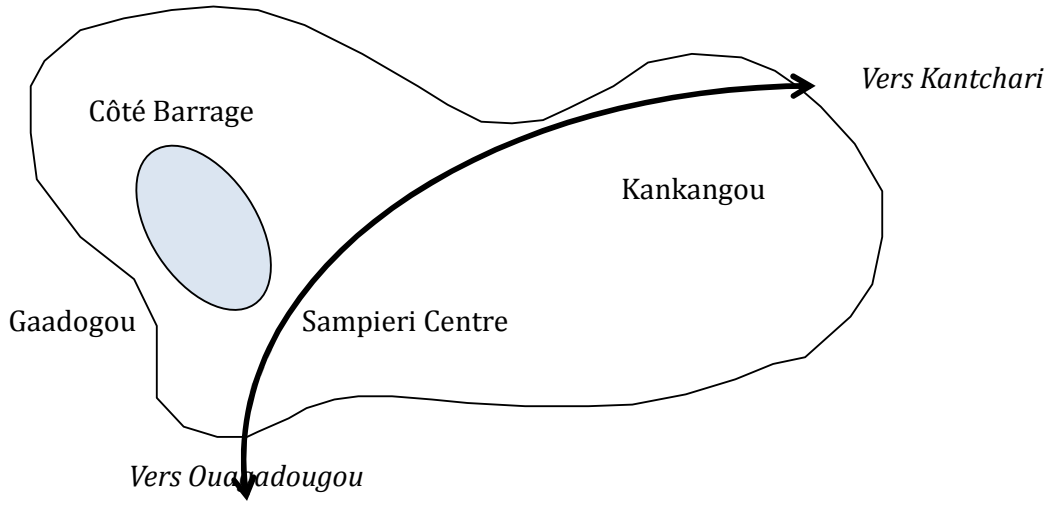


Figure 11 : Zone de conduite de l'enquête

4.1.2 Paramètres considérés

La collecte des données s'est faite par échange direct avec le chef de l'exploitation agricole suivi d'observation de parcelles chez les producteurs modèles. Ainsi, grâce à une fiche d'enquête agronomique (Annexe 1) des informations sur les caractéristiques socio-économiques du chef d'exploitation (âge, statut social. taille de l'exploitation, nombre de têtes d'animaux), les généralités sur la pratique de l'agroécologie (connaissance de la pratique, les techniques apprises et mise en œuvre, les modes de fertilisation...) et les possibilités d'amélioration des pratiques agricoles.

4.1.3 Modèle utilisé

4.1.3.1 Spécificité du modèle

Théoriquement, l'adoption des techniques agroécologiques peut être considérée comme une fonction à plusieurs variables. Elle peut être définie comme suit : Adoption=f (âge, actifs, niveau d'instruction, formation, matériel, nombre de bovins, nombre de petits ruminants, perception, superficie).

Le modèle Logit qui est généralement utilisé dans les études d'adoption des techniques de conservation des eaux et des sols (Sidibé, 2005 ; Koutou *et al.,* 2007) a servi à l'estimation des équations pour l'adoption des techniques agroécologiques dans notre étude. Les variables explicatives sont consignées dans le tableau 3.

4.1.3.2 Méthode d'estimation

L'adoption a été définie comme le producteur qui utilise l'une des pratiques agroécologiques indépendamment de la quantité de pratiques adoptés. La décision d'adopter est considérée comme variable dépendante qualitative dans une régression dont la valeur est 0 ou 1.

$$Pi = E(Yi) = F(\alpha + Xi\beta) = \frac{1}{\left[1 + e^{\alpha + Xi\beta}\right]}$$

où

i : ième observation dans l'échantillon,

Pi : probabilité qu'un individu face un choix donné Yi,
E : base du logarithme népérien,
Xi : vecteur des variables exogènes,
α: constante
β: coefficient associé à chaque variable explicative Xi à estimer.

Dans ce modèle un coefficient positif signifie que la probabilité augmente avec l'accroissement de la variable indépendante correspondante (Neupane *et al.,* 2002)

Tableau 3 : Liste des variables explicatives du modèle d'adoption

Variables	Types	Mesures
Age	Quantitative	Détermine le nombre d'année du chef de ménage
Sexe	Qualitative	Désigne le sexe du chef d'exploitation
Niveau d'instruction **Aucun** **Primaire** **Secondaire**	Qualitative	Détermine le niveau scolaire de ménage
Nombre d'actifs	Quantitative	Mesure le nombre d'actifs travaillant effectivement dans les parcelles du chef de ménage (CM)
Matériel	Quantitative	Détermine si le CM ??? a du matériel pour le compostage et autres activités telles que le zaï et le CP. Elle prend la valeur 1 si oui et 0 sinon
Formation	Quantitative	Indique si oui ou non le CM a eu une formation sur la mise en œuvre de la technique. Elle prend la valeur 1 si oui et 0 sinon;
Nombre de bovins	Quantitative	Désigne le nombre de bovins qui appartiennent au CM.
Nombre de petit ruminant	Quantitative	Désigne le nombre de petits ruminants (caprins et ovins) qui appartiennent au CM.
Perception	Qualitative	Indique la perception qu'a le chef de ménage sur l'impact de la technique sur les rendements. Elle prend la valeur 1 si bonne perception et 0 sinon.
Superficie	Quantitative	Désigne la superficie totale exploitée par le CM.

4.1.3.3 Hypothèses du modèle d'adoption

Sur la base de la revue de littérature et des caractéristiques de notre zone d'étude, nous nous sommes fixés quelques hypothèses (Tableau 4) que nous allons essayer de vérifier.

Tableau 4 : Détails des hypothèses du modèle sur l'adoption des techniques agroécologiques

Variables	Effets supposés
Capital humain	
Age	Négatif
Sexe	Positif
Niveau d'instruction	
Aucun	Négatif
Primaire	Positif
Secondaire	Positif
Formation sur une ou des techniques agroécologiques	Positif
Perception	
Perception	Positif
Taille de l'exploitation	
Nombre d'actifs	Positif
Superficie	Négatif
Matériel agricole	
Matériel travail du sol	
Matériel compostage	Positif
Cheptel	
Nombre de bovins	Positif
Nombre de petit ruminant	Positif

4.2 Appréhension des indicateurs paysans de fertilité des sols

A la suite de l'enquête agronomique et grâce aux différentes observations une collecte des informations sur les indicateurs retenus pour évaluation a été élaboré. Ces indicateurs identifiés (Tableau 5) ont été ainsi suivis à diverses étapes du cycle cultural grâce à une fiche de suivi des indicateurs (Annexe 2).

Tableau 5 : Indicateurs de fertilité des sols selon les producteurs

	Préparation du sol	Cycle cultural		
		levée	Phase de croissance	Récolte
Indicateurs	Couleur du sol	Taux de levée	Taille des plants	Production
	Présence termites/ termitière	Vitesse de croissance	Couleurs des tiges et des feuilles	Taille des épis
	Présence vers de terre	Humidité/Sécheresse du sol	Humidité/Sécheresse du sol	Taille des tiges
	Humidité/Sécheresse du sol	Trace d'érosion	Vitesse de croissance	-
	-	Présence d'adventices	Trace d'érosion	-

4.3 Taux d'humidité des sols sur le terrain

Pour réaliser ces mesures, un tube en polycarbonate (SDEC France) de 4 cm de diamètre et de 1,5 m de longueur (Figure 12a) a été implanté au niveau de chaque parcelle des différents traitements. Les mesures ont été réalisées une fois en saison sèche et une fois en saison humide. Elles sont réalisées grâce à une sonde TDR (réflectomètre temporel ou Time Domain Reflectometer en anglais) TRIME-pico 32 avec lecture directe du taux d'humidité (Figure 12b). Les valeurs sont relevées à chaque 10 cm de la base du tube vers le sommet. La sonde donne également les valeurs de la conductivité électrique et de la température du sol.

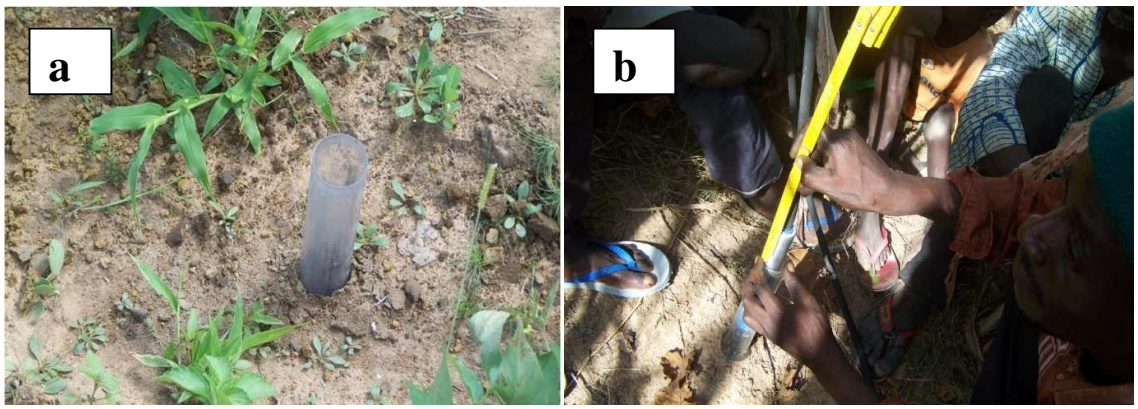


Figure 12 : Implantation du tube (a) et mesure d'humidité au champ (b) (Sampieri 2014, Auteur Coulibaly Aboubacar)

4.4 Prélèvement des échantillons de sols et analyse au laboratoire

A la suite de l'ouverture des fosses pédologiques, des échantillons de sol ont été prélevés sur chaque parcelle identifiée par traitement. Des échantillons de croute ont été également prélevés.

4.4.1 Méthodologie de prélèvement des échantillons de sol et des croûtes

4.4.1.1 Caractérisation pédologique du site

Trois fosses pédologiques tous situé dans le mis glacis ont été ouvertes (Annexe 3) dans la brousse tigrée/savane non exploité ou exploitée depuis plus de 10 ans et décrites avec leur environnement.

4.4.1.2 Comparaison des effets des pratiques agroécologiques et traditionnelles

Comme indiqué au chapitre précédent, l'enquête préliminaire réalisée auprès des paysans a permis d'appréhender la typologie des exploitations et les systèmes de culture et les principales pratiques culturales. Les traitements suivants ont été identifiés:

- ✓ Cordon pierreux +compost (CP+C),
- ✓ Zaï+cordon pierreux +compost (Z+CP+C),
- ✓ Témoin Absolu (TA) : parcelles sans pratiques agroécologiques et
- ✓ Végétation naturelle (VN) : brousse tigrée/savane jamais exploitée ou non exploitée depuis plus de 10 ans.

Les 2 premières pratiques (CP+C et Z+CP+C) correspondent aux pratiques agroécologiques tandis que la troisième (TA) correspond au traitement sans pratiques agroécologiques et avec l'application des pratiques traditionnelles (grattage). 8 parcelles par traitement toutes situées sur le glacis pente moyenne dans le bassin versant de Sampieri ont été identifiées pour les prélèvements de sols. Les prélèvements ont été effectués en janvier 2015 et février 2016 dans les couches 0-10 cm et 10-20 cm. Pour chaque traitement et par couche 3 échantillons élémentaires d'environ 1 kg ont été collectés puis poolés ensuite pour former un échantillon composite de sol. Au total 52 échantillons ont été ainsi obtenus.

Tous les échantillons de sol ont été séchés à l'air ambiant puis tamisés à 2 mm et conservés pour les différentes analyses au laboratoire

Les composts utilisés dans les parcelles amendées ont été également prélevés et analysés.

4.4.1.3 Essai cordons pierreux

L'objectif de cet essai est de vérifier l'uniformité de l'effet sur le contrôle du ruissellement et de la fertilité des sols des cordons pierreux à l'intérieur de bandes établies par les producteurs à des fins d'amélioration. Les prélèvements de sols ont été réalisés en 2016. Suivant l'organisation du paysan, les parcelles aménagées en cordons pierreux sur le glacis pente moyenne sont subdivisées en trois parcelles P1, P2 et P3 (Figure 13). A l'intérieur de chaque parcelle des échantillons de sol sont prélevés à des distances régulières allant de 0 à 15 mètres dans un premier temps pour l'ensemble des trois parcelles. Dans un second temps un prélèvement complémentaire à l'intérieur des parcelles P2 et P3 est réalisé jusqu'en bout de parcelle. Ces prélèvements sont réalisés dans les couches 0-10 et 10-20 cm. Au total.120 échantillons de sol ont été prélevés à l'intérieur des parcelles délimitées par les cordons pierreux, soit 36 échantillons pour la parcelle P1 et 42 pour les parcelles P2 et P3. Des échantillons composites de sol sont ensuite réalisés avec ces échantillons élémentaires en fonction de la distance de prélèvement pour obtenir au total 40 échantillons. Les échantillons de sol ainsi constitués ont été séchés, tamisés à 2 mm, puis conservés en vue des analyses physiques, chimiques et microbiologiques.

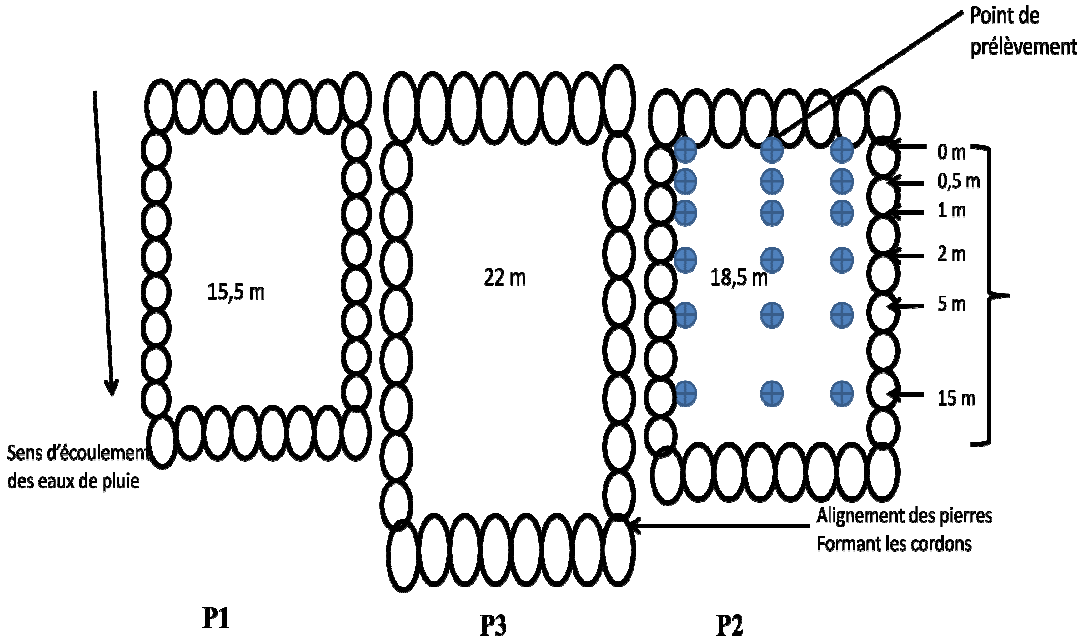


Figure 13 : Parcelles aménagées en cordons pierreux et plan de prélèvement

4.4.1.4 Prélèvement des croûtes

Les échantillons de croûtes de sol analysés ont été prélevés dans les parcelles situées en zone intermédiaire (glacis pente moyenne) du bassin versant (Figure 14) de Sampieri. Il s'agit de

parcelle cultivées sous les traitements zai plus cordon pierreux plus compost (Z+CP+C), cordon pierreux plus compost (CP+C) ainsi que des échantillons des traitements témoin absolu (TA) et végétation naturelle ou brousse tigrée (VN).

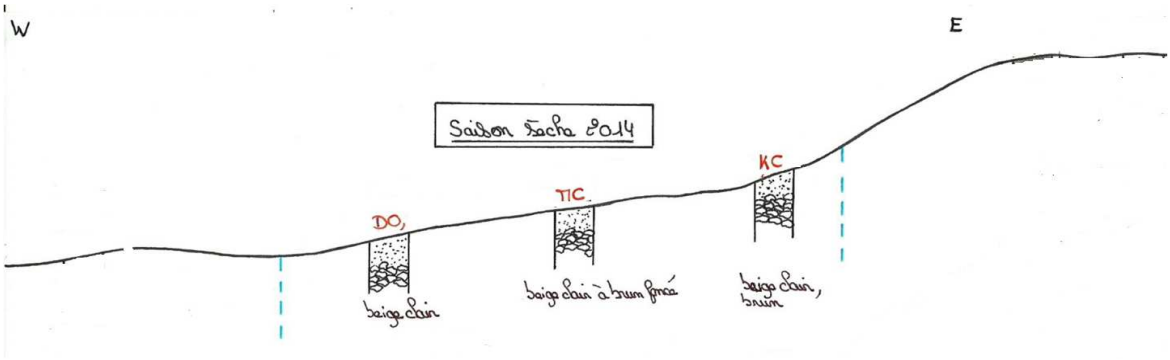


Figure 14 : Zone de prélèvement des échantillons dans le bassin versant de Sampieri

Pour chaque parcelle ainsi identifiée un échantillon de croûte a été prélevé durant la saison sèche 2014 pour les observations. Pour cela une pioche est utilisée pour décaper la partie supérieure du sol à environ 5 cm de profondeur. L'échantillon ainsi prélevé et mis dans une boite en plastique pour éviter la destruction de l'agrégat lors du transfert au labo pour les analyses.

4.4.2 Analyses au laboratoire des sols

4.4.2.1 Granulométrie

La détermination de la composition granulométrique qui permet ensuite de connaitre la texture du sol est une analyse importante puisqu'elle influence de façon primordiale les comportements physiques et mécaniques du matériau sol et toutes les propriétés liées à la teneur en eau et aux mouvements de celle- ci (Pansu et Gautheyrou, 2003). Le kit expérimental code 1067 mis au point par l'entreprise LaMotte a été utilisé pour la détermination des différentes fractions granulométriques de la terre fine. Ce test est conçu pour séparer la terre en trois fractions minérales de base indépendamment des éléments grossiers supérieurs à 2 mm (Duchaufour, 1997). Selon le diamètre les fractions granulométriques suivantes sont retenues:

- sable: 2 mm à 50µm,
- limon: 50 µm à 2 µm
- argile inférieur à 2µm.

Le temps nécessaire pour que les particules du sol de tailles différentes se décantent dans les tubes de séparation du sol constitue la base de ce test. Différents traitements préalables servent à obtenir une bonne dispersion des particules de l'échantillon. Ainsi, une longue agitation dans l'eau avec un dispersant permet de séparer les particules de sable et de limon du reste de la solution. Ensuite, une solution de floculation permet la décantation de la phase argileuse de l'échantillon. À partir de la quantité de matières recueillies dans chaque tube, le pourcentage de chaque fraction dans l'échantillon de sol d'origine est ainsi déterminé.

4.4.2.2. Diffraction aux rayons X de la fraction argileuse des sols

4.4.2.2.1 Principe

Le tube à rayons X (Figure 15) est la source des rayons X : à l'intérieur, un filament généralement de tungstène est porté à incandescence par un courant électrique. Les électrons créés sont accélérés par un wenhelt (pièce métallique portée à un potentiel négatif sur le trajet des électrons). Le bombardement électronique sur l'anode (plaque métallique) produit une émission électromagnétique dans le domaine X (transformation d'énergie cinétique en énergie électromagnétique). Les rayons X constituent moins de 1 % du faisceau, c'est pourquoi le tube, protégé par du plomb absorbant les X, possède des ouvertures en Be, transparentes aux rayons X de différentes longueurs d'onde.

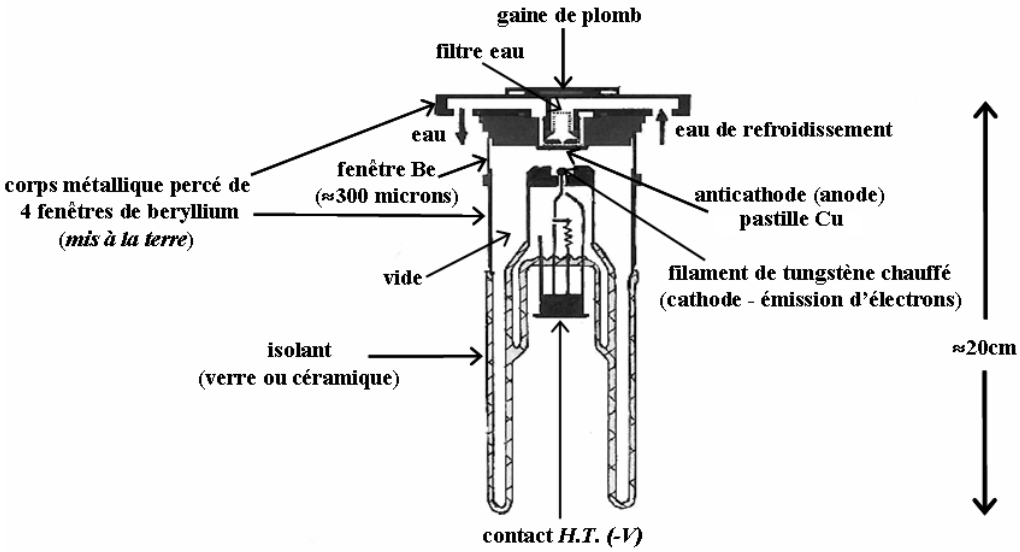


Figure 15 : Schéma du tube (Serna et al., 2014)

Le détecteur reçoit une certaine quantité de photons X qu'il va compter et transformer en intensité électrique.

L'échantillon est placé à l'horizontale et est immobile (Figure 16). Seuls le tube et le détecteur vont bouger, symétriquement autour de l'échantillon.

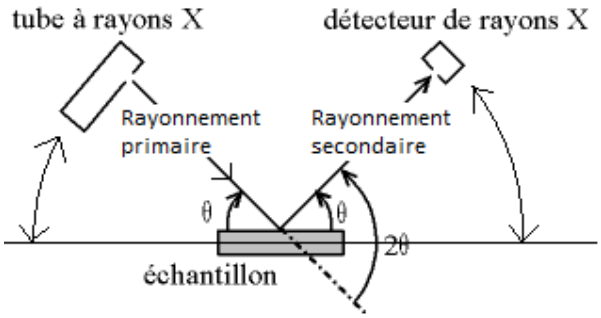


Figure 16 : Chambre de rayons X (Serna et al., 2014)

Lorsque le tube envoi des rayons X sur un matériau, celui-ci renvoi un rayonnement secondaire de longueur d'onde similaire à celle du rayonnement primaire. Le phénomène de diffraction va apparaitre: c'est-à-dire que les rayonnements secondaires vont soit être en opposition de phase et s'annuler (interférences destructives), soit être en phase et s'additionner (interférences constructives). On observe dans ce cas un pic de diffraction ou réflexion de Bragg. La loi de Bragg exprime les conditions nécessaires pour obtenir un pic en diffraction des rayons X:

$$2d\sin\theta = n.\lambda$$

Avec :
d = distance inter réticulaire, c'est-à-dire distance entre deux plans cristallographiques
θ, angle de Bragg = demi-angle de déviation (moitié de l'angle entre le faisceau incident et la direction du détecteur)
n = ordre de diffraction (nombre entier)
λ = longueur d'onde des rayons X

La position d'un pic de diffraction est donc déterminée par la distance inter réticulaire entre deux plans d'atomes du réseau cristallin du matériau. L'intensité relative des pics de diffraction d'un matériau dépend de la proportion de ses types d'arrangements cristallographiques et qui est, statistiquement, la même lors de chaque passage de l'échantillon dans l'appareil. C'est pourquoi un diffractogramme est un identificateur d'un matériau.

4.4.2.2.2 Mesures réalisées

La phase argileuse obtenue après l'analyse granulométrique est laissée dans la solution de floculation un temps suffisant (72 h) pour le dépôt complet des argiles granulométriques.

Après cette argile est purifiée par lavage à l'eau déminéralisée et centrifugation successive. Le mélange ainsi obtenu est déposé sur une lame en verre rainurée et gardé 24 h environ sous lumière pour sécher. La lame ainsi préparée est introduite ensuite dans l'appareil pour les analyses. Pour confirmer la présence probable des différents types d'argiles à travers les diffractogrammes une série de traitements a été réalisée sur un certain nombre d'échantillons.
Pour confirmer par exemple la présence de kaolinite, l'échantillon "VN1" a été chauffé à 480°C pendant 2h, puis à 510°C pendant 2h. La réflexion à 12,3° 2téta (d=0,72 nm), caractéristique de la phase kaolinite disparait à 510°C. Ceci est bien en accord avec le comportement thermique d'un kaolin. Ensuite, pour confirmer la présence des smectites le même échantillon a été placé sous atmosphère d'Ethylène Glycol toute une nuit afin de confirmer une présence éventuelle de phase gonflante (type smectite). On observe pour une réflexion à 5,9° en 2téta (soit d = environ 1,5nm) qui se déplace vers 5,2° 2téta (environ 1,7nm), ce qui confirme la présence de smectite.

4.4.2.3 pH et conductivité des sols

4.4.2.3.1 Mesure du pH-eau et pH-KCl

La mesure du pH d'une suspension d'un échantillon de sol dans l'eau rend compte de la concentration en ions H_3O^+ à l'état dissocié dans le liquide surnageant et s'exprime selon une échelle de 0 à 14. Pour déterminer le pH nous avons utilisé la méthode de lecture directe à l'aide d'un pH-mètre électrique (sonde multiparamètres WTW 1970i). Un mélange échantillon/eau distillée (ou KCl de concentration 1 Mole/litre) dans un rapport pondéral terre fine/eau = 1/2.5 soit 5 g de sol pour 12,5 ml d'eau (KCl) distillée est mis à agitation une heure environ.
Après décantation du mélange la valeur du pH est obtenue en mesurant une différence de potentiel en volts à l'aide d'une électrode de verre. L'appareil convertit directement cette différence de potentiel en valeur de pH. Pour calibrer l'appareil, deux solutions de pH connues 4 et 7 ont été utilisées.

En ce qui concerne les horizons des sols, le référentiel pédologique propose 7 « domaines » de pH dans l'eau : hyper-acide, très acide, acide, peu acide, neutre, basique, très basique (Baize, 2006).

La différence entre pH-eau et pH-KCl donne une bonne idée de l'acidité potentielle du sol. On calcul la différence entre les deux pH:

Potentiel d'acidification= pHeau-pHKCl

Les risques d'acidification du sol sont variés selon l'écart entre le pH-eau et le pH-KCl:

- Écart < 0,19: pas de potentiel d'acidification;
- Écart compris entre 0,2 et 0,5: faible potentiel d'acidification;
- Écart compris entre 0,51 et 0,99: potentiel d'acidification moyen;
- Écart > 1: fort potentiel d'acidification.

4.4.2.3.2 Conductivité électrique

La conductivité électrique des sols détermine leur degré de salinité. Elle permet de mesurer la concentration en ions dans la solution du sol en utilisant la propriété qu'ont les solutions aqueuses de conduire l'électricité proportionnellement à leur concentration en ions. Mais elle ne permet pas de connaitre la nature des ions présents. Dans notre étude cette mesure a été effectuée simultanément au pH eau dans la même solution de sol (rapport pondéral terre fine/eau = 1/2.5 soit 5 g de sol pour 12,5 ml d'eau) préparée à cet effet.

4.4.2.4 Pyrolyse flash

Cette méthode (Pyroliseur Flash 2000 EA Experience Thermofischer) a été utilisée pour déterminer la teneur en azote total. L'échantillon de sol a d'abord été broyé pour que le diamètre des particules n'excède pas 160 µm puis placé dans une capsule d'étain et introduit dans un four à haute température (900 °C) traversé par un courant d'hélium, un apport d'oxygène provoque une combustion totale. La teneur totale en N est quantifiée par chromatographie gazeuse après une calibration appropriée avec des substances de composition connue en N. Dans notre cas, cette substance dite standard est la sulfanilamide.

4.4.2.5 Carbone organique

L'analyse du carbone organique présent dans les échantillons de sol a été réalisée par la méthode Rock-Eval (Lafarge *et al.,* 1998 ; Disnar *et al.* 2003). Elle consiste à chauffer et à craquer thermiquement (de 300 à 650 °C) dans un premier temps un échantillon de sol (100mg) sous une atmosphère inerte d'hélium ou d'azote. Les effluents produits durant cette pyrolyse sont quantifiés en continu par un détecteur à ionisation de flamme « FID » (Flame Ionization Detector) qui détecte les effluents hydrocarbonés et deux cellules infra-rouges qui enregistrent les CO et le CO_2 produits au cours de la pyrolyse. Le résidu de pyrolyse est ensuite soumis à une augmentation progressive de la température de 300 °C jusqu'à 850 °C,

mais cette fois sous air, ce qui permet son oxydation. Le CO et le CO_2 qui sont émis par la matière organique et les carbonates en phase d'oxydation, sont alors détectés en continu, par les cellules infra-rouges.

En plus de la teneur en carbone organique, divers paramètres vont par la suite être calculés ; il s'agit de IH et IO, respectivement indices d'hydrogène et d'oxygène, permettant de définir l'état de la matière organique.

Le rapport C/N (carbone organique/azote) est ensuite calculé. Selon Baize (2000), les interprétations suivantes peuvent être retenues:

- C/N< 15: production d'azote, la vitesse de décomposition de la matière organique s'accroît. Elle est à son maximum pour un rapport C/N= 10;
- 15< C/N< 20: besoin en azote couvert pour permettre une bonne décomposition de la matière carbonée;
- C/N> 20: Pas assez d'azote pour permettre la décomposition du carbone (il y a compétition entre l'absorption par les plantes et la réorganisation de la matière organique par les micro-organismes du sol, c'est le phénomène de "faim d'azote"). L'azote est alors prélevé dans les réserves du sol. La minéralisation est lente et ne restitue au sol qu'une faible quantité d'azote minéral.

4.4.2.6 Détermination du phosphore assimilable

4.4.2.6.1 Extraction du phosphore assimilable

La méthode utilisée consiste à produire un extrait de sol contenant le phosphore assimilable. Pour cela on utilise une solution dite * solution universel d'extraction* contenue dans le kit expérimental code 5227-J mis au point par l'entreprise LaMotte. Il s'agit pratiquement d'introduire 4 gramme de sol dans 14 ml de la solution d'extraction universel.

Mettre à agitation durant 1 mm et filtrer le surnageant. La solution de sol ainsi obtenue est utilisée pour le dosage du phosphore assimilable.

4.4.2.6.2 Dosage du phosphore assimilable

Afin de doser le phosphore assimilable contenu dans la solution extraite comme indiqué plus haut, une préparation supplémentaire est faite. Ainsi, dans le surnageant obtenu les réactifs suivants sont rajoutés:

- ✓ 2 ml du réactifs sulfomolybdique à 37,5 $g.L^{-1}$, puis agité;
- ✓ 0,5 ml d'acide L(+) ascorbique en solution 0,1 $mol.L^{-1}$, puis agité.

Le mélange est ensuite porté au bain marie à 60°C pendant une heure à l'abri de la lumière vive. Le dosage est ainsi fait dans ce mélange par mesure de la densité optique au spectrophotomètre (Spectrophotomètre Evolution 200 Thermo Fisher) à la longueur d'onde de 815 nm.

4.4.2.7 Détermination de la CEC

La capacité d'échange cationique (C.E.C.) d'un horizon ou d'un échantillon de sol représente la quantité de cations que le sol peut retenir sur son complexe adsorbant, à un pH donné. Il s'exprime en centimole équivalent de charge par kilogrammme de sol (1 cmol+/kg =1 méq/100 g). Le phénomène d'adsorption est un phénomène de surface, sans réaction chimique ; les cations ne sont que momentanément fixés et demeurent échangeables.

Le protocole utilisé dans ce travail repose sur les travaux d'Amman et al. (2005) sur la détermination de la CEC avec un complexe de cuivre. Le but est, de déterminer la concentration exacte d'ion Cu^{2+} dans une solution initiale de $[Cu(trien)]^{2+}$ 0,01M pour 1 L et les concentrations en Cu^{2+} dans la solution surnageant récupérée après l'échange avec le sol.
Pour cela 100 mg de sol sont introduit dans 8 ml de solution $[Cu(trien)]^{2+}$ et l'ensemble est agité pendant une nuit sur agitateur à rouleaux puis centrifugé à 7000 rpm pendant 15 minutes. 3mL de la solution surnageant sont récupérées pour doser les ions Cu2+.

Pour notre expérience ce dosage a été réalisé par absorption atomique à flamme (Spectromètre d'Absorption Atomique HITACHI Z-8100). La CEC est déterminée par calculs à partir des résultats de l'absorption atomique ainsi qu'il suit :

- Calcul de la quantité d'ion cuivre initiale de la solution du complexe en en Cmol+ à partir de la concentration donnée par l'AAS (en ppm/mg/L) :

$$Q_{Cu\,i} = \frac{2 \times [Cu]_i \times f_{dilution} \times V_{Cu(trien)}}{1000 \times M_{Cu}} \qquad (1)$$

Avec : $[Cu]_i$: concentration en cuivre de la solution initiale en ppm

$f_{dilution}$: facteur de dilution des solutions pour le dosage

$V_{Cu(trien)}$: volume de la solution de complexe mis avec l'échantillon en mL
M_{Cu} : masse molaire du cuivre (63,546 g/mol)

- Calcul des concentrations en cuivre en meq/L dans les solutions surnageantes récupérées

$$[Cu]_{meq/L} = \frac{2 \times [Cu] \times f_{dilution}}{M_{Cu}} \qquad (2)$$

Avec : [Cu] : concentrations en Cu^{2+} données par l'AAS en ppm

$f_{dilution}$: facteur de dilution des solutions pour le dosage

M_{Cu} : masse molaire du cuivre

- Calcul de la quantité de Cu^{2+} dans la solution surnageante en meq :

$$Q_{Cu} = \frac{[Cu]_{meq/L} \times V_{Cu(trien)}}{1000} \qquad (3)$$

Avec : $[Cu]_{meq/L}$: concentrations en cuivre en meq/L dans les solutions surnageantes récupérées (résultat de (2))

$V_{Cu(trien)}$: volume de la solution de complexe mis avec l'échantillon en mL

- Calcul de la quantité d'ions cuivre fixée en meq :

$$Q_{Cu\,fixée} = Q_{Cui} - Q_{Cu} \qquad (4)$$

Avec : Q_{Cu} : quantité de Cu^{2+} dans la solution surnageante en meq (résultat (3))
Q_{Cui} : concentration en cuivre initiale de la solution du complexe en meq (résultat (1))

- Calcul de la quantité d'ions cuivre fixée en meq/g :

$$Q_{Cufixée} = \frac{Q_{Cufixée(meq)} \times 1000}{m_{échantillon}} \qquad (5)$$

Avec : $Q_{Cu\,fixée}$: quantité d'ions cuivre fixée en meq (résultat (4))

$m_{échantillon}$: masse de la prise d'essai en mg

La CEC s'exprime en Cmole+/ kg de sol d'échantillon calciné donc pour connaître la CEC exacte, il faut se rapporter à la masse d'un échantillon après calcination. Pour cela il faut calculer la masse de l'échantillon après calcination à l'aide de la perte au feu :

$$m_{échant.calc.} = \frac{m_{échantillon} \times m_1}{m_0} \qquad (6)$$

Avec : $m_{échantillon}$: masse initiale de l'échantillon en mg

m_0 : masse initiale avant perte au feu en mg

m_1 : masse après perte au feu en mg

$$\boxed{CEC = \frac{Q_{Cufixée} \times 1000}{m_{échant.calc.}}} \qquad (7)$$

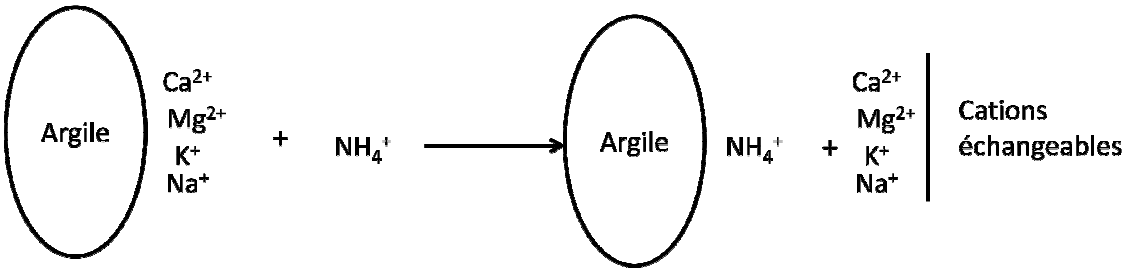
Avec : CEC en cmole+/ kg de sol

$Q_{Cufixée}$: quantité d'ions cuivre fixée en meq (résultats (4))

$m_{échant.calc.}$: résultat (6)

4.4.2.8 Détermination des cations échangeables

La méthode utilisée pour ce dosage est celle dite à l'acétate d'ammonium. Pour cela une solution d'acétate d'ammonium 1 $molL^{-1}$ tamponnée à pH 7 est préparée. On part du principe qu'après saturation du sol par les cations NH_4^+ dans un milieu tamponné à pH 7 les cations échangeables sont déplacés et passent dans la phase liquide où ils sont ensuite dosé. La réaction qui se produit est la suivante:



Pour cela, on mélange 10 g de terre fine avec 25 mL d'acétate d'ammonium dans un bécher de 100 mL. On homogénéise le mélange et le laisse en contact une nuit. On passe le mélange par la suite à agitation puis on laisse se décanter et on passe le surnageant sur filtre (Filtre liquide 125 mm). On répète l'opération trois fois en laissant en contact 15 mm entre chaque extraction. On réunit ensuite les trois portions puis on complète à 100 mL avec de l'eau déminéralisée. On effectue le dosage des différents ions dans cette solution par chromatographie ionique (Dionex ICS 1100).

4.4.2.9 Méthodes d'analyse des croûtes

4.4.2.9.1 Cryo-MEB à émission de champ

Les observations par Cryo-MEB à émission de champ ont été réalisées avec un microscope électronique à émission de champ de type HITACHI S-4500 et avec un système de cryo-préparation de type Polaron LT 7400 (Quorum Technologie) au Centre de Microscopie Electronique (CME) de l'Université d'Orléans.

4.4.2.9.1.1 Principes généraux du cryo-microscope électronique à balayage à émission de champ

L'utilisation d'un tel système de cryo-MEB à haute résolution permet de révéler des détails de la texture organo-minérale naturelle des échantillons mais également la micromorphologie des composants organiques et les relations structurales avec les minéraux associés (Défarge *et al.,* 1999). La combinaison du cryo-MEB avec un canon à émission de champ permet de réaliser des observations à haute résolution même pour des basses tensions d'accélération (1kV). A

ces tensions d'accélération, très inférieures aux tensions de travail des MEB conventionnels, les électrons moins pénétrants fournissent une image plus représentative de la surface de ces échantillons (Défarge *et al.,* 1999).

La méthode de cryo-fixation consiste à solidifier l'eau contenue dans l'échantillon permettant ainsi d'immobiliser les constituants. Cette congélation se réalise de manière ultrarapide dans un liquide de conductivité thermique élevée (azote pâteux). L'extraction de l'eau rend cette immobilisation permanente. La méthode de cryo-fixation permet la non-modification de la morphologie initiale de l'échantillon. La congélation de l'échantillon entraîne la cristallisation de glace en surface. Celle-ci cristallise soit sous forme de gros cristaux hexagonaux, soit sous la forme de cristaux plus petits cubiques voire sous forme de cristaux en étoiles. Les formes variées de cristallisation de la glace peuvent être source d'artéfacts d'où la nécessité d'une étape de sublimation de celle-ci avant d'entreprendre les observations de l'échantillon (Défarge *et al.,* 1999).

Les cryo-MEB fonctionnent sur les mêmes principes de base que les MEB conventionnel. En effet, le fonctionnement des Meb résulte du balayage de la surface de l'échantillon par un faisceau très fin (<15 à 200 Å) d'électrons. Ce faisceau, au contact de la surface de l'échantillon, produit des interactions qui sont détectées par un capteur. Ces interactions émettent différents types d'électrons : émission d'électrons secondaires, d'électrons rétrodiffusés, d'électrons Auger et de rayons X. Dans le cadre de notre étude, seuls les électrons secondaires ont été pris en compte. Les électrons sont produits à partir d'un filament de tungstène, porté à haute température, se trouvant au sommet de l'appareil. L'ensemble de la colonne du microscope est maintenue sous vide d'une part pour éviter l'oxydation de la source et d'autre part pour éviter le freinage et la dérive des électrons par collision avec des molécules d'air. Le détecteur d'électrons secondaires transcrit le flux d'électrons en photons.

Ces photons sont ensuite amplifiés puis interprétés pour reconstruire une image en fonction de l'intensité du courant électrique produit donnant une image en différents niveaux de gris. Dans notre cas, les images sont ensuite obtenues à partir de l'interphase INCA (logiciel INCA rapport).

4.4.2.9.1.2 Protocole de préparation de l'échantillon à l'observation :

Pour réaliser ces observations, un volume de quelques mm^3 de la surface de l'échantillon de la surface du sol a été prélevé correspondant à la partie formée par la croûte. Une fois

l'échantillon prélevé, celui-ci est collé sur le support dédié aux analyses par cryo-MEB à l'aide d'une colle au carbone et du « tissu teck ». Pour chaque analyse, 2 échantillons ont été observés simultanément. Une fois l'échantillon préparé, celui-ci est monté sur le porte-objet adapté à la platine du cryo-MEB.

L'étape de cryo-fixation peut alors débuter. L'échantillon est d'abord plongé dans de l'azote pâteux à -210°C pendant quelques secondes. L'azote pâteux étant obtenu par dépression. Une fois congelé, l'échantillon est alors introduit dans le Meb. A cette étape, l'échantillon est débarrassé de sa glace superficielle, formée lors de la congélation dans l'azote pâteux, par sublimation de celle-ci en remontant la température jusqu'à -70°C. Une fois l'ensemble de la glace sublimée, les observations à froid (-110°C) peuvent commencer (Défarge *et al.,* 1999). L'ensemble des observations s'est déroulé avec une tension d'accélération des électrons de 1kV et à une distance de travail de 5mm.

4.4.2.9.2 Analyse à la microsonde électronique

Les analyses chimiques effectuées ont été réalisées par le biais de la microsonde électronique à détecteur Si-Li de la marque OXFORD ISIS Energy et acquisition des spectres par l'interphase INCA. Cette microsonde est couplée au cryo-Meb S-4500.

4.4.2.9.2.1 Principe de l'analyse

L'analyse à la microsonde électronique consiste à bombarder un échantillon avec un faisceau d'électrons et à analyser le spectre des rayons X émis par l'échantillon sous ce faisceau.

Lors du bombardement d'un échantillon par un faisceau d'électrons primaires, générés au sein du canon du microscope, celui-ci interagit avec les atomes de l'échantillon. Ces atomes passent alors d'un état fondamental à un état excité par éjection d'un électron secondaire. L'atome ainsi excité va retourner à son état fondamental de plus basse énergie, par réarrangement de son cortège électronique en générant l'émission de photon X (domaine des rayons X).

Ces photons sont alors détectés et captés par un détecteur à Si-Li, fonctionnant en dispersion d'énergie (EDS), situé dans la chambre du microscope. Chaque atome émet des rayons X qui lui sont propres, ce qui permet d'identifier chaque élément par des pics sur un spectre. La surface de chacun des pics est corrélée à la teneur de l'élément dans le composé et à l'énergie du faisceau primaire.

4.4.2.9.2.2 Protocole de mise en place

Dans notre cas, l'analyse à la microsonde électronique s'effectue une fois les observations des échantillons terminés. Pour cette analyse, la platine, support de l'échantillon, est abaissée jusqu'à une distance de travail (WD) de 25mm. Cet abaissement est nécessaire pour avoir un angle particulier avec le faisceau de la microsonde. La tension d'accélération du faisceau est de 10kV; à cette tension la structure des échantillons n'est déjà plus très stable.

4.4.2.10 Caractérisations des communautés microbiennes par la méthode MicroResp

4.4.2.10.1 Principe

L'étude d'une communauté microbienne peut être réalisée en évaluant son profil métabolique. En effet, la réponse métabolique d'une communauté face à des facteurs biotiques ou abiotiques (facteurs qui concernent le matériel vivant et la matière inerte respectivement) est un facteur important de la caractérisation fonctionnelle d'un écosystème. L'analyse de la diversité métabolique peut être réalisée en examinant le comportement catabolique d'une communauté vis à vis de plusieurs substrats organiques. Les données concernant la dégradation de ces substrats peuvent être rassemblées formant ainsi un profil métabolique. Ainsi, la technique MicroRespTM (Campbell *et al.,* 2003) permet l'étude de la diversité fonctionnelle d'un sol dans sa globalité sans qu'il y ait mise en culture des microorganismes présents avec le risque de phénomènes de sélection. Cette technique MicroRespTM est une mesure de la respiration d'un sol par la quantification du CO_2 émis.

En pratique, environ 0,4 g de chaque échantillon de sol est placé, à l'aide d'une pipette multi-canaux dans une plaque de 96 puits. Avant d'être placé dans ces puits, les échantillons sont humidifiés à 60% de leur capacité de rétention en eau. Une fois ces échantillons placés dans cette plaque, en plus du blanc (eau distillée), 25 µL des substrats carbonés (concentration 30mg C/g de sol) suivants sont rajoutés au sol dans les puits: glucose, galactose, mannose, fructose, tréhalose, sucrose, maltose, mannitol, sorbitol, inositol, glycine, proline, arginine, citrate et malate. Les substrats ont été choisis en fonction de leur complexité (par exemple, la longueur de la chaîne C) et de la diversité quant à leur rôle dans le métabolisme des microrganismes.

De plus, ces substrats sont représentatifs des composés organiques de bas poids moléculaire libérés lors de la décomposition des résidus végétaux ou dans les exsudats radiculaires (Campbell et al., 2003).Toutes les sources de C ont été obtenues auprès de Sigma-Aldrich (Saint-Quentin Fallavier, France).Cette plaque (fournisseur:Macaulay Scientific Consulting L;

Craigiebuckler; Aberdeen) ainsi constituée est reliée par un joint perforé, à une plaque de détection comprenant également 96 puits. Ce joint (en silicone) individualise les puits en connectant le puits inférieur au puits supérieur correspondant. Les puits de la plaque de détection sont remplis d'un gel contenant un indicateur colorimétrique le rouge de Crésol (18.75 mg/1 L), du chlorure de potassium KCl (16,77 g/1L) et du bicarbonate de sodium (0.315 g/1L. Le CO_2 libéré par le sol, après six heures d'incubation dans l'obscurité à 25 °C, est capturé par le gel. Il se produit une réaction chimique entre le CO_2 formé et l'ion HCO_3^- pour donner, entre autre, du H^+; le milieu voit donc son pH diminuer entraînant un changement de couleur de l'indicateur dans la plaque de détection. Le passage de la couleur rose à la couleur jaune est mesuré à l'aide d'un spectrophotomètre à la longueur d'onde de 570nm (Bio-Tek Instrument, Inc., µQuant – MQX 200). Ces mesures sont réalisées sur les plaques de détection avant l'ajout des substrats et âpres l'ajout et incubation pendant 6 heures. Cela permet d'estimer le taux de respiration de chaque puits. Le taux de respiration de CO_2 exprimé par gramme de sol par puits a été calculé selon la formule fournie dans le manuel MicroResp ™ (Macaulay Scientific Consulting, Royaume-Uni).

4.4.210.2 Calculs

Les données de l'expérience permettent de faire de nombreux calculs pour analyser le sol et peuvent être très variés selon le but dans lequel l'expérience a été faite.

Dans un premier temps, les données d'absorbance mesurée après 6h sont «normalisées» afin d'éliminer les différences possibles entre les plaques de détection. Pour ce faire, pour chacun des puits, l'absorbance A570 à t=6h est divisée par celle mesurée à t=0; le produit obtenu est multiplié par l'A570 moyenne de la plaque à t=0.

$$\textbf{A570 normalisées} = (A_{570\ 6h}/A_{570\ 0h}) * A_{570\ \text{moyenne à 0h}}$$

Il existe une relation de proportionnalité entre l'A570 mesurée (sous sa forme normalisée) et le pourcentage de CO_2 produit. La calibration du système MicroRespTM a permis d'établir la relation suivante :

$$\%CO_2 = A + B / (1 + D \times A6n)$$

Avec A, B et D: constantes de valeurs -0,2265, -1,606 et -6,771 respectivement et A6n : l'absorbance mesurée à 6h et normalisée.

Le taux de CO_2 produit est calculé en convertissant le pourcentage de CO_2 en quantité de CO_2 exprimée en µg CO_2-C/g de sol sec/h. Pour cela, la formule suivante est utilisée:

[[(%CO_2/100) x vol. x (44/22,4) x (12/44)]/ (DWT x TH)]/t

Avec vol.: volume d'air renfermant le CO_2 produit (945µL),

DWT: poids sec du sol,

TH: taux d'humidité

t: temps d'incubation (6h); 44 et 12: poids moléculaire du CO_2 et du C et 22,4: volume molaire du CO_2. Les valeurs de taux de CO_2 inférieures à celle obtenue sur le puits ne contenant aucun substrat carboné sont considérées comme égales à zéro.

La respiration induite par les différents substrats va permettre d'étudier la diversité catabolique des sols, les substrats carbonés utilisés ayant été choisis pour leurs caractéristiques chimiques et/ou leurs origines différentes. Ainsi avec le substrat glucose, seront obtenues des informations générales sur la biomasse microbienne. En effet, les travaux d'Anderson et Domsch (1978) ont permis d'établir une relation de proportionnalité entre la biomasse microbienne (BM) et le taux de production de CO_2 (TCO_2) :

$$\mathbf{BM = (40,4 \times TCO_2) + 0,37.}$$

Avec les échantillons incubés sans substrat, il est estimé la respiration basale (RB).

Le quotient métabolique (qCO_2), ratio entre la respiration basale et la biomasse microbienne, (qCO_2 = RB/BM) (Anderson et Domsch, 1993) correspond au flux de CO_2 issue de la respiration basale par unité de biomasse. C'est un indicateur éco-physiologique microbien qui témoigne de l'efficacité avec laquelle les micro-organismes utilisent le carbone disponible dans le sol pour leur biosynthèse. Le qCO_2 est élevé quand les communautés microbiennes redirigent une partie des sources de carbone vers leur maintenance énergétique. C'est le cas par exemple dans des situations de stress thermique et chimique.

A partir des profils métaboliques obtenus, il est possible de calculer l'indice de diversité de Shannon-Weaver H'. A la base, la diversité s'applique aux espèces d'une biocénose (en écologie, cela correspond à l'ensemble des êtres vivants coexistant dans un espace défini). Elle est exprimée sous la forme d'une relation entre le nombre d'individus (= abondance) et le nombre d'espèces (= richesse spécifique). La diversité concerne d'autres niveaux d'organisation des écosystèmes comme la diversité métabolique. L'indice de Shannon en rend compte et se calcule à partir de la formule suivante:

$$\mathbf{H' = -\Sigma Si=1\ [(ni/N) \times log2(ni/N)]}$$

avec S: nombre total d'espèces, ni: nombre d'individus de l'espèce i et N : nombre total d'individus. Dans le cas d'une évaluation de la diversité catabolique :

$$\mathbf{H' = -\Sigma\ pi \times lnpi}$$

avec p_i= taux de production de CO_2 pour un substrat donné/ taux de production de CO_2 pour tous les substrats (Zak et al. 1994).

On peut aussi calculer l'équitabilité catabolique E (appelé aussi indice d'équitabilité). Cet indice représente le rapport entre la diversité spécifique observée et la diversité maximale observée pouvant être obtenue avec le même nombre d'espèces.

$$E = H'/ H'max \text{ soit } H'/ lnS$$

avec S nombre total d'espèces, ici nombre total de substrats testés (Zhou et al., 2012).

L'équitabilité varie de 0 à 1. Elle tend vers 0 quand la quasi-totalité des effectifs est concentrée sur une seule espèce, c'est à dire que la communauté microbienne est dominée par certaines populations. Elle tend vers 1 lorsque toutes les espèces ont la même abondance c'est à dire quand il n'y a pas d'espèces dominantes. Cet indice est généralement plus faible dans les environnements perturbés qui sont dominés par les espèces les plus adaptées.

Dans le cas de l'évaluation des capacités cataboliques d'une microflore du sol, l'indice de Piélou est une mesure de l'équitabilité dans l'utilisation des différents substrats testés; en d'autres termes, si E tend vers 1, c'est que la microflore tellurique est capable de métaboliser la plupart des substrats testés (ici 15/15) ce qui sous-entend une certaine diversité de la communauté microbienne. Si E tend vers 0, à l'inverse, la microflore du sol métabolise un nombre limité de substrats (par exemple 11/15) ce qui peut traduire une moindre diversité de la communauté microbienne.

4.5 Evaluation des rendements des cultures

A la suite de l'enquête nous avons choisi d'évaluer les rendements du sorgho blanc (variété local : **itchiori** en langue gourmantché) qui est la principale spéculation de la zone. Ainsi, le choix s'est porté sur les parcelles de paysans modèles faisant parti des 10 producteurs modèles de l'enquête préliminaire. Les traitements retenus sont les suivants :

- Zaï+Cordons Pierreux+Compost (Z+CP+C);
- Cordon Pierreux+Compost (CP+C) et
- Témoin absolu (TA): sans apport de compost ou de traitement agroécologique correspondant aux pratiques traditionnelles de production de ka zone

Des carrés de rendement ont été posés au niveau des parcelles en fonction des pratiques identifiées. Elle consiste à installer dans les champs avant la récolte des carrés matérialisés avec des piquets et de la ficelle. Le carré a été fixé à 5 m de côté ce qui permet de mesurer les angles de 90°C facilement. Un carré représente donc 25 m^2 et par extrapolation on calcule par

la suite les rendements à l'hectare. Ainsi à la récolte les épis et la paille sont séparés et après battage les pesés sont effectués à l'aide d'un peson à crochet.

En somme l'évaluation d'un ensemble de paramètres (Figure 17) a permis dans cette étude de vérifier les hypothèses fixées.

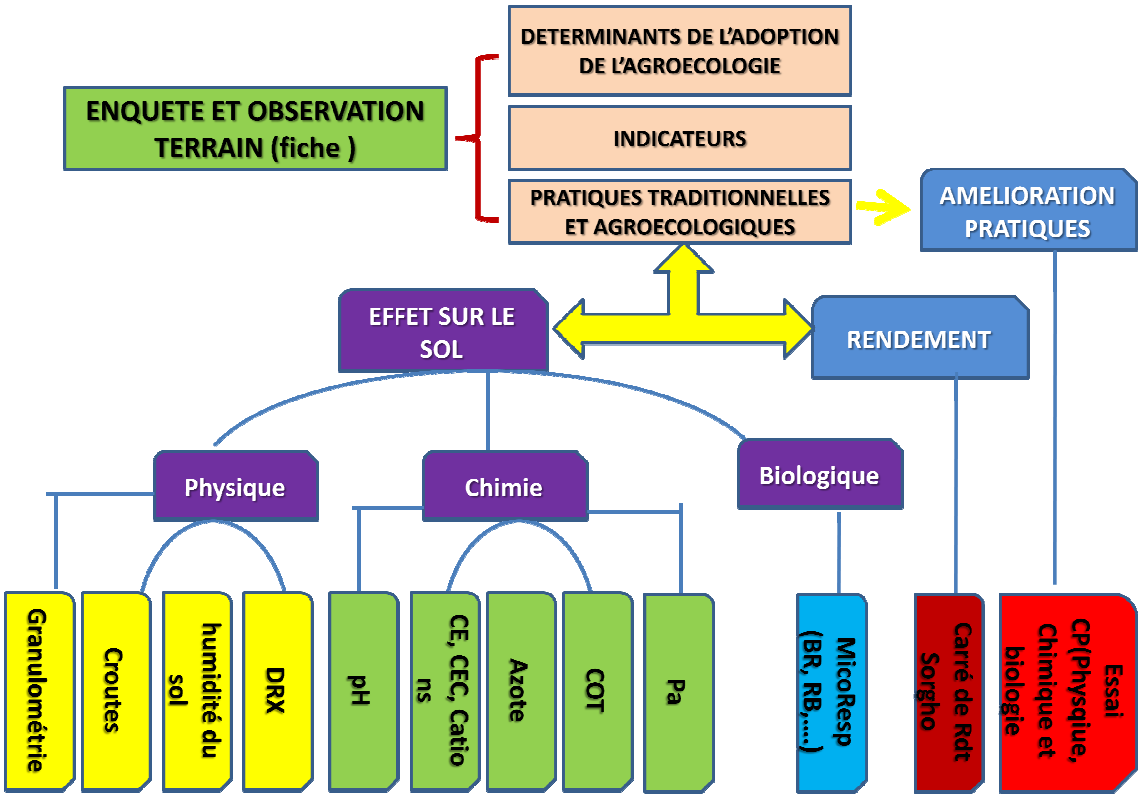


Figure 17: Synthèse des paramètres mesurés dans l'étude

4.6 Analyse statistique des données

Le tableur Excel 2003 a été utilisé pour la saisie des données avec comme avantage de permettre l'importation des données vers divers logiciels de traitement de données. Les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel SPSS 20 pour les données de l'enquête. Quant aux données des carrées de rendement le logiciel XLSTAT version 7.5.2 a été utilisé. Les tests de comparaisons multiples (ANOVA) ont été effectués grâce au test de Tukey au seuil de 5%. L'analyse économétrique (modèle Logit) ainsi que le teste de corrélation des variables ont été effectués par le logiciel STATA 11. L'analyse en composantes principales (ACP) utilisant une matrice de similarité a été utilisée pour la comparaison des groupes en fonction des traitements.

TROISIEME PARTIE: RESULTATS ET DISCUSSION

CHAPITRE V : RESULTATS

Les matériels et méthodes utilisés pour les analyses dans cette étude ont permis d'obtenir des résultats successifs sur :

5.1. Déterminants de l'adoption des pratiques agroécologiques;
5.2. Incidences des pratiques agroécologiques sur les caractéristiques physiques du sol
5.3. Incidences des pratiques agroécologiques sur les caractéristiques chimiques des sols
5.4. Influences des pratiques agroécologiques sur l'activité microbiologique des sols
5.5. Incidences des pratiques agroécologiques sur les rendements
5.6. Essai d'optimisation de la mise en place des cordons pierreux

5.1 Enquête agronomique et déterminants de l'adoption des pratiques agroéologiques

5.1.1 Qualité et perception paysanne des sols

Dans la zone de Sampieri (village de Sampieri et environnant) 98% des producteurs ont pour principale activité l'agriculture. Seulement 2% des producteurs rencontrés ont la production agricole comme activité secondaire. Ces producteurs sont pour la quasi-totalité engagés dans une agriculture de type familiale avec des petites superficies couvrant en moyenne de 2,37 hectares. Les spéculations couramment produites sont le sorgho, le maïs, le niébé et le mil avec cependant une montée en puissance de cultures de rentes telles que le sésame et plus rarement le coton.

Les sols sont jugés globalement « un peu fertile » (100%) par l'ensemble des producteurs rencontrés. En outre, l'état de dégradation de ces derniers semble être un phénomène inquiétant dans cette zone. En effet, au-delà du fait que 90% des producteurs jugent leurs terres agricoles dégradées et de fertilité insatisfaisante, le constant sur le terrain laisse apparaitre à certains endroits (surtout au niveau du glacis haut de pente) des sols complètement nus et improductifs lorsqu'il n'y a pas d'aménagements spécifiques. De plus la nature de ces sols laisse apparaitre un état d'instabilité naturelle augmentant leur susceptibilité à un encroutement superficiel visible sur le terrain dès la fin des pluies (Figure 18).

Figure 18 : Etat de surface des sols en haut et bas du mis glacis (Sampieri 2014, Auteur Coulibaly Aboubacar)

5.1.2 Pratiques traditionnelles de production

Dans cette section nous appellerons pratiques traditionnelles de production les pratiques des agricultures avant la promotion/apprentissage de l'agroécologie dans la zone par l'association Fiimba (intervenant à Sampieri) et d'autres acteurs. Bien entendu, certaines de ces pratiques ainsi que celles agroécologiques coexistent sur le terrain aussi bien chez les producteurs formés que ceux qui n'ont pas reçu la formation.

5.1.2.1 Travail du sol

La pratique traditionnelle de travail du sol la plus repandue était le grattage. Cette action qui consiste à remuer superficiellement la couche arable du sol avec la daba (constitué d'une manche en bois et une partie tranchante plate en fer) et la pioche était pratiquée par 64,6% des producteurs (Tableau 6). En plus de cette pratique environ 21% des producteurs passaient au semis sans action de travail du sol (zéro labour) spécifique. Les raisons avancées pour les pratiques courantes de grattage et de zéro labour sont essentiellement le manque de moyens pour moderniser les exploitations agricoles. A côté de ces deux pratiques assez repandues quelques agriculteurs (environ 15%) pratiquaient le labour (environ 15-20 cm de profondeur) à la charrue avec traction asine pour selon eux améliorer les rendements et faciliter les autres travaux champêtres.

Tableau 6 : Travail traditionnel du sol

Travail traditionnel du sol	Effectifs	Pourcentage
Labour à la charrue	7	14,6
Zéro labour	10	20,8
Grattage	31	64,6
Total	**48**	**100**

5.1.2.2 Fertilisation et associations culturales

Le fumier de parc (bovin, ovins et caprins essentiellement) est le principal produit utilisé par les producteurs pour améliorer la qualité de leurs sols. Près de 50 % des producteurs utilisent le fumier sans apport supplémentaire ni transformation. De plus environ 8,3% des producteurs complètent l'usage des résidus de récolte avec ce fumier. Cependant, il est important de signaler que 43,8% des producteurs exploitaient leurs parcelles sans apport organique (Tableau 7).

Quant à la fertilisation minérale elle est presque inexistante dans la zone de Sampieri. En effet, seulement 2% environ des producteurs ont recours aux engrais minéraux (NPK et urée) comme complément à la fertilisation organique.

Tableau 7 : Mode de fertilisation organique

Fertilisation organique	Effectifs	Pourcentage
Fumier	23	47,9
Fumier+résidus de culture	4	8,3
Aucune fertilisation	21	43,8
Total	**48**	**100**

La pratique des associations culturales semble être selon nos investigations des pratiques anciennes dans la zone. Il s'agit essentiellement des associations Sorgho/Mil et/ou Niébé. Ce sont des pratiques courantes et adoptées quasiment par la totalité des producteurs. Cela permettrait selon eux de diversifier mais aussi de palier aux risques potentiels en cas de difficulté durant la campagne de production.

5.1.2.3 Techniques de CES/DRS

Malgré l'état de fertilité/dégradation prononcé des sols agricoles, aucune mesure de conservation des eaux et des sols n'avait été adoptée par les producteurs.

5.1.3 Pratiques agroécologiques

Malgré les efforts déployés selon les producteurs, les résultats étaient en deçà des attentes. Les difficultés majeures rencontrées ces dernières années selon ces producteurs sont entre

autres la baisse de la pluviométrie et de la fertilité des sols. Ceci a nécessité des mesures correctives soit par les efforts des producteurs eux même soit par l'intervention d'acteurs divers pour la promotion de bonnes pratiques agricoles. L'enquête révèle qu'en plus de l'association Fiimba d'autres acteurs tels que l'association Tin Tua, la Sofitex, le projet Adel ont eu des actions ponctuelles et/ou sélectives à certains moments dans la zone. L'engouement des producteurs témoigne du besoin réel d'améliorer les pratiques. En effet, 60,4% des producteurs rencontré ont reçu une formation en agroécologie. Les autres producteurs rencontrés qui n'ont pas fait de formation soit par manque d'information ou de temps affirment constater la différence nette entre leur activité et celle des autres et semblent très intéressés par des sessions de formation.

5.1.3.1 Thèmes de formation

Divers thèmes sont abordés lors des sessions de formation au profit des producteurs. Il s'agit entre autres des thèmes suivants:

- effet du labour à la charrue,
- assolements,
- associations culturales,
- pratique de la jachère,
- cordons pierreux,
- zaï,
- semis direct,
- compostage,
- agroforesterie,
- etc.

5.1.3.2 Niveau d'adoption réel des pratiques

De nos investigations il ressort que 60,8% des producteurs rencontrés appliquent au moins un des thèmes enseignés lors des formations. Parmi ces producteurs il apparait qu'environ 13% n'ont reçu aucune formation. Il semble donc que l'effet tache d'huile a porté ses fruits car ces producteurs ont simplement bénéficié de l'expertise des autres producteurs qui les entourent et ayant fait la formation. En outre, 31,41% des producteurs rencontrés dont 11,76% ayant reçu la formation n'appliquent pas les thèmes agroécologiques tels que enseignés. Ceci par manque de moyens matériel et humain pour la plupart.

5.1.3.3 Pratiques adoptées

- ✓ **Le labour**

Les résultats montrent que 67 % des producteurs pratiquent à ce jour le labour à la charrue dans leur exploitation. Mais il faut noter que dans ce lot 29% pratiquaient déjà le labour avant la promotion de la pratique dans la zone.

Pour faciliter l'adoption de cette technique les producteurs ont bénéficié de l'accompagnement de l'association Fiimba après les séances de formation pour l'acquisition de la charrue et d'un âne. Ainsi, 60% des producteurs formés ont pu bénéficier de cet appui à hauteur de 86 000 FCFA remboursables en trois tranches.

- ✓ **Le compostage**

46% des producteurs se sont engagés dans la fabrication et l'utilisation du compost (Tableau 8).

Tableau 8 : Taux d'utilisation du compost dans les exploitations

Fertilisant	Effectifs	Pourcentage
Fumier	8	16,7
Compost	22	45,8
Aucune fertilisation/Résidus de culture	18	37,5
Total	**48**	**100,0**

Il consiste à creuser une fosse d'environ 3X3 mètres sur 1 mètre de profondeur (stabilisé ou non) et à le remplir graduellement avec les substrats suivants: paille/résidus de culture/déchets ménagers, déjection animale, centre (Figure 19). Il s'en suit un arrosage à chaque étape de remplissage et un retournement chaque 15 jours 4 fois au moins pour juger le compost mur. Les autres producteurs continuent d'utiliser du fumier et/ou les résidus de cultures sans transformation. Dans ce groupe de producteurs, environ 31 % ont tout de même reçu la formation mais pour des raisons citées plus haut ne se sont pas encore engagés dans la dynamique de la fabrication et l'usage du compost. En outre, malgré les normes enseignées (INERA 2015) en terme de dosage (5 tonnes/hectare tous les 2 ans) dans les parcelles force est de constater que les producteurs apportent le compost en fonction du disponible sur l'ensemble des parcelles sans calcul préalable. Il en résulte donc après investigation que les doses apportées fluctuent entre 1,5 et 6 tonnes à l'hectare selon les exploitations. Le compost est généralement déposé en tas sur les parcelles avant épandage pour la plupart aux mois de mai et juin. Les composts utilisés ont des teneurs moyennes en carbone et azote respectivement de 0,86% et 8,89%.

Figure 19 : Creusage, stabilisation et remplissage de la fosse à compost (Sampieri 2014, Auteur Coulibaly Aboubacar)

Tout comme dans le cas du labour les groupes de formation ont bénéficié de matériel pour faciliter la confection des fosses, la fabrication et le transport du compost au champ. Ces lots constitués d'une charrette, d'une brouette, de pelles, de pioches et fourches ont couté 200 000 FCFA remboursable en trois tranches.

- ✓ **Associations culturales**

Bien qu'enseignées comme pratiques agroécologiques les différentes associations culturales sont des pratiques courantes et ancestrales dans la zone. Il est difficile de ce fait de sillonner une exploitation dans la zone sans rencontrer des associations du type: sorgho/mil; sorgho/niébé; mil/niébé; sorgho/mil/niébé et plus rarement maïs/sorgho/niébé. Qu'à cela ne tienne, la perception paysanne de l'association qu'ils avaient à tout de même changé. En effet, considérées selon eux comme la tradition, ces associations sont aujourd'hui selon les mêmes un moyen de diversification des productions en lien avec les changements climatiques. De plus, ils affirment bénéficier des effets positifs des spéculations comme le niébé sur les céréales. Enfin, les associations culturales permettent de récolter quelque chose quel que soit les difficultés rencontrées au cours de la campagne selon eux.

- ✓ **Techniques de CES/DRS**

L'une des techniques les mieux adoptées dans la zone reste l'utilisation des cordons pierreux. En effet, 42% des producteurs ont mis en place dans leur exploitation ces cordons pierreux dans le souci de:

- éviter le transport des fertilisants par les eaux de ruissellement (selon 23%);

- freiner l'érosion hydrique en réduisant la vitesse de ruissellement des eaux de pluie (4%);
- récupérer des terres délaissées/improductives (2%) et
- régulariser la pente (4%).

Cette technique consiste simplement selon ces producteurs en un dressage des pierres selon les courbes de niveaux (Figure 20). Mais son usage est généralement complété par une fertilisation organique qui selon eux permet d'optimiser la technique.

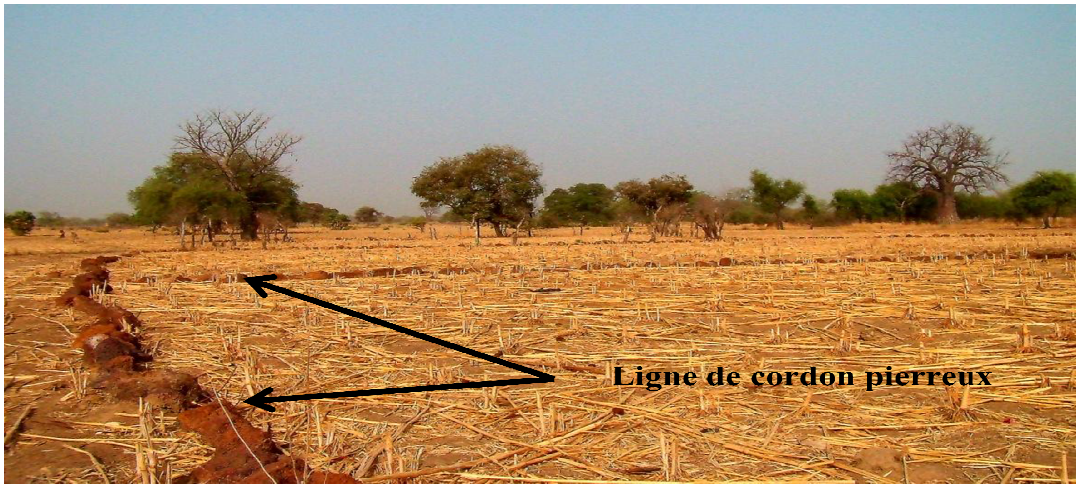


Figure 20 : Cordon pierreux (Sampieri 2014, Auteur Coulibaly Aboubacar)

Quant au zaï, il est adopté par seulement 10% des producteurs rencontrés. Il est pratiqué sur des parcelles nues (Zippelé) mais curieusement chez certains producteurs sur des parcelles ordinaires. Il consiste dans cette zone à creuser des trous de 20 cm de profondeur et 40 cm de diamètre avec un espacement entre les poquets d'environ 50 cm et à poser en aval du trou la terre excavée (Figure 21). Il permet ainsi d'optimiser la récupération des eaux de ruissèlement. A noter également que dans la zone il n'existe pas de parcelles de zaï isolé. Cette technique est systématiquement combinée chez les producteurs à la mise en place de cordons pierreux et l'utilisation du compost dans les trous. Mais à l'image des parcelles classiques les doses apportées ne sont pas uniformes.

Figure 21 : Mise en place de la parelle de Zaï (Sampieri 2014, Auteur Coulibaly Aboubacar)

5.1.3.4 Perception des producteurs sur l'impact de l'agroécologie

Cette question a été abordée avec les producteurs sous les aspects effet sur le sol et effet sur les rendements qu'ils ont constatés. L'effet des pratiques agroécologiques sur le sol est jugé bon à excellent par l'ensemble des acteurs qui les pratiquent. Pour pousser plus loin la réflexion il leur a été demandé comment ils apprécient cela réellement sur le sol. Les réponses paraissent assez floues mais la plupart tournent autour de l'état végétatif (Figure 22) et des rendements qui se seraient améliorés au fil du temps grâce à ces pratiques comparativement aux autres parcelles cultivées de façon traditionnelle et aux années précédant l'introduction des pratiques. Par rapport à la moyenne de la zone et des autres producteurs ceux qui pratiquent l'agroécologie jugent les rendements excellents.

Selon eux les rendements moyens pouvant atteindre 1,5 à 3 $t.ha^{-1}$ pour le sorgho (environ 0,8 $t.ha^{-1}$ en moyenne dans la zone); 2 $t.ha^{-1}$ pour le maïs (1$t.ha^{-1}$ maxi en production moyenne dans la zone); 0,8 $t.ha^{-1}$ pour le niébé (entre 0,4 et 0,5 $t.ha^{-1}$ en moyenne normale) et 0,7 $t.ha^{-1}$pour le sésame (0,6 $t.ha^{-1}$en moyenne normale) sont enregistrés (Tableau 9).

Tableau 9 : Estimations des effets des pratiques sur les rendements par les producteurs

	Rendements ($t.ha^{-1}$)	
Spéculation	Sans pratiques agroécologiques	Avec pratiques agroécologiques
sorgho	0,8	1,5 à 3
maïs	1	2
niébé	0,4 à 0,5	0,8
sésame	0,6	0,7

N=48

Figure 22: Vue d'une parcelle témoin (gauche) et une parcelle agroécologiques (droite) (Sampieri 2015, Auteur Coulibaly Aboubacar)

5.1.4 Facteurs affectant l'adoption des pratiques agroécologiques

Avant l'analyse économétrique proprement dite nous avons procédé à un test de corrélation pour vérifier le degré de ressemblance (colinéarité) des différentes variables avec le taux d'adoption des pratiques. Les résultats montrent une forte corrélation entre l'adoption des pratiques Y et les variables **MatTraSol, MatCompostage, FormaAgroeco, ImpactAgroecoSol** à tel enseigne que le modèle les assimile à Y (Tableau 10). On peut de ce fait affirmer que ces variables sont dans notre étude des conditions sine qua none de l'adoption d'au moins une pratique agroécologique.

Tableau 10 : Test de corrélation entre les variables et Y

	Y	Sexe	MatTraSol	MatCompostage	FormaAgroeco	ImpactAgroecoSol
Y	1.0000					
Sexe	0.2495	1.0000				
MatTraSol	**0.9560**	0.2335	1.0000			
MatCompostage	**0.9560**	0.2335	1.0000	1.0000		
FormaAgroeco	**0.7367**	-0.0899	0.7810	0.7810	1.0000	
ImpactAgroecoSol	**0.8625**	0.2665	0.9129	0.9129	0.6928	1.0000

Les résultats du modèle Logit (Tableau 11) montrent en outre que la plupart des variables examinées n'ont pas eu les effets escomptés. Seule la variable NiveauEduc avec sa sous composante Aucun=Illettré l'affecte négativement et de façon significative à 5%. Les autres variables notamment l'âge, le nombre d'actifs, NbreBovins, NbrePETRUMIN et la Superficie n'ont pas eu d'effet sur l'adoption des pratiques agroécologiques.

Tableau 11: Résultat de l'analyse économétrique de l'adoption des pratiques agroécologiques dans l'Est du Burkina (Coefficients de régression)

Variables	Coefficient de régression
âge	0.0312039
Aucun (illettré)	-2.368065*
Actifs	0.1011208
NbreBovins	-.0490591
NbrePETRUMIN	-.0285506
Superficie	0.4752546

Source : Enquête 2015

*: Significatif à 5%

5.1.5 Déterminants de l'adoption des pratiques à Sampieri

Il ressort donc de nos analyses notamment du test de corrélation, du modèle logit et d'un recoupage fait suite aux échanges avec les producteurs rencontrés que certains facteurs semblent être les déterminants pour qu'un producteur s'implique ou non dans l'agroécologie à Sampieri (Figure 23). Il s'agit principalement de:

- ✓ l'optique d'amélioration future des rendements des cultures;
- ✓ la volonté d'augmenter les revenus;
- ✓ la participation ou non à une formation en agroécologie;
- ✓ la facilité/pénibilité de la mise en œuvre de la technologie;
- ✓ la disposition/possession de moyens matériels et humains.

Ces facteurs sont certes revenus à travers ces différents canaux d'analyses mais aucune hiérarchisation n'a été établie entre ces facteurs.

Au-delà de ces facteurs il faut reconnaitre que pour ces producteurs un certain nombre de difficultés peuvent freiner l'adoption des pratiques agroécologiques. Et à la question de savoir ce qui peut freiner l'adoption des pratiques agroécologiques l'ensemble des acteurs affirme que ce sont:

- ✓ la pénibilité du travail combiné;
- ✓ le manque de soutien matériel et la main d'œuvre;
- ✓ le manque de formation et/ou recyclage des différents acteurs.

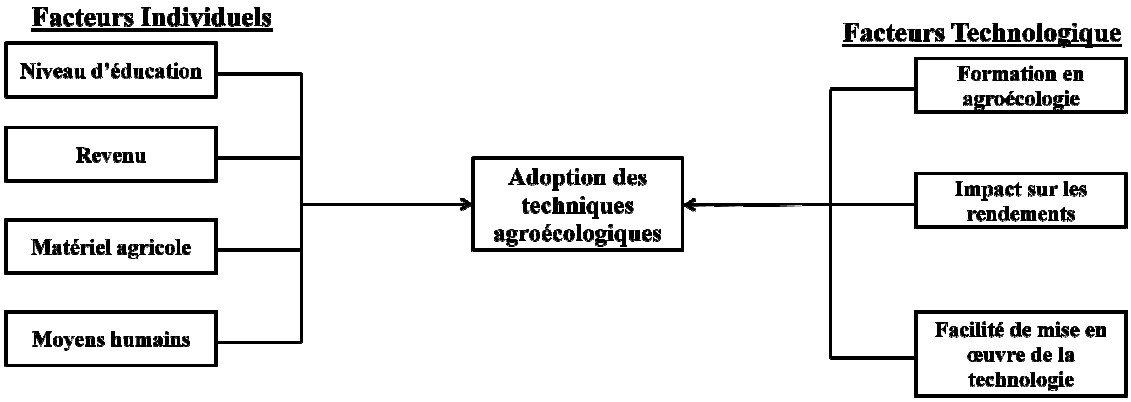


Figure 23 : Modèle théorique des déterminants de l'adoption des pratiques agroécologiques

5.1.6 Indicateurs de fertilité des sols en milieu paysan

5.1.6.1 Évolution des indicateurs utilisés dans le temps

Pour les producteurs, l'appréciation de la fertilité du sol se fait selon des indices à des périodes bien précises du cycle de production. Le suivi de ces indicateurs permet de témoigner de leur importance dans la gestion de l'exploitation agricole. On peut observer ainsi (Tableau 12) qu'un indicateur n'a de sens qu'a une période donnée voulue et jugée par les producteurs. Selon que l'on passe de la préparation du sol aux différentes phases du cycle cultural un même indicateur passe ainsi par divers niveaux d'appréciation de la part d'un même producteur.

Tableau 12 : Taux de référence aux indicateurs en fonction du temps de production

% de référence	Préparation du sol	levée	Phase de croissance	Récolte
Taux de levée	0%	100%	0%	0%
État des plantes à la levée	0%	96%	0%	0%
Taille des plants	0%	22%	98%	63%
Croissance des plantes	0%	7%	16%	24%
Couleurs des tiges et des feuilles	0%	12%	100%	96%
Largeur des tiges et feuilles	0%	11%	79%	86%
Production	0%	0%	0%	100%
Rendement des cultures	0%	0%	0%	30%
Taille des épis	0%	0%	0%	90%
Couleur du sol	65%	0%	0%	0%
Etat de surface du sol	95%	0%	0%	0%
Présence termites /termitière	45%	0%	0%	0%
Présence vers de terre	11%	0%	0%	0%
Présence d'adventices	90%	72%	48%	36%
Trace d'érosion	75%	6%	12%	45%

5.1.6.2 Description de quelques indicateurs

5.1.6.2.1 Indicateurs liés au sol

La couleur, la texture et la structure représentent pour le paysan des éléments indispensables pour l'évaluation de la qualité des sols qu'il cultive.

5.1.6.2.1.1 Couleur

La couleur de l'horizon de surface est d'un intérêt capital pour les paysans dans leur jugement de l'état de fertilité des sols surtout en début de campagne (au moment du choix de la parcelle et du travail du sol). Ainsi, un sol de teinte noir ou noir foncé sera jugé riche en matière organique.

5.1.6.2.1.2. Texture et structure

Un sol à dominance sableuse est très souvent cité par les paysans comme très peu fertile. Pour ces derniers ce type de sol a une faible capacité de rétention en eau et est plus exposé aux phénomènes d'érosion. En guise d'exemple un paysan dit qu'un sol sableux est indiqué pour la production d'arachide ou de voandzou plutôt que les céréales. A l'opposé, un sol à dominance argileuse s'inonde vite selon les paysans. Pour eux un sol avec un peu de sable et d'argile (sablo-argileux) serait beaucoup plus intéressant car retient plus d'eau et longtemps après les pluies pour l'alimentation des plantes. Il convient de noter également que la représentation des producteurs de la fraction limoneuse des sols n'est pas un facteur pris en compte.

5.1.6.2.2 Indicateurs liés aux plantes

5.1.6.2.2.1 Levée des plantules

Les techniciens parleront plus couramment de taux de levée des plantules, mais pour les paysans de la zone de Sampieri cet indicateur témoigne de l'état de fertilité des sols dans un premier temps mais aussi de la qualité des semences dans un second temps.

On a souvent entendu lors des investigations que « sur cette parcelle toutes les graines semé ont germé alors que sur l'autre il a fallu faire plusieurs resemis». Il est donc clair qu'au-delà de l'aspect qualité des semences mis en avant par la recherche et les techniciens, les paysans associent aux problèmes de levée la question de la qualité du sol.

5.1.6.2.2.2 Etat du développement des plantes

Après la levée, les producteurs observent et jugent la qualité et l'état de fertilité du sol par les éléments suivant : taille et vitesse de croissance des plants, couleurs des tiges et des feuilles et

la largeur des tiges et feuilles. Ainsi, sur une même parcelle un producteur dira que cette partie est plus fertile que l'autre partie selon que les feuilles sont de couleur vert-foncé voire noire ou jaunâtre. Le premier indiquant que la parcelle est riche et fertile tandis que le second cas témoignerait d'une pauvreté en éléments minéraux essentiel pour la bonne croissance.

5.1.6.2.2.3 Production

La production et les facteurs qui l'accompagnent à savoir la taille des épis, les rendements sont des facteurs déterminants du jugement de fertilité des sols par les producteurs. Les paysans jugent l'état du sol également par le nombre de charretiers qu'ils obtiennent par unité de surface. Cela leur permet de juge de la fertilité des différentes parcelles pour les campagnes à venir et des corrections à apporter.

5.2 Incidences des pratiques agroécologiques sur les caractéristiques physiques du sol

5.2.1 Granulométrie

L'analyse granulométrique montre que nos sols sont dominés par les fractions sableuses et limoneuse avec tout de même quelques échantillons où les trois fractions (argile, sables et limons sont bien représentés. L'utilisation des triangles texturaux classiques (Richer de Forge *et al.,* 2007)confirme bien les textures sablo-limoneuses et sable-limon-argileux(Figure 24). Ces résultats montrent que dans l'ensemble les sols sont pauvres en argiles. En effet des teneurs assez faibles sont observées sur l'ensemble de nos sols avec une teneur maximale d'environ 9% (Tableau 12).

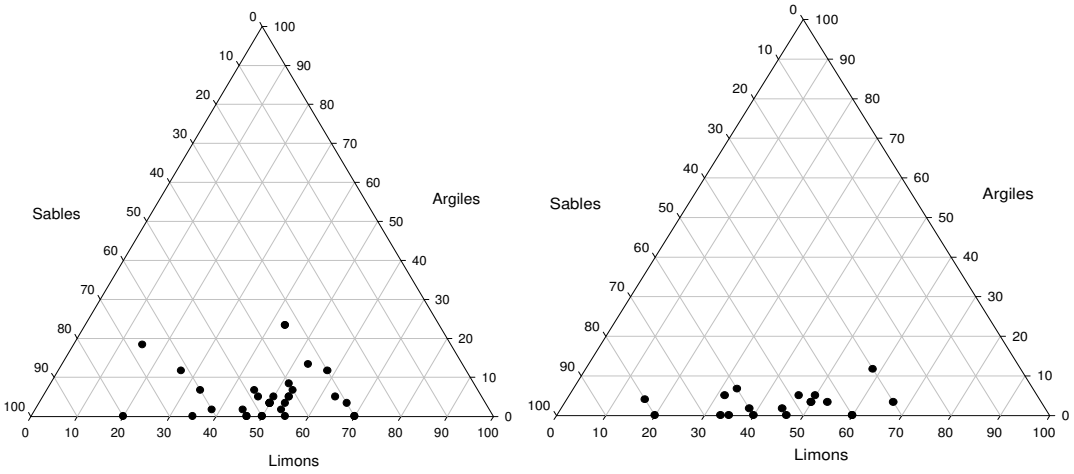


Figure 24 : Granulométrie des couches de 0-10 cm (gauche) et de 10-20 cm (droite)

En outre, les teneurs en éléments fins (0-50µm) varient de 29,4 % pour le témoin à 60,6% pour le traitement CP+C pour la couche 0-10 cm. Dans cette même couche, en tenant compte des traitements on constate que les teneurs en éléments fins des traitements Z+CP+C, CP+C et VN sont supérieures à celles du témoin. Pour la couche 10-20 cm la teneur varie de 30 %pour le témoin à 65,6%. Pour ces deux traitements les teneurs augmentent par rapport à la couche 0-10 cm contrairement aux traitements Z+CP+C et VN ou on constate une baisse. On note tout de même des différences significatives entre les traitements au seuil de 5% et variant en fonction des couches et des prélèvements (Tableau 13).

Les teneurs en argile sont relativement faibles et varient entre 3 et 9 environ pour la couche 0-10 cm et entre 4 et 13% environ pour la couche 10-10 cm (Tableau 13). A l'exception du traitement Z+CP+C la teneur en argile des autres traitements avec la profondeur. Quelle que soit la couche la valeur du traitement TA reste faible par rapport aux autres traitements. On observe en outre des différences significatives entre les traitements au seuil de 5% sur les 2 couches.

Tableau 13 : Fractions granulométriques des sols

Traitements	Eléments fin (≤2 mm)		Eléments fin]2-50[µm		Argiles (%)	
	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm
CP+C	92 a	82,5 a	60,6 a	65,6 a	5,2 b	11,4 a
TA	70,2 b	81,2 a	29,4 b	30 c	3,4 c	4 b
Z+CP+C	89,7 a	88,6 a	58,3 a	47,2 bc	8,7 a	5,4 b
VN	74,6 b	63,4 b	51,7 a	50 ab	7,2 a	12,7 a

CP+C : Cordons Pierreux+Compost ; Z+CP+C : Zai+Cordons Pierreux+Compost ; VN : végétation naturelle

5.2.2 Types d'argiles du sol

Les déterminations diffractométriques aux rayons X (DRX) de la fraction argileuse de nos sols montrent la présence de phases de kaolinite, d'illite et de smectite dans tous nos échantillons quelque soit le traitement appliqué. En effet, on note sur l'ensemble de nos échantillons traité une réflexion à 2 θ=12,3 ° (d= 0,72 nm =7,2 Å) caractéristique de la présence de la phase kaolinite (Figure 2,3 et 4) dans la zone. Ils présentent également tous une raie à 2θ = 8,8° (d=1nm= 10 Å) et souvent à 2θ=5,9° (soit d = environ 1,5nm= 15 Å) caractéristique respectivement de la présence de la phase illite et smectite (Figure 25, 26 et 27).

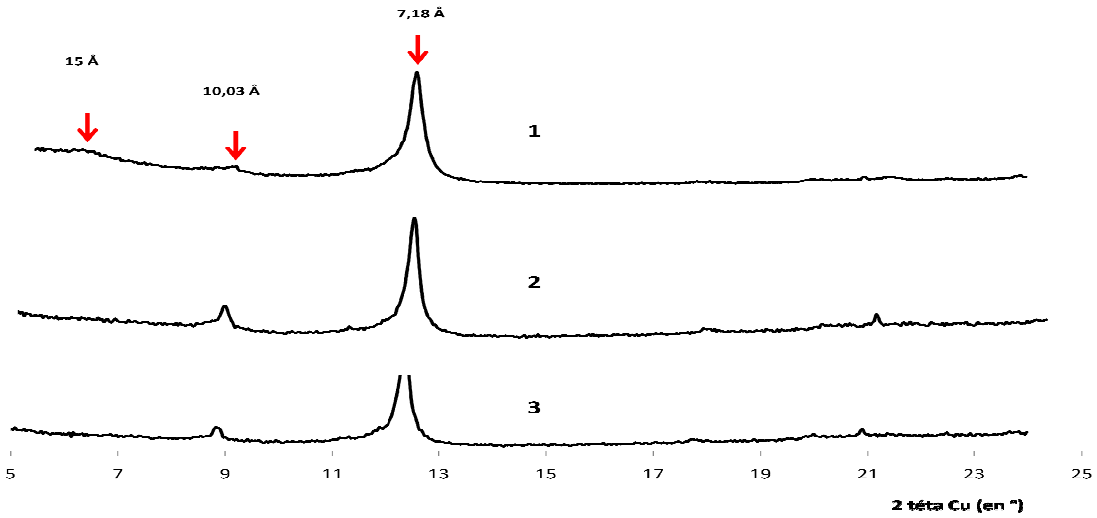


Figure 25: Diffactogrammes des différents traitements1: Z+CP+C; 2 : Témoin ; 3 : CP+C (couche 0-10 cm)

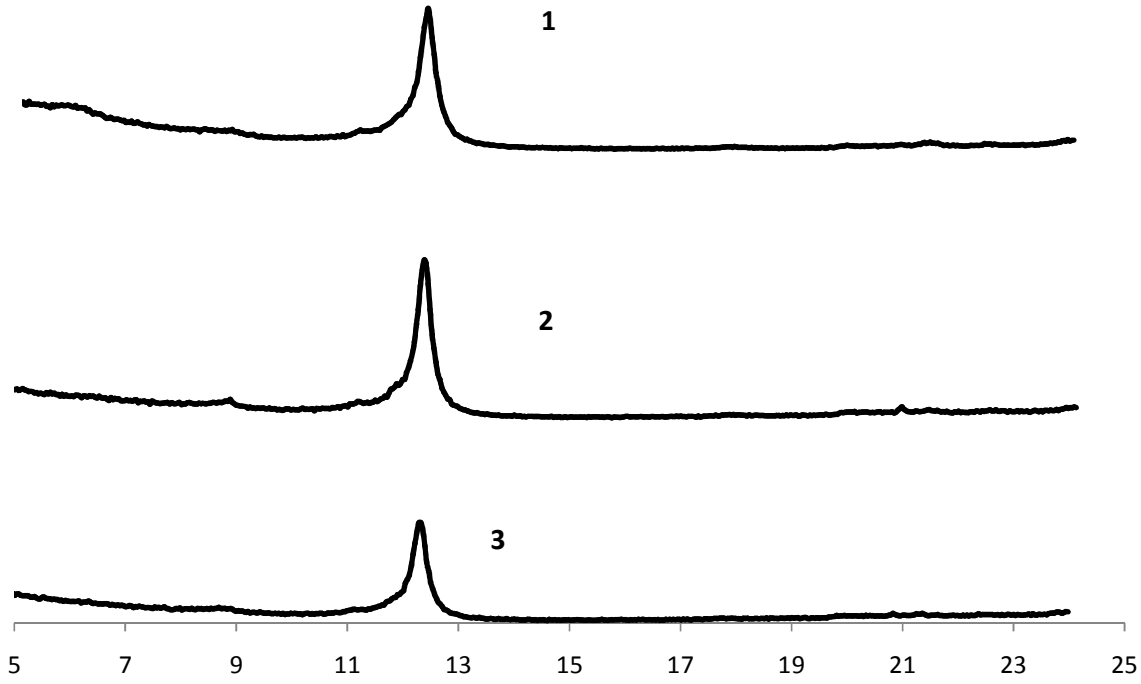


Figure 26: Diffractogrammes des différents traitements 1: Z+CP+C; 2 : Témoin ; 3 : CP+C (couche 10-20 cm).

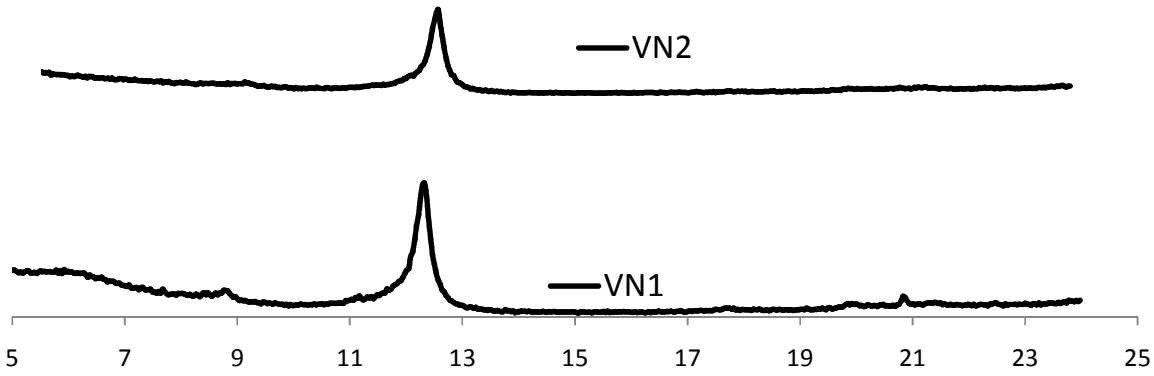


Figure 27 : Diffractogrammes de 2 échantillons VN1 et VN2 du traitement végétation Naturelle (couche 0-10 cm)

Pour confirmer les différentes observations effectuées au DRX pour présence de la kaolinite et de l'illite un échantillon (VN1) a été chauffé à 480°C pendant 2h, puis à 510°C pendant 2h. La réflexion à 12,3°2téta (d=0,72 nm), caractéristique de la phase kaolinite disparait à 510°C (Figure 28). Ceci est bien en accord avec le comportement thermique d'un kaolin. Aussi, la réflexion à 2téta = 8,8° (d=1nm) est insensible au gonflement et au traitement thermique. Elle indique la présence d'une phase type illite dans tous les échantillons. En outre, le traitement à l'éthylène glycol a été appliqué aux échantillons présentant une raie caractéristique d'une phase smectite (échantillons VN1, BF 102 360 et BF 102 361). Pour ces échantillons le déplacement de la réflexion à 5,9° en 2téta (soit d = environ 1,5nm) vers 5,2° 2téta (environ 1,7 nm) confirme la présence de smectite suite au gonflement des feuillets de ce type d'argile Figure 28).

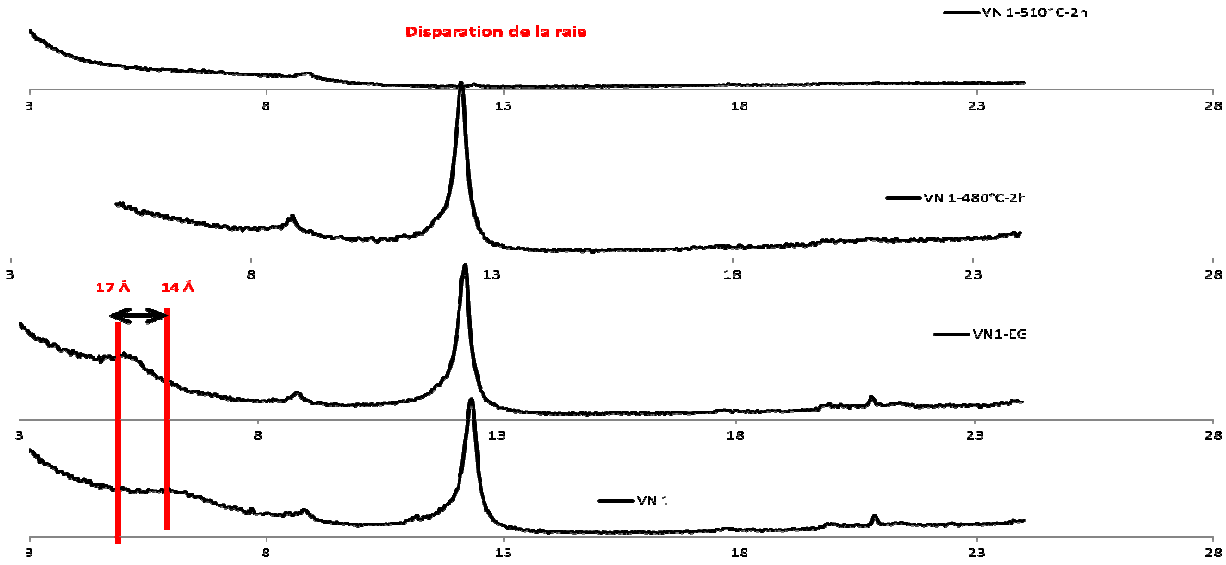


Figure 28 : Evolution des réflexions en fonction des traitements dans le cas de l'échantillon VN1

L'analyse de ces différents graphes montre qu'il y'a très peu de différence entre nos différents traitements à l'exception de la phase smectite qui apparait mais très faiblement au niveau de 2 parcelles Z+CP+C et de VN1 (voisine sur le terrain) et confrontée à l'apparition de zippelé à certains endroits.

5.2.3 Description des croûtes

5.2.3.1 Description macro et micromorphologique des échantillons

5.2.3.1.1 Végétation naturelle

Sur le plan macromorphologique, on observe pour ce traitement que l'échantillon de croûtes typique de ces milieux est de type microbiotique. Elle est caractérisée par une coloration noirâtre. De plus elle se débite en coin et il est quasiment impossible d'obtenir de petits morceaux plats pour les observations.

Sur le plan micromorphologique, on peut observer une purée de petits grains (5-10 µm) recouvrant les gros grains (100µm). Elle se caractérise en outre par la présence de filaments organiques denses. Ce réseau peut soit être superficiel soit s'étendre sur plusieurs niveau en profondeur. L'une des principales caractéristiques de ces réseaux et qu'il permet de former une porosité secondaire qui peut être très importante. Les filaments permettent un effet des filets pour les plus petits grains et la sécrétion d'EPS permet un effet de glue. On a également un emballage des grains de surface actuelle par la matière organique créant un effet surface

actuelle mais surtout surface antérieure (Figure 29). De plus, on note au niveau de la VN plusieurs générations de biofilms (éliminés par l'activité agricole dans les autres échantillons).

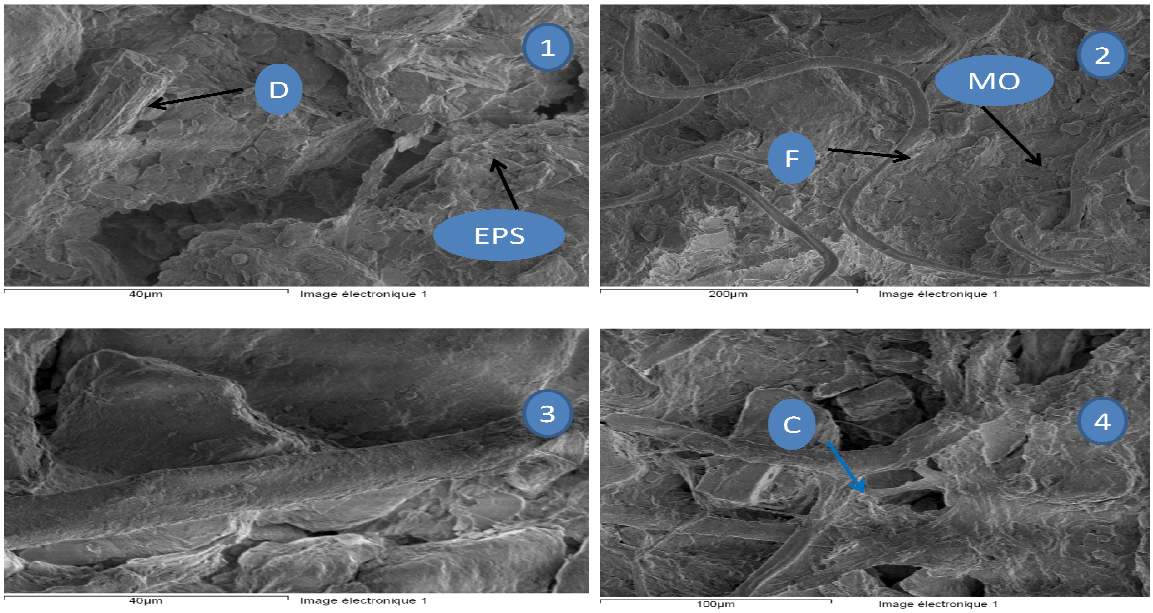


Figure 29 : Micrographies au cryo-microscope électronique à balayage à émission de champ de la surface de la croûte microbiotique de Sampieri sur parcelle Témoin naturel (1-4 X 1300/250/1300/450). F: filaments; MO: matière organique D: diatomées ; EPS : permettent de fixer les grains les plus grossiers, C: cavités formées par l'agencement des grains et le recouvrement de matière organique.

5.2.3.1.2 Traitement Z+CP+C

Sur le plan macromorphologique, on observe pour le traitement Z+CP+C également, la présence de croutes microbiotiques. Globalement on peut noter dans la zone des gros grains nus entre 30-50µm et des grains fins à glacis.

Sur le plan micromorphologique, on peut observer des filaments épais recouverts de grains fins. Ces filaments sont assez diversifiés mais le diamètre dominant est entre 20-25µm. On note également la présence de diatomées sphériques de 30 à 40µm. Les filaments permettent un effet de filets pour les plus petits grains et la sécrétion d'exopolysaccharides (EPS) permet un effet de glue. On a également un emballage des grains de surface actuelle par la matière organique. Une porosité supplémentaire est ainsi créée par les réseaux tridimensionnels de filaments (Figure 30). On note également la présence abondante de grains fins par rapport aux autres échantillons.

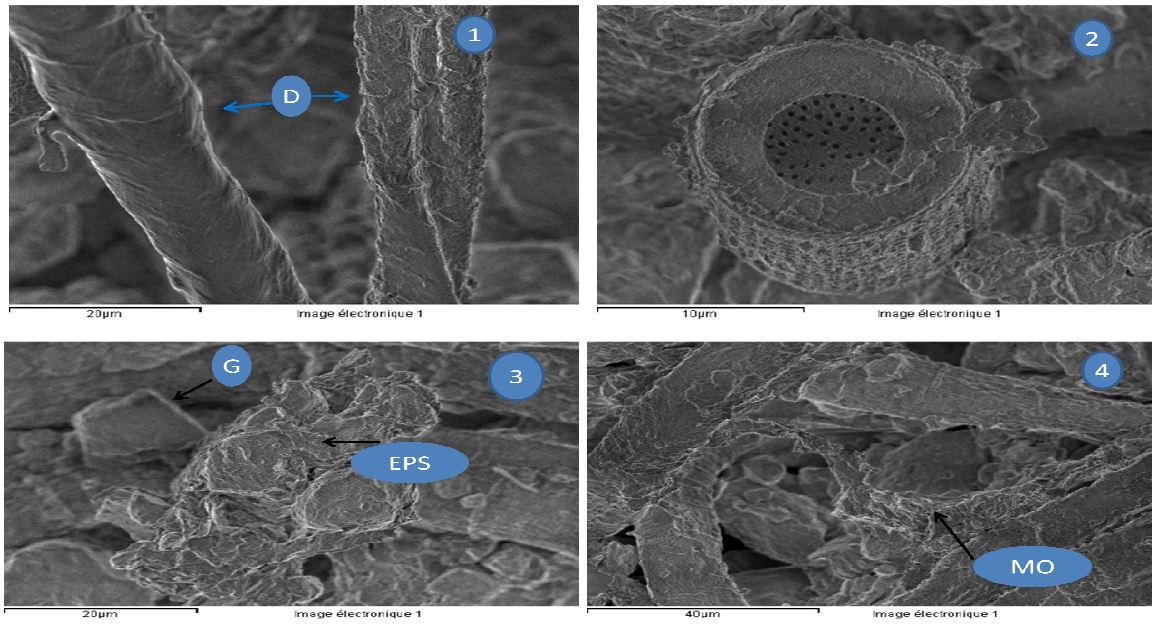


Figure 30 : Micrographies au cryo-microscope électronique à balayage à émission de champ de la surface de la croûte microbiotique de Sampieri sur parcelle Z+CP+C (1-4 X 180/4000/1800/1100). MO: matière organique D: diatomées; EPS: exopolysaccharides permettant de fixer les grains les plus grossiers.

5.2.3.1.3 Traitement CP+C

Sur le plan macromorphologique, on observe pour le traitement CP+C la présence de croûtes microbiotiques. Globalement on peut noter la présence de grains de petites tailles (quelques µm) et des grains plus grossiers allant de 50 à 150 µm.

Sur le plan micromorphologique, on observe des filaments sous-jacents aux grains apparaissant dans les vides. Les grains sont enrobés par la matière organique. Parfois cette matière organique est entremêlée à l'argile (complexe argilo-humique).On note également la présence de diatomées sphériques de 30 à 40µm (Figure 31).

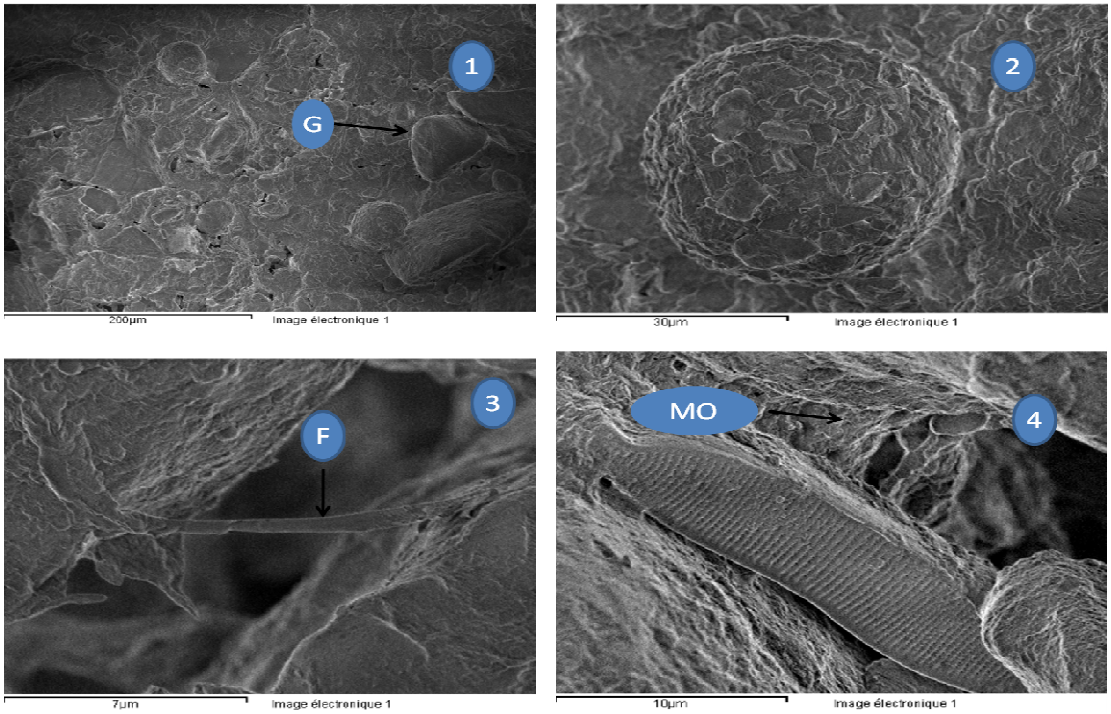


Figure 31 : Micrographies au cry-microscope électronique à balayage à émission de champ de la surface de la croûte microbiotique de Sampieri sur parcelle CP+C (1-4 X 250/1500/7000/4500).G: grain grossiers; F: filaments; MO: matière organique

5.2.3.1.4 Témoin absolu

A la différence des autres traitements on observe pour le témoin absolu correspondant aux cultures traditionnelles la présence de croûtes structurales avec une pellicule superficielle prélevée sur les nodules du sol. On note la présence de gros grains nus (jusqu'à 150µm) ou recouverts de particules fines, des moyens grains autour de 10 µm et peu de petits grains.

Sur le plan micromorphologique, on observe quelques restes de bio (sphère, diatomée ou de racines) (Figure 32). Sur cet échantillon on observe peu de matière organique de façon générale et pas de présence de biofilm.

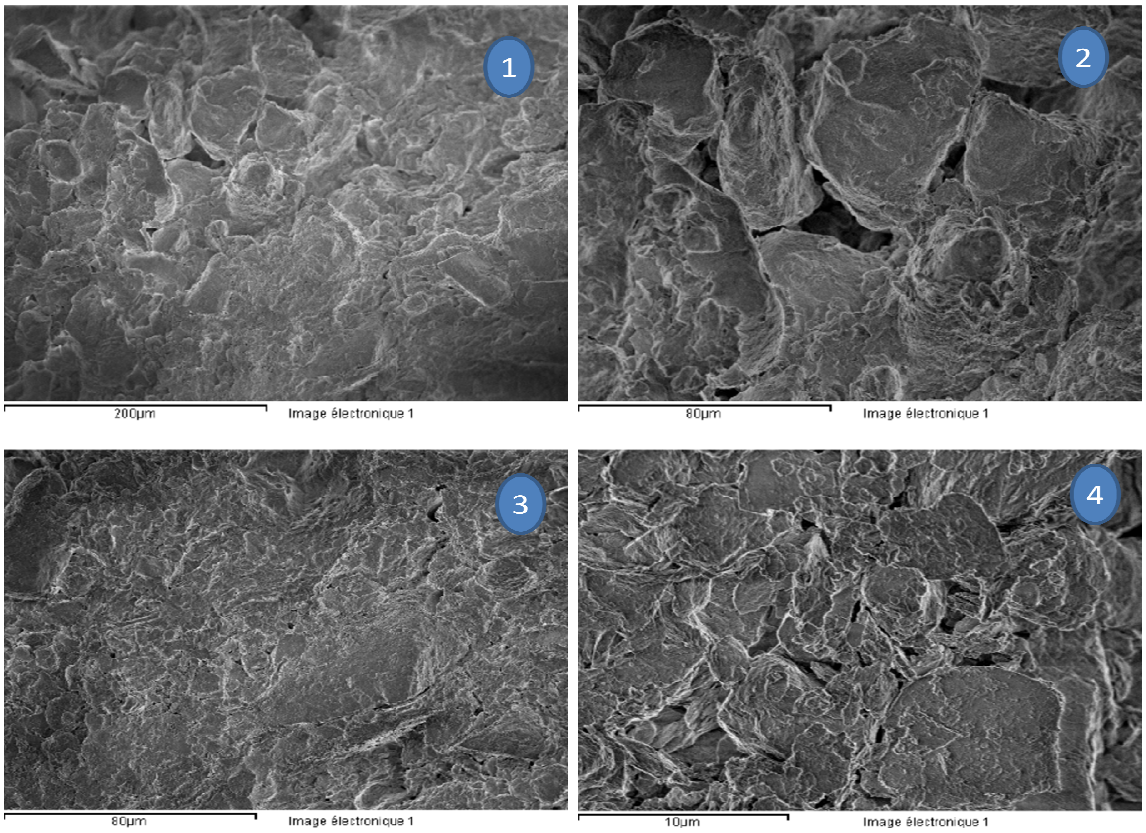


Figure 32: Micrographies au cryo-microscope électronique à balayage à émission de champ de la surface de la croûte sur parcelle Témoin absolu (1-4 X 250/600/600/4000).

5.2.3.2 Résultats de l'analyses à la microsonde électronique EDS

Les éléments dominants tels que Si, Al et C apparaissent en proportion différentes dans les spectres observés dans les croûtes des différents traitements. On note également la présence de Fe, Mg, K et Na pour certains traitements. La réalisation de ces analyses permet nettement de distinguer les grains de quartz qui présentent une signature typique en Si et O. Le pic plus ou moins important de C permet d'identifier clairement la pellicule de matière organique. La fraction fine présente des spectres dans lesquels l'élément est toujours associé à Si et Al indiquant probablement la présence du complexe argilo-humique. Tous nos traitements présentent en général ces spectres mais dans des proportions différentes. On note ainsi Si et Al en proportion importante pour tous les traitements. Par contre le spectre de C est plus marqué pour les traitements VN (Figure 33), Z+CP+C et CP+C (Figure 34) contrairement au traitement TA (Figure 35).

En outre, on a l'apparition du spectre Fe et K dans les traitements VN, Z+CP+C et CP+C. Pour le traitement VN on note en plus les spectres Mg et Na (Figure 34).

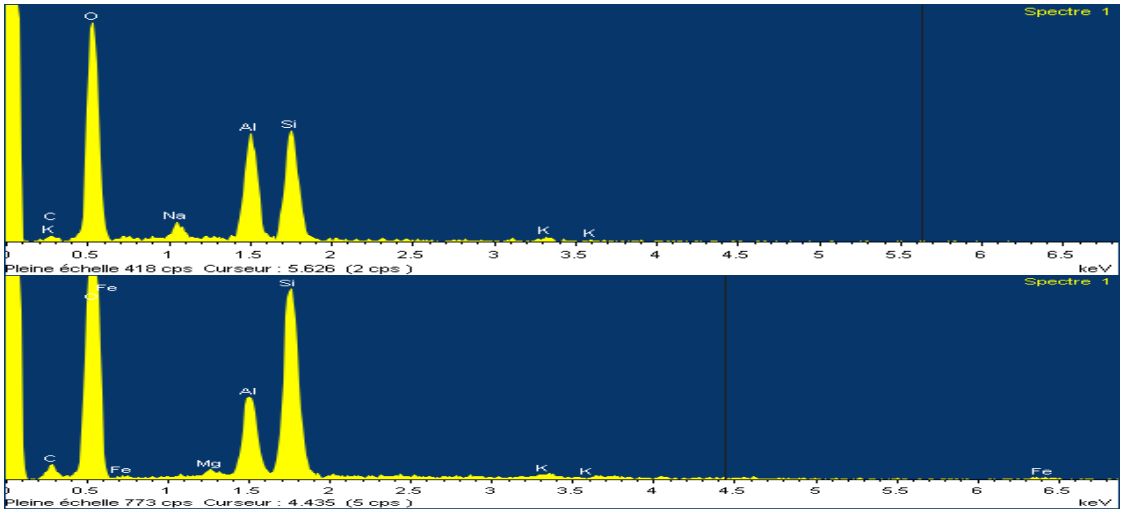


Figure 33: Spectres de VN présentant les éléments C, Al, O, Si, K, Fe, Mg, Na.

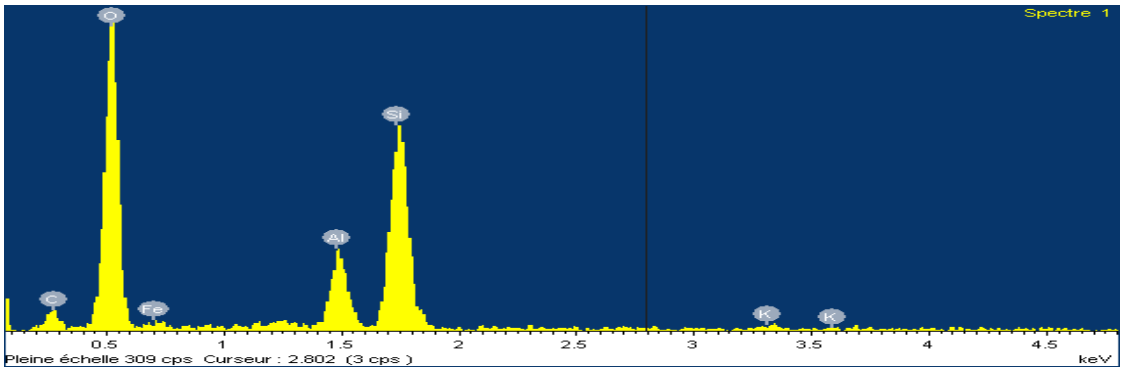


Figure 34: Spectres des traitements agroécologiques (CP+C et Z+CP+ C) présentant les éléments C, Al, O, Si, K, Fe.

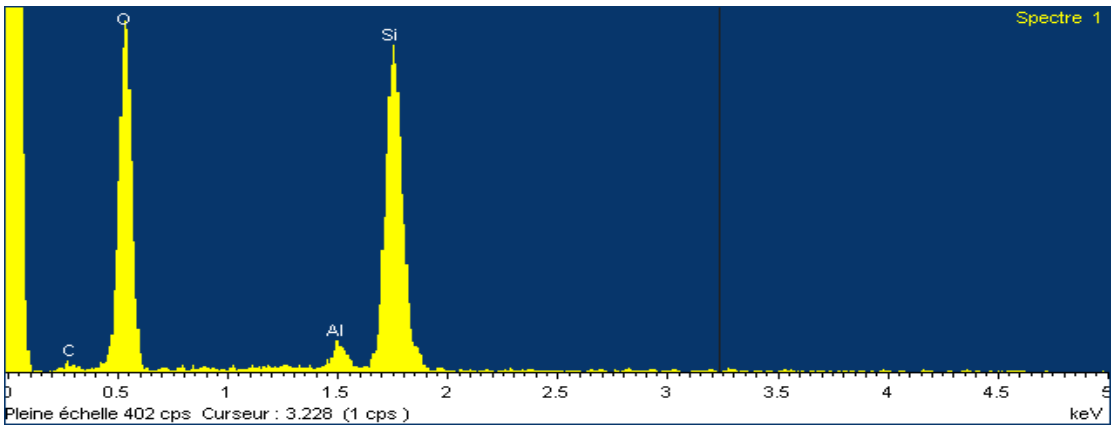


Figure 35: Spectres du témoin absolu (TA) présentant les éléments C, Al, O, Si.

5.2.4 Variation du taux d'humidité des sols

Ce test réalisé par des mesures directes sur le terrain montre des différences importantes entre la saison sèche et la saison humide. En effet l'analyse des graphes d'humidité en fonction de la profondeur (Figure 36) des relevés en saison sèche montre une variation du taux d'humidité allant de 0,65 à 28,02 % (V/V). On observe en outre que la VN enregistre un taux plus élevé que les autres traitements quelle que soit la profondeur. Aussi les traitements Z+CP+C et CP+C ont un taux d'humidité plus élevé que celui du témoin de la surface du sol jusqu'à la profondeur 0,7 m à partir de laquelle le taux d'humidité est quasi similaire pour ces trois traitements.

En revanche en saison humide on observe un relèvement du taux d'humidité qui évolue de 1,55 à 31,75%. Le traitement Z+CP+C reste supérieur aux autres traitements jusqu'à environ 40 cm de profondeur où elle passe ensuite en dessous de VN. Les autres traitements CP+C et TA restent faible par rapport aux 2 traitements cités précédemment à partir de 20 cm. De 0 à 20 cm on observe que les traitements CP+C et VN sont presque identiques. Le témoin absolu reste faible par rapport aux autres traitements.

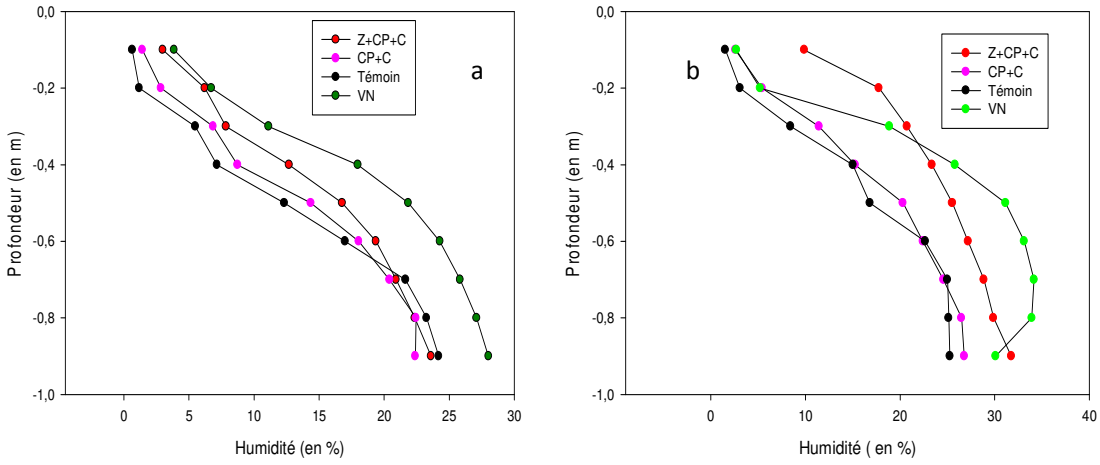


Figure 36 : Humidité du sol en saisons sèche (a) et humide (b)

5.3 Incidences des pratiques agroécologiques sur les caractéristiques chimiques des sols

5.3.1 Variation du pH

Au niveau de la couche 0-10 cm le pH de nos parcelles varie entre 5,56 pour le témoin absolu à 6,62 pour la végétation naturelle. En moyenne on a des sols légèrement acides avec un pH tendant vers la neutralité. Les pH des traitements Z+CP+C (6,31) et CP+C (6,27) sont tout de même supérieurs à celui du témoin. Pour ce qui est de la couche 10-20 cm la même tendance est observée avec les traitements Z+CP+C, CP+C et VN supérieur à TA. Cependant le pH de l'ensemble des traitements tend à augmenter avec la profondeur et on note des valeurs supérieures à 7 pour certains traitements (Tableau 14). L'analyse de variance ne montre aucune différence significative entre les traitements au seuil de 5% quelque soit l'horizon de prélèvement entre 0 et 20 cm.

Quant au pH_{KCl} il varie de 5,17 pour le témoin à 6,01 pour le traitement CP+C. Toutefois tous les traitements Z+CP+C, CP+C et VN enregistrent des valeurs de pH supérieures à celui du témoin absolu avec la même tendance évolutive que le pH avec la profondeur. Toutefois comme dans le cas du pH il n'existe aucune différence statistique entre les traitements quel que soit l'horizon (Tableau 14).

5.3.2 Conductivité électrique

La conductivité électrique qui traduit la capacité d'une solution aqueuse à conduire le courant électrique est directement proportionnelle à la quantité de solides (les sels minéraux) dissous dans l'eau. La conductivité électrique de la solution du sol (CEss), rapportée à une température standard (en général 25 °C) et exprimée en déciSiemens par mètre (dS. M^{-1}), ou en microSiemens par centimètre (µS/cm) est d'autant plus élevée que la concentration ionique de l'électrolyte l'est aussi.

En ce qui concerne nos analyses, on note des valeurs de 783,30µS/cm pour CP+C ; 744,07 µS/cm Z+CP+C ; 233,03µS/cm pour VN et 292,99µS/cm pour le témoin absolu pour l'horizon 0-10 cm (Tableau 14). Il ressort donc les traitements agroécologiques présentent des valeurs bien supérieures à celles du TA qui sont elles aussi supérieures à celles de VN. On note aussi pour cette couche des différences significatives entre les traitements agroécologiques et les autres traitements.

Pour la couche 10-20 cm on note une légère augmentation de la CE du traitement VN (386,59µS/cm) par rapport à la couche 0-10 cm.

Cette valeur est la plus élevée par rapport aux autres traitements pour cette couche (Tableau 14). On note en effet, 225,61µS/cm pour Z+CP+C, 184,52µS/cm pour CP+C et 161,25 µS/cm pour TA. On peut noter donc une baisse de la CE pour la plupart des traitements avec la profondeur à l'exception du traitement VN. Il est en outre relevé des différences significatives entre les traitements au seuil de 5% sur les deux couches.

Tableau 14 : pH; pH-$_{KCl}$ et l'acidité potentielle conductivité électrique des sols (n=3)

Traitements	pH		pH-KCl		CE (µS/cm)	
	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm
CP+C	6,27 a	6,80 a	6,01 a	6,21 a	783,30 a	184,52 c
TA	5,56 a	6,35 a	5,17 a	5,89 a	292,99 b	161,25 c
Z+CP+C	6,31 a	7,20 a	5,63 a	6,30 a	744,07 a	225,61 b
VN	6,62 a	7,07 a	5,91 a	6,40 a	233,03 c	386,59 a

5.3.3 Teneurs en azote total et en carbone organique

5.3.3.1 Teneur en carbone organique

Les teneurs en carbone varient selon le mode de gestion des sols et la profondeur de prélèvement (Figure 37). Pour la couche 0-10 cm, on observe une différenciation des traitements selon l'ordre décroissant suivant: Z+CP+C (7,30 mg/g), CP+C (6,83 mg/g), VN (5,97 mg/g), TA (4,03mg/g). Pour ce qui est de la couche 10-20 cm on note les valeurs de 4,43mg/g; 5mg/g; 5,3mg/g et 6,33mg/g respectivement pour TA, CP+C, Z+CP+C et VN. On note donc une légère augmentation de la teneur en carbone pour les traitements VN et TA par rapport à la couche 0-10 cm contrairement aux traitements agroécologiques ou une baisse est constatée (Figure 38).

L'analyse de variance montre en outre qu'il y'a des différences significative entre les différents traitements au seuil de 5% pour les horizons 0-10 cm (Tableau 15). En outre il n'ya pas de différence significative entre les traitements sur la couche 10-20 cm.

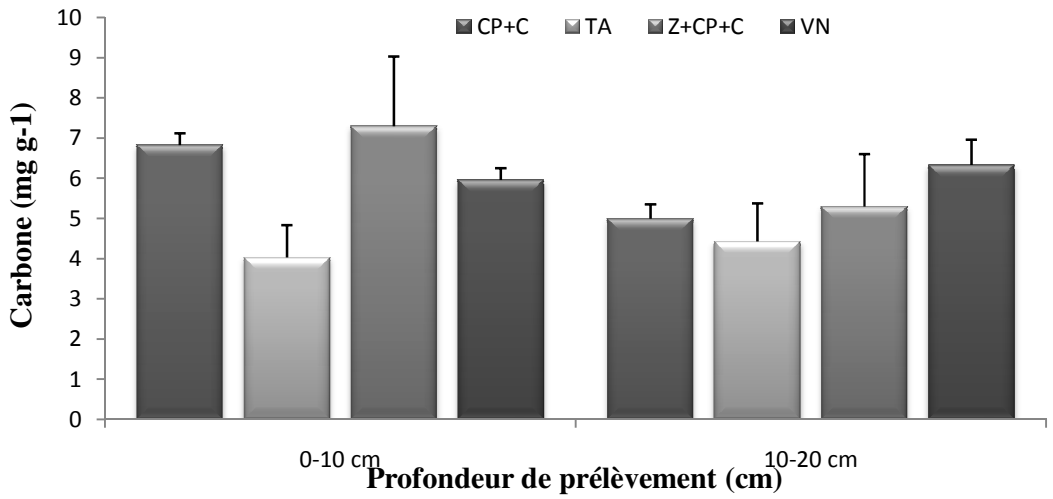


Figure 37 : Teneur en carbone organique des sols en fonction des traitements (n=3)

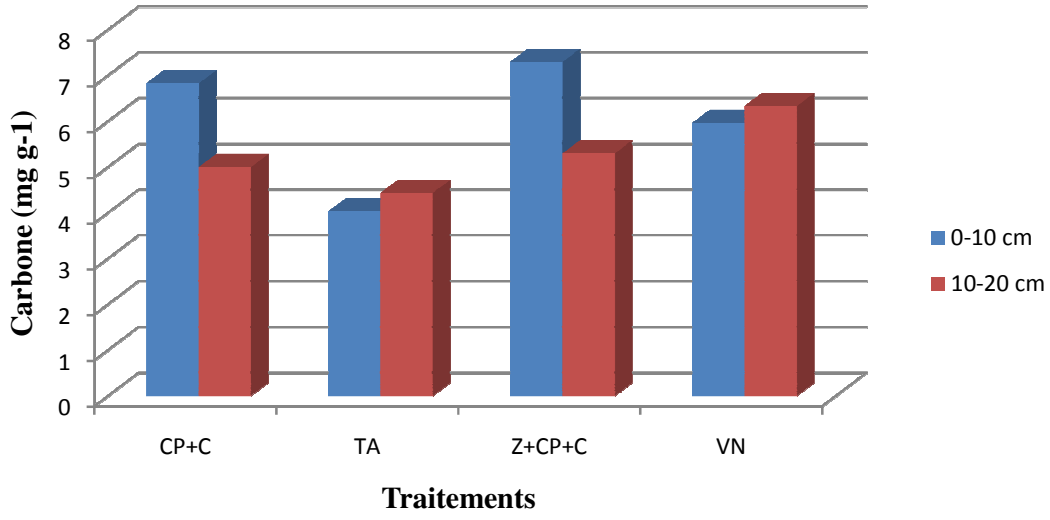


Figure 38 : Variation de la teneur en carbone organique en fonction des couches de prélèvement (n=3)

5.3.3.2 Variation de la teneur en azote total

L'analyse de la figure 39 montre que les teneurs en azote du traitement VN reste les plus élevées quelle que soit la profondeur étudiée (1,17 $mg.g^{-1}$ de sol pour la couche 0-10cm et 0,9 $mg.g^{-1}$ de sol pour 10-20 cm). On note en outre des valeurs plus élevés pour les traitements agroécologiques par rapport au traitement TA quelle que soit la couche de prélèvement. En effet, on note sur la couche 0-10 cm les valeurs 0,57 ; 0,56 ; 0,17 $mg.g^{-1}$ de sol respectivement pour le traitement CP+C, Z+CP+C et témoin absolu. Quant à la couche 10-20 cm les teneurs

en azote varient de 0,49 ; 0,47 ; 0,319 $mg.g^{-1}$ de sol respectivement pour les traitements Z+CP+C, CP+C et TA (Figure 39).

On peut donc dire que les traitements Z+CP+C et CP+C améliorent le statut des sols pour la teneur en azote quelles que soient les couches étudiées. L'analyse de variance montre des différences significatives entre les traitements au seuil de 5% dans les couches 0-10 cm et 10-20 cm (Tableau 15). Cependant, pour la couche 10-20 cm il n'ya pas de différences significatives entre les traitements agroécologiques et le TA.

En outre, à l'exception du TA la teneur en azote baisse pour les autres traitements avec la profondeur (Figure 40).

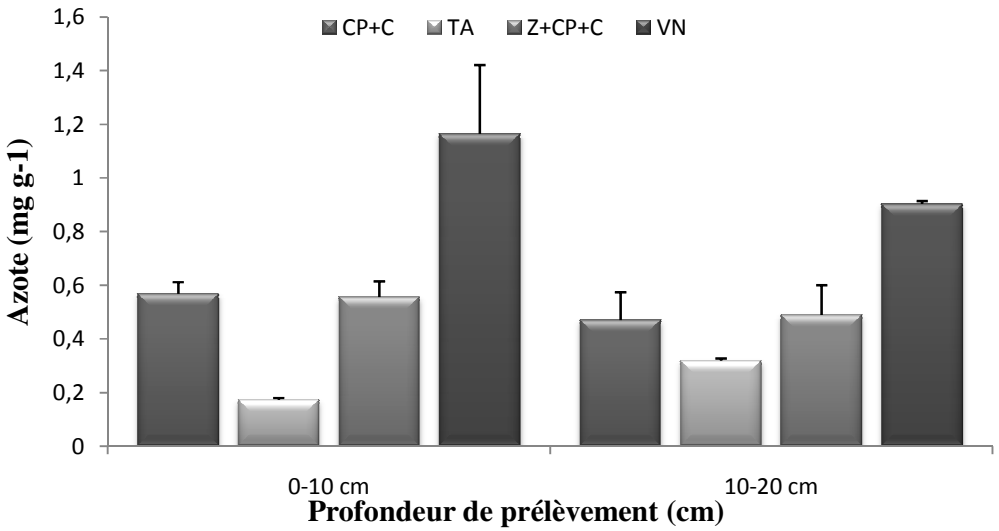


Figure 39 : Teneur en azote total des sols en fonction des traitements (n=3)

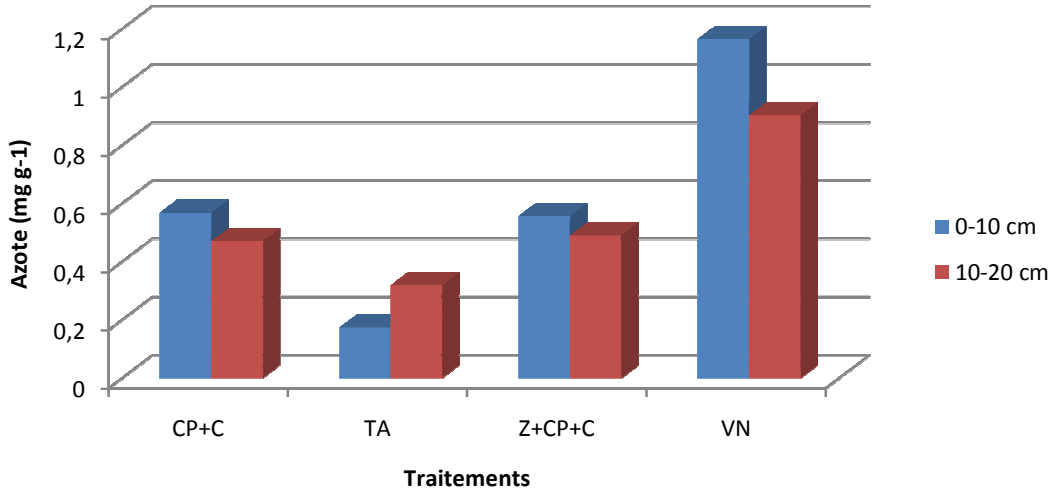


Figure 40 : Variation de la teneur en azote total en fonction des horizons de prélèvement (n=3)

5.3.3.3 Rapport C/N

Les rapports C/N du traitement VN sont faibles pour les couches 0-10 et 10-20 cm. Le rapport C/N double pratiquement de valeur quand on passe de VN aux traitements Z+CP+C (12,99) et CP+C (12,07) en surface (0-10 cm) (Figure 41).La même tendance est observée avec la profondeur 10-20 cm, les valeurs étant de 10,873 pour Z+CP+C et 10,889 pour CP+C. Comparativement au TA ces rapport C/N sont relativement faibles. En effet, on enregistre des valeurs relativement élevées avec TA quelle que soit la couche. Elles vont de 23,23 pour la couche 0-10 cm à 13,84 pour 10-20 cm. Les pratiques agroécologiques à travers les traitements Z+CP+C et CP+C permettent donc d'améliorer le ratio C/N des sols étudiés et favorisent ainsi la minéralisation de l'azote. L'analyse de variance montre des différences significatives entre les traitements au seuil de 5% pour la couche 0-10 cm (Tableau 15). La couche 10-20 par contre ne présente pas de différence significative entre les traitements agroécologiques et le témoin absolu. Seul le traitement VN est différent de TA. Quand on compare les résultats des deux couches seul le rapport C/N de VN augmente avec la profondeur (Figure 42)

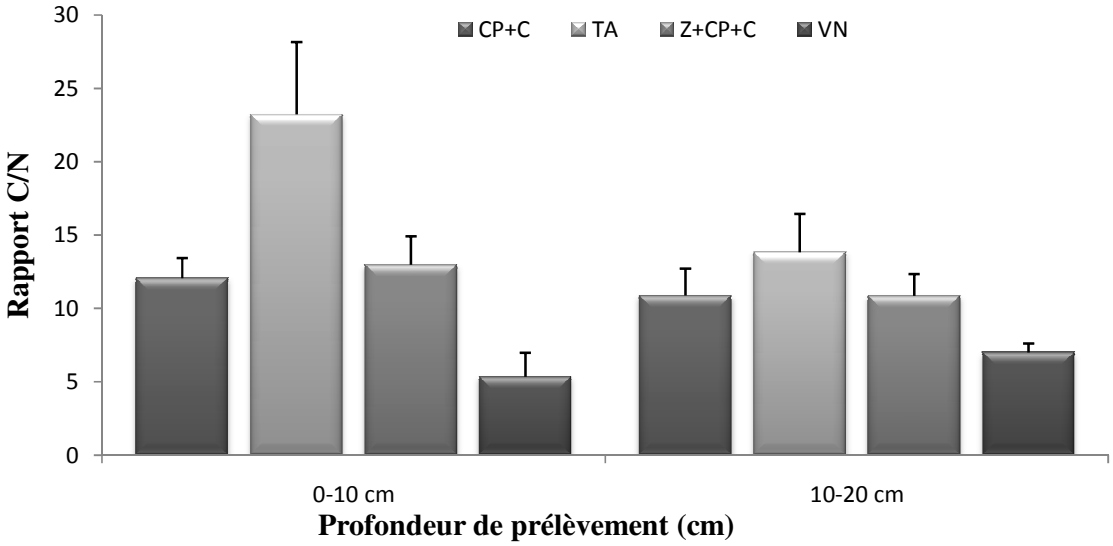


Figure 41 : Rapport C/N des sols en fonction des traitements (n=3)

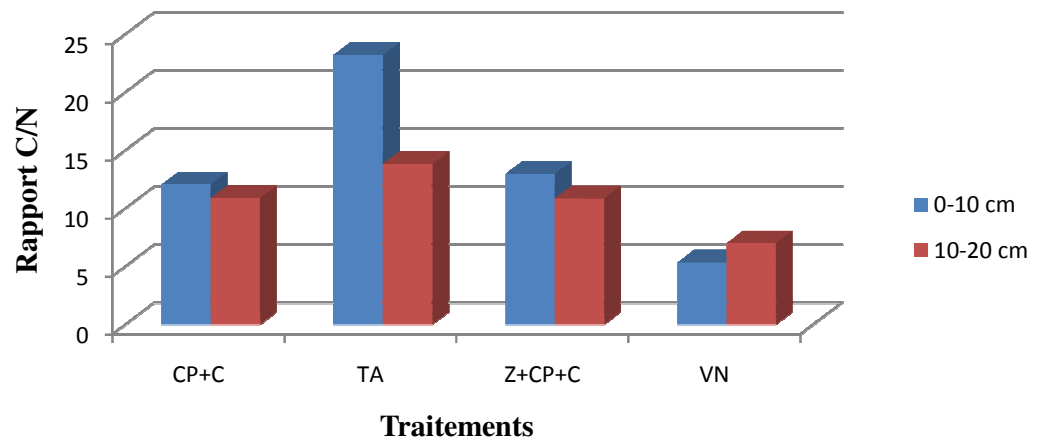


Figure 42 : Rapport C/N en fonction des couches (n=3)

5.3.3.4 Teneurs en phosphore assimilable

Les teneurs en phosphore assimilable sont dans l'ensemble basses pour tous les traitements (Figure 43). Les valeurs enregistrées sous les traitements agroécologiques Z+CP+C (0,031 $mg.g^{-1}$), CP+C (0,05 $mg.g^{-1}$) sont tout de même supérieures à celles de VN (0,027 $mg.g^{-1}$) et de TA (0,027 $mg.g^{-1}$) pour la couche 0-10 cm. En ce qui concerne la couche 10-20 cm, le traitement VN (0,02$mg.g^{-1}$) présente une teneur plus élevée que celles des autres traitements avec 0,013$mg.g^{-1}$ pour Z+CP+C ; 0,013$mg.g^{-1}$ pour CP+C et 0,011$mg.g^{-1}$ pour TA. En outre, aucune différence significative n'est observée entre les traitements en surface au seuil de 5% quelle que soit la couche (Tableau 15). Dans l'ensemble les teneurs en Pa baissent de la surface vers la profondeur (Figure 44).

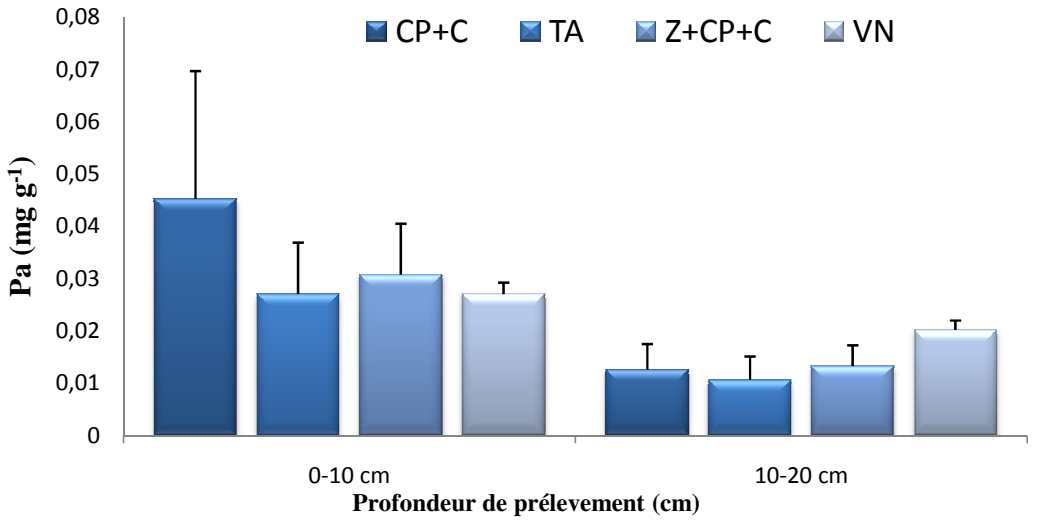


Figure 43: Teneur en phosphore assimilable des sols en fonction des traitements (n=3)

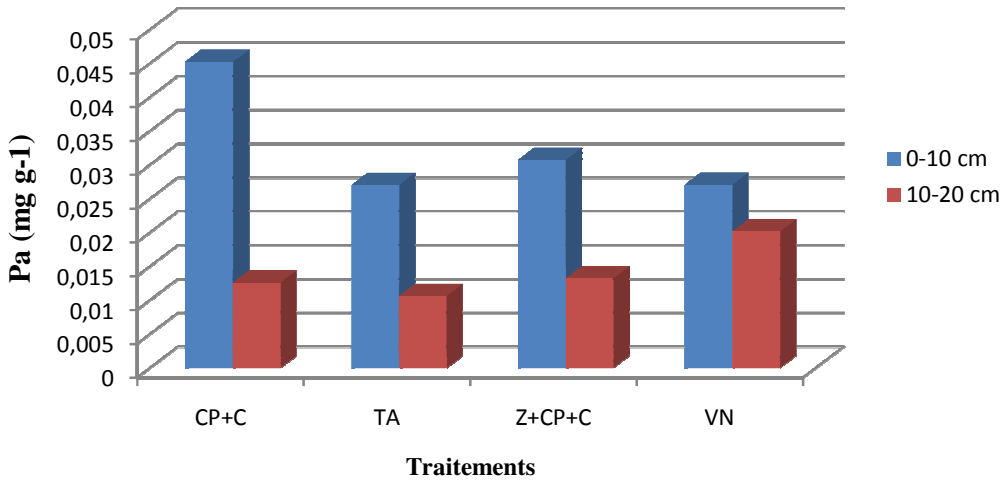


Figure 44 : Variation de la teneur en phosphore assimilable en fonction des couches de prélèvement (n=3)

Tableau 15 : Teneurs en carbone organique, azote total, phosphore assimilable et rapport C/N des différents traitements

Traitements	C (mg.g^{-1})		N (mg.g^{-1})		C/N		MO (mg.g^{-1})		Pa (mg.g^{-1})	
	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm
CP+C	6,83 a	5,00 a	0,57 b	0,47 b	12,07 bc	10,89 ab	11,75 a	8,60 a	0,045 a	0,013 a
TA	4,03 b	4,43 a	0,17 c	0,32 b	23,23 a	13,84 a	6,94 b	7,63 a	0,027 a	0,011 a
Z+CP+C	7,30 a	5,30 a	0,56 b	0,49 b	12,99 b	10,87 ab	12,56 a	9,12 a	0,031 a	0,013 a
VN	5,97 ab	6,33 a	1,17 a	0,90 a	5,36 c	7,01 b	10,26 ab	10,89 a	0,027 a	0,020 a

NB : HS : Dans la même colonne les moyennes suivies de lamême lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% selon le test de Tukey.

5.3.3.5 Capacité d'échange cationique et cations échangeables

5.3.3.5.1 Capacité d'échange cationique

La capacité d'échange cationique (CEC) d'un sol est la quantité de cations que celui-ci peut retenir sur son complexe adsorbant à un pH donné. La CEC est utilisée comme mesure de la fertilité d'un sol en indiquant la capacité de rétention des éléments nutritifs d'un sol donné. Elle est généralement exprimée et centimole de charge + par kg (1 cmole^{+}. kg^{-1} = 1 meq. 100 g^{-1}).

Les valeurs de la CEC sont plus importantes dans les traitements Z+CP+C et CP+C et VN par rapport au (TA) quelle que soit la couche. En effet, dans la couche 0-10 cm elle varie de 31,54 cmole^{+}.kg^{-1} de sol pour le TA à 42,41cmole^{+}.kg^{-1} de sol pour Z+CP+C. Les traitements VN et CP+C ont respectivement une CEC de 40, 54 et 38,25 cmole^{+}.kg^{-1} de sol (Figure 45). Pour la

couche 10-20 cm on note la même tendance que dans la couche 0-10 cm (Figure 46). Elles varient de 34,05 $cmole^{+}.kg^{-1}$ de sol pour le témoin absolu à 63,14 $cmole^{+}.kg^{-1}$de sol pour Z+CP+C. Elle est de 53, 45 $cmole^{+}.kg^{-1}$ de sol pour le traitement CP+C et de 55,92$cmole^{+}.kg^{-1}$de sol pour VN. Il ressort donc que les traitements agroécologiques améliorent la CEC de nos sols par rapport au témoin quelle que soit la couche. Cependant, l'analyse statistique ne décèle pas de différences significatives entre les différents traitements au seuil de 5% pour la couche 0-10 cm (Tableau 16). Par contre dans 10-20 cm la différence statistique est significative entre les traitements agroécologiques, VN et le témoin absolu.

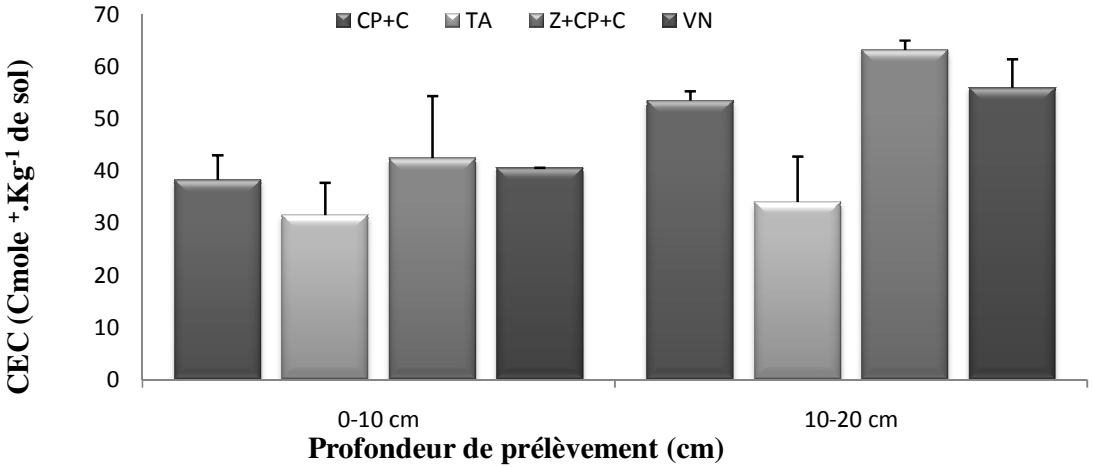


Figure 45 : Capacité d'échange cationique des sols (n=3)

On peut observer en outre que les valeurs de la CEC sont plus élevées dans la couche10-20 cm par rapport à la couche 0-10 cm (Figure 43).

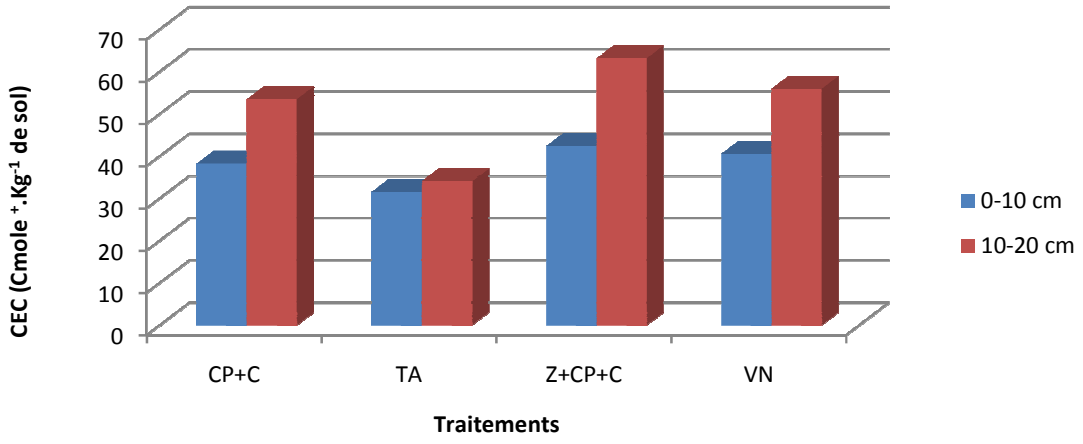


Figure 46 : Capacité d'échange cationique en fonction des couches (n=3)

5.3.3.5.2 Cations échangeables

La somme des cations échangeables varie en fonction des traitements et des horizons de prélèvements. Les différents cations majeurs dosés sont le Na^+, Mg^{2++}, K^+ et Ca^{2+}. Des différences significatives sont observées entre les traitements agroécologiques, VN et le témoin absolu au seuil de 5% selon le test de Tukey (Tableau 16).

Tableau 16 : CEC et cations échangeables des différents traitements

		CP+C	TA	Z+CP+C	VN
CEC (cmole$^+$.kg^{-1} **de sol)**	0-10 cm	38.249 a	31.549 a	42.418 a	40.550 a
	10-20 cm	53.455 a	34.053 b	63.143 a	55.917 a
Na$^+$ (cmole$^+$.kg^{-1} ***de sol)***	0-10 cm	0.255 c	0.206 c	1.211 a	0.722 b
	10-20 cm	0.165 a	0.175 a	0.248 a	0.229 a
Mg^{2+} (cmole$^+$.kg^{-1} ***de sol)***	0-10 cm	1.741 a	1.384 a	2.241 a	1.615 a
	10-20 cm	1.242 ab	0.627 c	1.711 a	0.799 bc
K$^+$ (cmole$^+$.kg^{-1} ***de sol)***	0-10 cm	0.825 b	0.159 c	1.364 a	0.585 b
	10-20 cm	0.413 a	0.261 ab	0.218 b	0.354 ab
Ca^{2+} (cmole$^+$.kg^{-1} ***de sol)***	0-10 cm	15.656 a	11.233 b	17.221 a	14.682 ab
	10-20 cm	20.823 a	9.397 c	17.266 ab	10.723 bc
Somme des Cations Echangeables (cmole$^+$.kg^{-1} ***de sol)***	0-10 cm	18.476 a	12.981 b	22.039 a	17.605 ab
	10-20 cm	22.643 a	10.460 b	19.443 a	12.105 b

NB :Sur la même ligne les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% selon le test de Tukey.

5.3.3.5.3 Corrélation entre la CEC et les autres paramètres du sol

On note une corrélation relativement forte entre la CEC et la teneur en argiles des sols dans la couche 0-10 cm (Figure 47 a). A l'opposé, il n'existe pas de corrélation positive et forte entre les teneurs en MO et la CEC quelle que soit la couche et entre la CEC et la teneur en argiles dans la couche 10-20 cm (Figure 47 b, c et d).

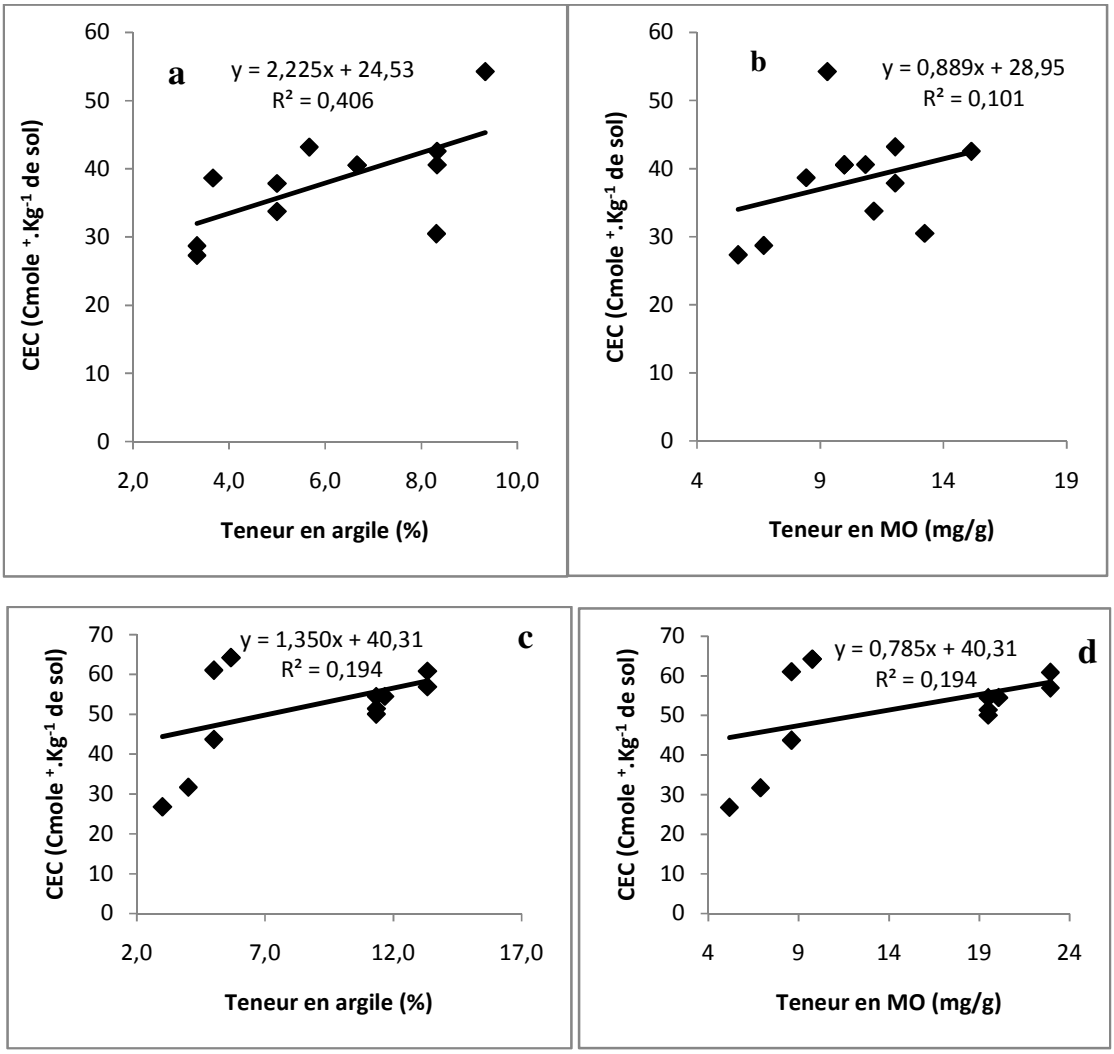


Figure 47: Corrélation entre la CEC et la teneur en argile et en MO dans la couche 0-10 cm (a et b) et 10-20 cm (c et d)

5.4 Influences des pratiques agroécologiques sur l'activité microbiologique des sols

5.4.1 Respiration basale (BR) des sols

La caractérisation biologique a été appréhendée sur la fraction fine de la couche 0-10 cm des sols. La respiration basale(RB) sans apport de substrat carboné (Figure 48) montre une faible production de CO_2 résultant de la faiblesse de l'activité microbiologique des sols après six heures d'incubation. En outre, il n'existe pas une nette variation entre les différents traitements même si sa valeur parait faible au niveau du témoin par rapport aux autres traitements. En effet, on observe pour le témoin absolu un taux de CO_2 de l'ordre de 0,019 µg C-CO_2 g^{-1} h^{-1}. Quant aux autres traitements les valeurs sont dans le même ordre de grandeur et vont de 0,090µg C-CO_2 g^{-1} h^{-1}pour la végétation naturelle à 0,094 µg C-CO_2 g^{-1} h^{-1} pour

Z+CP+C et 0,103µg C-CO_2 g^{-1} h^{-1}pour CP+C. L'analyse de variance montre une différence significative entre les traitements au seuil de 5% (Tableau 17).

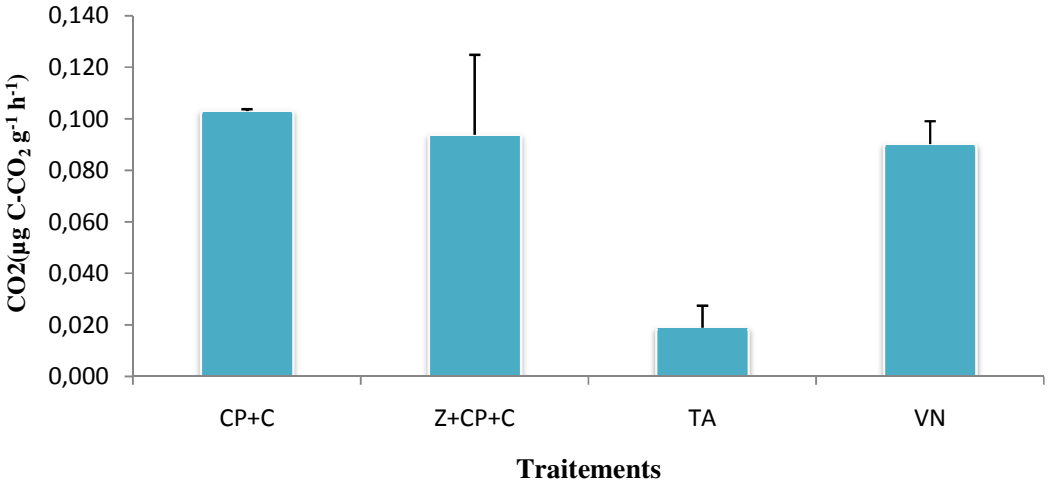


Figure 48 : Respiration basale (RB) des différents traitements sans apport de substrat carboné

5.4.2 Respiration induite par les différents substrats carbonés

Les profils de réponses cataboliques montrent la différence dans les substrats utilisés par les microorganismes (Figure 49). Les taux de production de CO_2 les plus élevés ont été enregistrés pour le fructose (0,125 µg C-CO_2 $g^{-1}h^{-1}$), le mannose (0,117 µg C-CO_2 $g^{-1}h^{-1}$) et le galactose (0,105 µg C-CO_2 $g^{-1}h^{-1}$) tandis que les valeurs les plus faibles sont produites par le mannitol (0,086 µg C-CO_2 $g^{-1}h^{-1}$), le citrate (0,083 µg C-CO_2 $g^{-1}h^{-1}$) et la proline (0,080 µg C-CO_2 $g^{-1}h^{-1}$). Les valeurs faibles de production de CO_2 de ces substrats sont presque similaires à celles produites par simple ajout de l'eau distillée aux différents sols (0,078 µg C-CO_2 $g^{-1}h^{-1}$). Cela permet ainsi de faire une classification des substrats carbonés par ordre de préférence des microorganismes en fonction du taux de production de CO_2comme suit: Fructose> Mannose >Galactose> Malate> Arginine > Tréhalox > Glucose> Saccharose >Glycine > Maltose > Inositol > Sorbitol >Mannitol > Citrate > Proline.

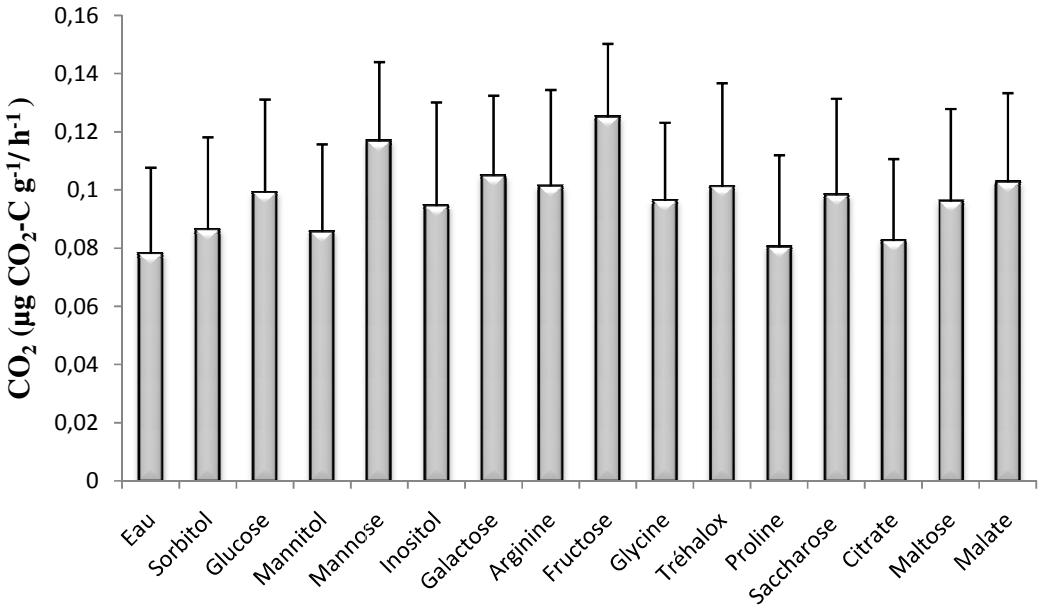


Figure 49 : Profil catabolique de l'utilisation moyenne des 15 sources de carbone par les microorganismes du sol (n=3)

En outre, quand on compare la respiration induite par les substrats en fonction des traitements on peut noter que les plus forts dégagements de CO_2 sont enregistrés au niveau du mannose, du fructose, du glucose et du malate au niveau du traitement VN (Figure 50). Tandis que les plus faibles sont enregistrés au niveau du traitement TA avec la proline et l'inositol. Cela traduit une grande diversité dans l'utilisation de ces substrats et en fonction des traitements.

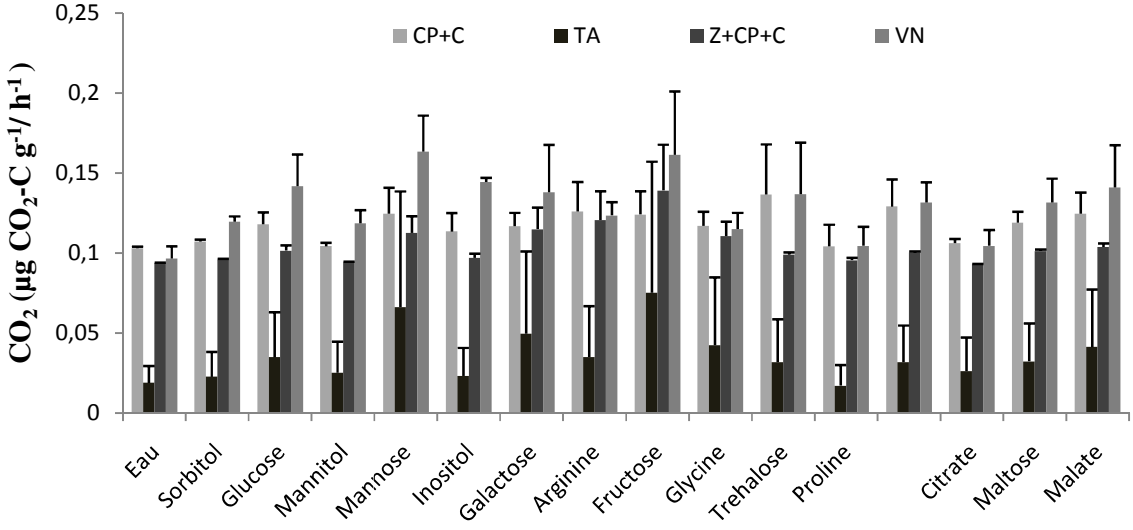


Figure 50 : Profil catabolique de l'utilisation des 15 sources de carbone par les microorganismes du sol (n=3)

5.4.3 Respiration induites (SIR) par l'ensemble des substrats

Les profils de réponses cataboliques ont permis d'établir des différences dans la communauté microbienne du sol sous différentes conditions d'utilisation des terres. Ainsi, la moyenne de la respiration induite par les substrats sous différentes pratiques agricoles a augmenté dans l'ordre des traitements de la façon suivante : AW<CP + C<Z + CP + C<NV (Figure 51). Il existe des différences significatives entre les 4 pratiques agricoles étudiées selon la respiration induite par le substrat au seuil de 5% (Tableau 17).

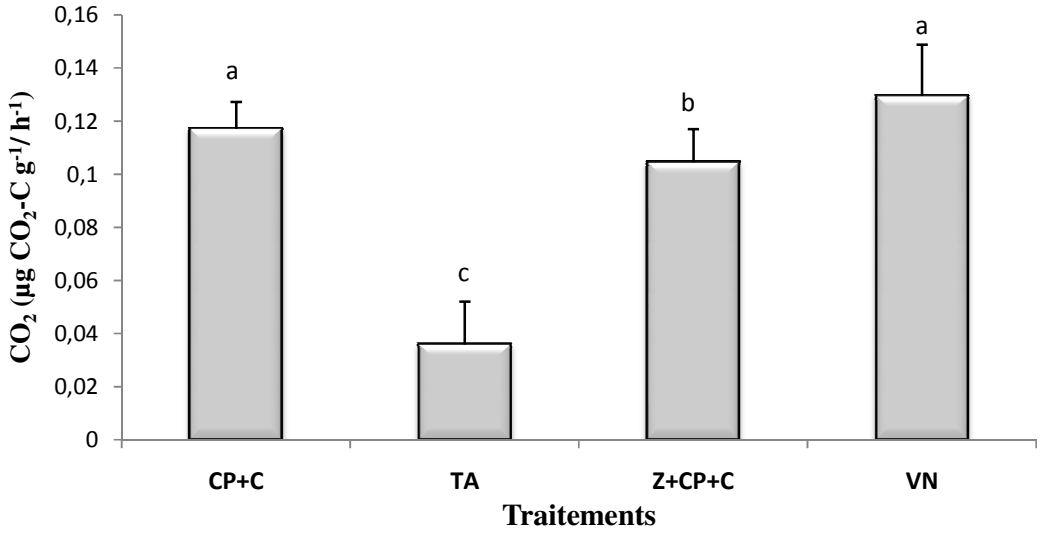


Figure 51: Profil d'utilisation de l'ensemble des substrats carbonés par les microorganismes

5.4.4 Biomasse microbienne (BM)

A l'inverse de la respiration basale il a été noté que l'ajout de substrat carboné induit une production de CO_2 plus élevée au niveau de l'ensemble des traitements. Avec le taux de production de CO_2 du glucose il est possible de déterminer la biomasse microbienne (Figure 52). On note pour le témoin 1,779 µg biomasse-C g^{-1}et 6,098 µg biomasse-C g^{-1}pour VN. Pour les traitements CP+C et Z+CP+C les valeurs sont respectivement de 5,154 µg biomasse-C g^{-1}et 4,473 µg biomasse-C g^{-1}. Cela résulte donc de l'effet induit par ces substrats sur les microorganismes du sol. Ainsi, la production de CO_2 lié au glucose permet de déduire la biomasse microbienne des sols et des valeurs assez élevées sont observées par rapport à la respiration basale. Il semble en outre que les pratiques agroécologiques induisent des activités microbiennes plus importantes dans les sols étudiés. La plus forte valeur de la biomasse microbienne est obtenue au niveau du traitement VN suivi du traitement CP+C et Z+CP+C. La plus faible valeur de la BM est observée au niveau du témoin absolu qui n'a subi aucun traitement agroécologiques et sans restitution de MO. En outre, la comparaison des moyennes

montre qu'il existe des différences significatives entre les différents traitements au seuil de 5% selon le test de Tukey (Tableau 17).

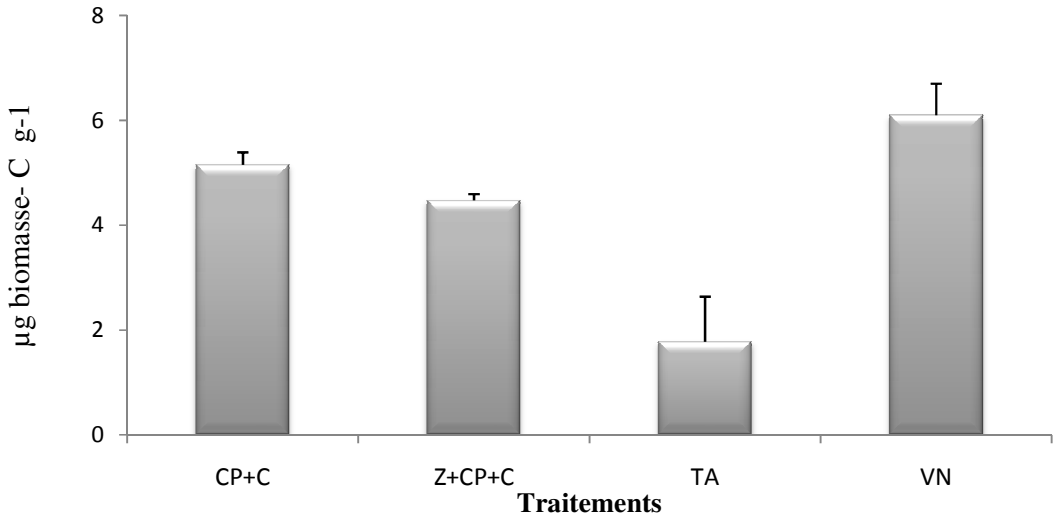


Figure 52: Biomasse microbienne (BM) sols de surface pour les des différents traitements

5.4.5 Quotient métabolique

En rappel, le ratio entre la respiration basale (BR) du sol et l'activité microbienne induite par l'apport du glucose (BM) comme substrat carboné permet de déterminer le quotient métabolique (qCO_2) des sols. Au-delà des valeurs obtenues, le quotient est un indicateur non seulement de la stabilité structurale du sol mais aussi de l'état des microorganismes du sol et de l'évolution de la MO due à des facteurs extérieurs.

Les valeurs du quotient métabolique évoluent en sens inverse de celles de la biomasse microbienne pour tous les traitements. Certes les valeurs sont proches les unes des autres pour l'ensemble des traitements mais elles restent élevées pour les traitements CP+C (0,020) et Z+CP+C (0,021) (Figure 53). Elle est de 0,011 pour le témoin absolu et 0,015 pour la végétation naturelle. L'état de stabilité des sols des traitements TA et VN semble de ce fait plus élevé que celui des traitements agroécologiques. En outre, on note des différences significatives entre les traitements agroécologiques et les autres traitements (Tableau 17).

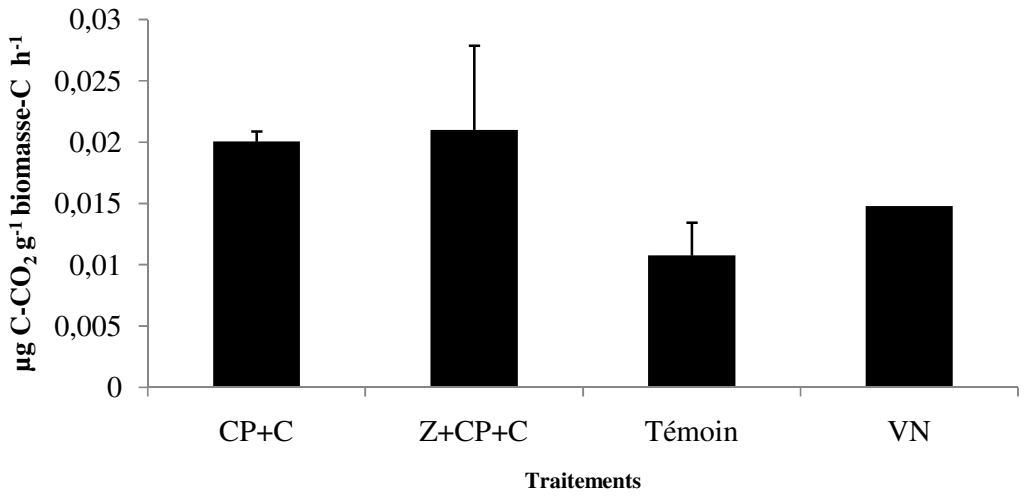


Figure 53 : Quotient métabolique (qCO_2) des sols

5.4.6 Variation de l'indice de diversité de Shannon-Weaver H'

L'indice de Shannon-Weaver est une valeur qui traduit la diversité du peuplement des sols. On note une valeur assez faible pour le témoin absolu qui est de 0,817 (Figure 54). Pour les autres traitements on note par contre des valeurs nettement supérieures à celle du témoin. On a enregistré pour la Végétation Naturelle (VN) une valeur de 2,68 et pour Z+CP+C une valeur de 2,69. La plus forte valeur est enregistrée au niveau du traitement CP+C qui est de 2,70. De plus l'analyse de variance montre des différences significatives entre les traitements au seuil de 5% selon le test de Tukey (Tableau 17). On peut donc se satisfaire de l'effet induit par les traitements agroécologiques au niveau de la diversité des microorganismes des sols par rapport au témoin.

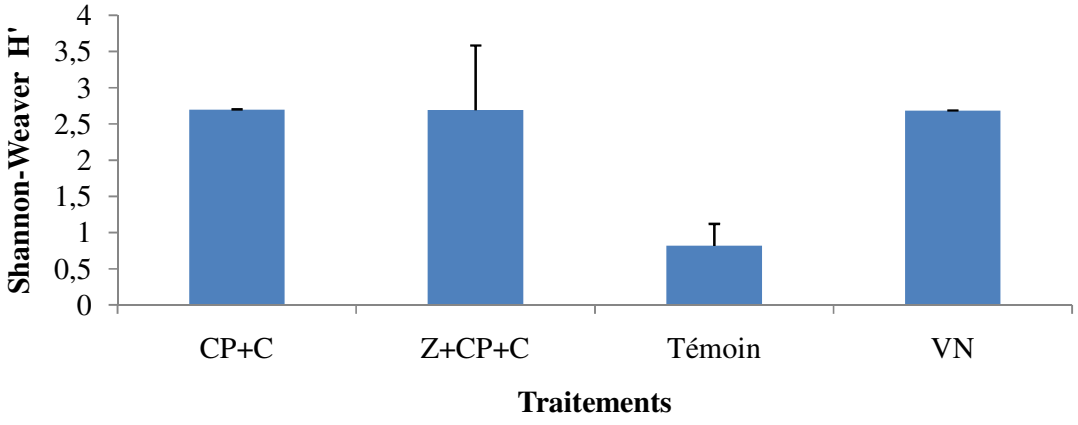


Figure 54 : Indice de Shannon-Weaver H' des sols

5.4.7 Variation de l'équitabilité catabolique E

L'indice d'équitabilité quant à lui traduit le rapport entre la diversité observée et la diversité théorique maximale qui correspond en réalité à la mesure de l'équirépartition des effectifs dans une population. La valeur maximale de cet indice est de 1 et signifierait une parfaite répartition des effectifs des individus dans une communauté. On note donc pour nos traitements une valeur assez faible pour le témoin qui est de 0,302 traduisant ainsi une relative mauvaise répartition des effectifs dans ce traitement. Quant aux autres traitements les valeurs sont assez proches de 1 et semblent donc indiquer la bonne répartition des effectifs dans ces sols. On note pour CP+C 0,996 tandis que les valeurs pour Z+CP+C et VN sont respectivement de 0,994 et 0,991 (Figure 55). On note en outre des différences significatives entre les traitements (Tableau 17). L'application des différents traitements induirait donc une meilleure répartition des effectifs de la microflore du sol.

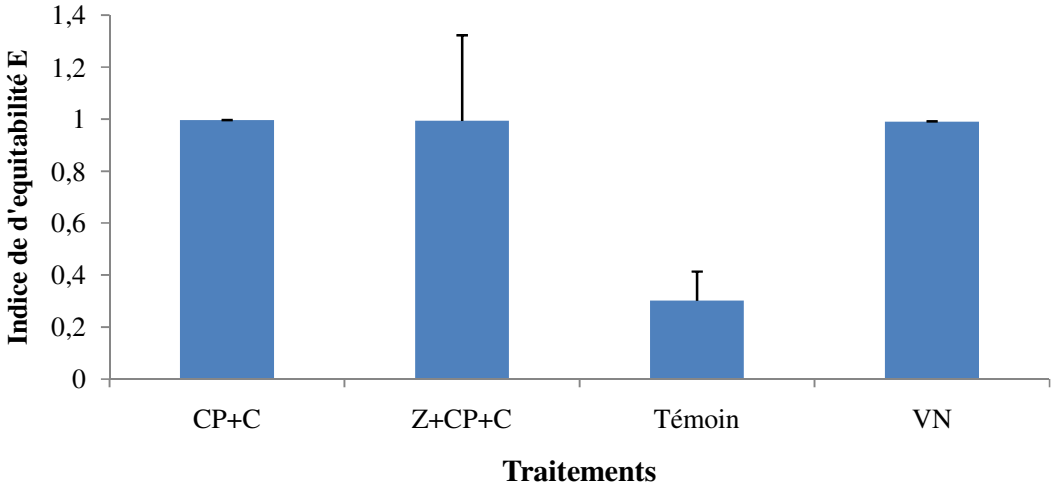


Figure 55: Indice d'équitabilité E des sols de surface

Tableau 17: Propriétés biologiques du sol en fonction des différents traitements

	BR	BM	qCO2	H'	E
CP+C	0,103 a	5,154 a	0,020 a	2,697 a	0,996 a
Z+CP+C	0,094 a	4,473 a	0,021 a	2,691 a	0,994 a
TA	0,019 b	1,779 b	0,011 b	0,817 b	0,302 b
VN	0,090 a	6,098 a	0,015 ab	2,683 a	0,991 a

Dans la même colonne les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% selon le test de Tukey. Dans la même colonne les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%.

5.4.8 Corrélation entre les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols

Nos résultats montrent une corrélation positive ($p<0,01$) entre la biomasse microbienne du sol, les quotients métaboliques, l'indice de Shannon-Weaver, l'indice d'équitabilité et sa teneur totale en carbone (Tableau 18).

Nous avons également trouvé une corrélation positive entre la teneur en azote du sol et les propriétés biologiques suivantes : biomasse microbienne ($p<0.01$), H 'et E ($p<0,0.05$). Des corrélations positives ont été également établies entre la respiration induite SIR et la biomasse microbienne, la respiration basale, l'indice Shannon-Weaver et l'Equitability ($p<0.01$) et aussi la teneur en carbone et azote du sol ($p<0,05$). La conductivité électrique quant à elle est positivement corrélée à la respiration basale ($p<0,05$) et aux quotients métaboliques ($p<0,01$). Nous avons également déterminé des corrélations positives entre les quotients métaboliques et la respiration basale, les indices H 'et E ($p< 0,01$) (Tableau 18). Le rapport C / N a été négativement corrélé à la quasi-totalité des paramètres biologiques du sol ($p<0.01$) à l'exception de qCO_2.

Tableau 18: Corrélation entre les propriétés physiques chimiques, and biologiques de sols

	BM	RB	H'	E	qCO_2	N	C	Pa	SIR	CE	C/N
BM											
RB	**0,893****										
H'	**0,899****	**0,970****									
E	**0,899****	**0,970****	**1,000****								
qCO_2	0,440	**0,767****	**0,727****	**0,727****							
N	**0,711****	0,546	**0,665***	**0,665***	0,171						
C	0,567	**0,791****	**0,760****	**0,760****	**0,833****	0,337					
Pa	0,177	0,299	0,264	0,264	0,390	-0,004	0,241				
SIR	**0,987****	**0,913****	**0,925****	**0,925****	0,500	**0,648***	**0,608***	0,201			
CE	0,186	**0,578***	0,497	0,497	**0,811****	-0,229	**0,648***	0,384	0,291		
C/N	**-0,832****	**-0,737****	**-0,808****	**-0,808****	-0,271	**-0,886****	-0,380	-0,059	**-0,791****	-0,048	

**Significative à p<0,05*

*** Significative àp<0,01*

5.4.9 Analyse en composantes principales des différentes données

Les résultats de l'ACP pour les données physiques et chimiques montrent que les deux facteurs F1 et F2 expliquent le mieux les variables par rapport aux autres facteurs (Figure 56 A). F1 et F2 expliquent 48,46 % et 26,96% de la variance des données respectivement (Figure 56 B).Trois groupes sont distingués dans le plan F1-F2 : (i) un groupe représenté par CE et Pa (groupe 1), (ii) un deuxième groupe représenté par C (groupe 2), (iii) un groupe représenté par pH et N (groupe 3); (Figure 56 B).

La projection des observations dans le plan F1-F2 montre que les traitements CP+C et Z+CP+C sont fortement associés au groupe 1 et 2 tandis que VN est fortement associé au groupe 3 (Figure 56 C). Contrairement à ces traitements le TA est très peu expliqué par ces variables. On note en outre de nettes différences entre les traitements CP+C et Z+CP+C, VN et TA.

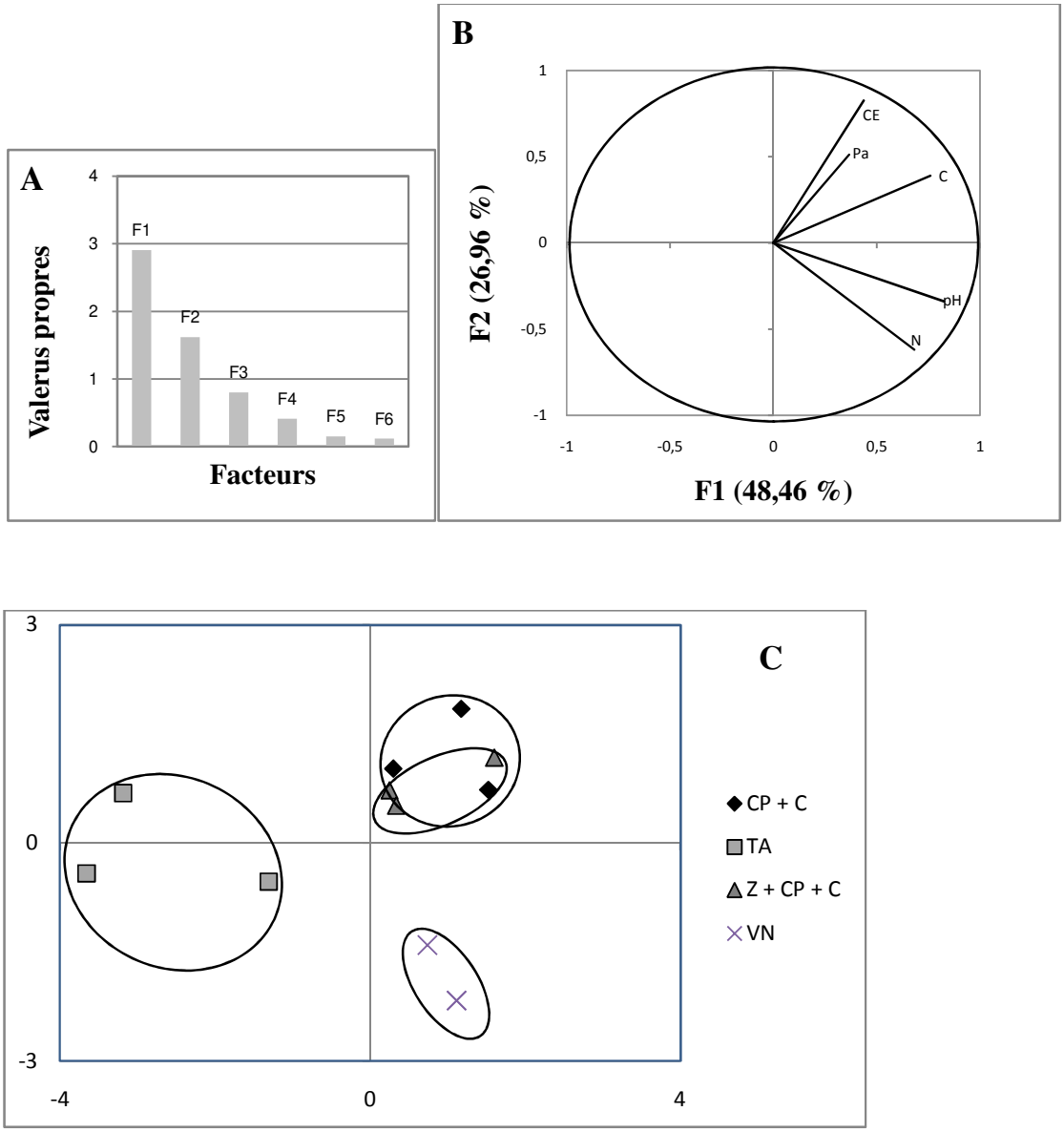
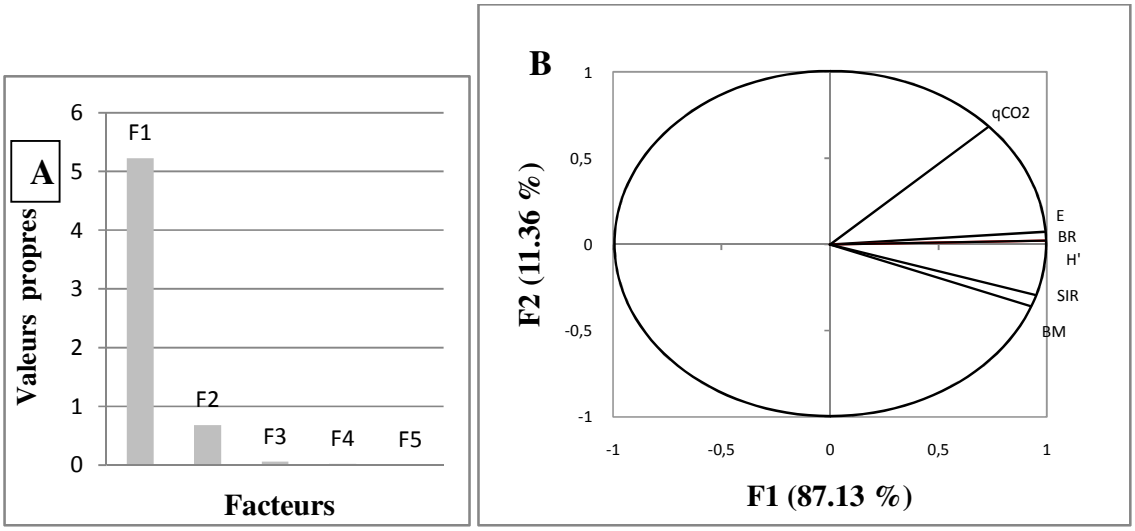


Figure 56 : Résultats de l'ACP pour la base de données des analyses physiques et chimiques (12 observations). A : Valeurs propres en fonction des facteurs. B: Projection des variables dans le plan F1-F2. C : Projection dans le plan F1-F2 des observations.

L'analyse en composantes principales sur les données de microbiologie (MicroResp) a montré que les deux facteurs F1 et F2 expliquent à 98,5% la variabilité totale des données (Figure 57 A).

Trois groupes (Figure 57 B) différents dans le plan F1-F2 représenté par qCO2 (groupe 1), SIR et BM (groupe 2) et E, BR et H '(groupe 3) sont distinctement établis. Ainsi, en se référant aux plans F1-F2 (Figure 57 C), le groupe 1 correspond à SR + C et Z + SR + C; Le groupe 2 correspondait au sol NV et le groupe 3 à SR + C. A l'analyse des résultats le TA ne sont pas corrélé aux différents paramètres microbiens. Tous ces paramètres sont corrélés aux sols sous pratiques agroécologique et à la végétation naturelle. La Figure 57 C montre également que les communautés microbiennes des traitements agroécologiques et la végétation naturelle (CP + C, Z + CP + C et VN) sont significativement différente de celle du sol avec témoin absolu.



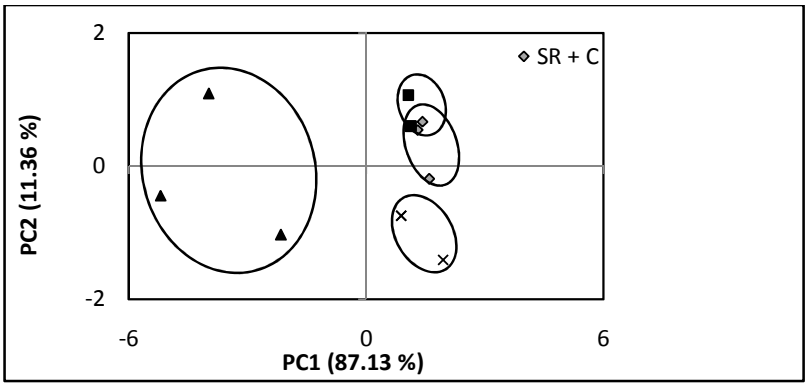


Figure 57 : Résultats de l'ACP pour la base de données de MicroResp (72 observations). A : Valeurs propres en fonction des facteurs. B: Projection des variables dans le plan F1-F2. C : Projection dans le plan F1-F2 des observations.

Les résultats de l'analyse en composantes principales de l'ensemble des paramètres physiques, chimiques et biologiques montrent une fois de plus que les deux facteurs F1 et F2 expliquent 83,37% la variabilité totale (Figure 58 A). On peut aussi noter que Pa est très mal représenté dans le plan. Les groupes sont disparates mais on peut noter de fortes corrélations entre SIR et BM et entre H' et E (Figure 58 B).

La projection des observations dans le plan F1-F2 montre que les traitements CP+C et Z+CP+C, VN et TA forment des groupes distincts et sont selon la représentation graphique différents (Figure 58 C).

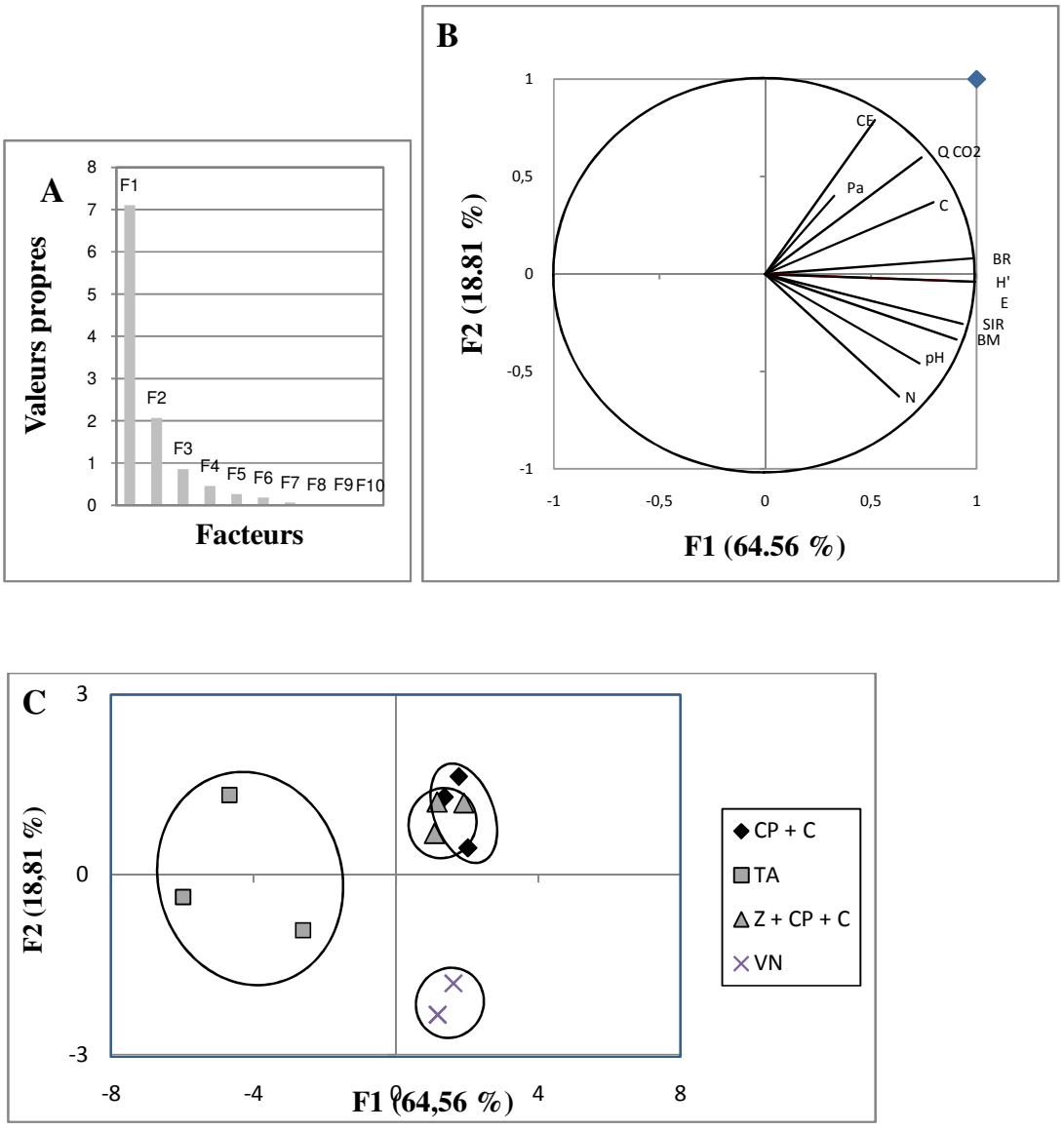


Figure 58: Résultats de l'ACP pour l'ensemble des données des (84 observations). A : Valeurs propres en fonction des facteurs. B: Projection des variables dans le plan F1-F2. C : Projection dans le plan F1-F2 des observations.

5.5 Incidences des pratiques agroécologiques sur les rendements

5.5.1 Effet sur le rendement grain du sorgho

Les rendements grains ont été estimés pour les campagnes agricoles 2014-2015. Pour les traitements Z+CP+C et CP+C, la productivité s'est vue améliorée et les valeurs obtenues sont toujours supérieures à celles du témoin absolu (Figure 59). En effet on observe en moyenne pour le rendement grain 1,73 $t.ha^{-1}$ pour le Z+CP+C et 1,78 $t.ha^{-1}$pour le CP+C tandis que le témoin absolu est à 0,695 $t.ha^{-1}$. L'analyse statistique avec le test de Tukey montre qu'il existe des différences significatives entre les traitements agroécologiques Z+CP+C et CP+C et le témoin ($p<5\%$).

5.5.2 Effet sur la production de paille

Ces évaluations ont été également faites lors de la campagne agricole 2014-2015.A l'instar du rendement grains, la production en paille des traitements Z+CP+C et CP+C est toujours supérieure à celles du témoin absolu (Figure 59).On note en moyenne les valeurs moyennes suivantes : 6,23 $t.ha^{-1}$pour Z+CP+C ; 6,025 $t.ha^{-1}$CP+C et 3,3 $t.ha^{-1}$pour le témoin absolu. L'analyse de variance montre qu'il existe des différences significatives entre les traitements agroécologiques et le témoin absolu au seuil de 5% selon le test de Tukey.

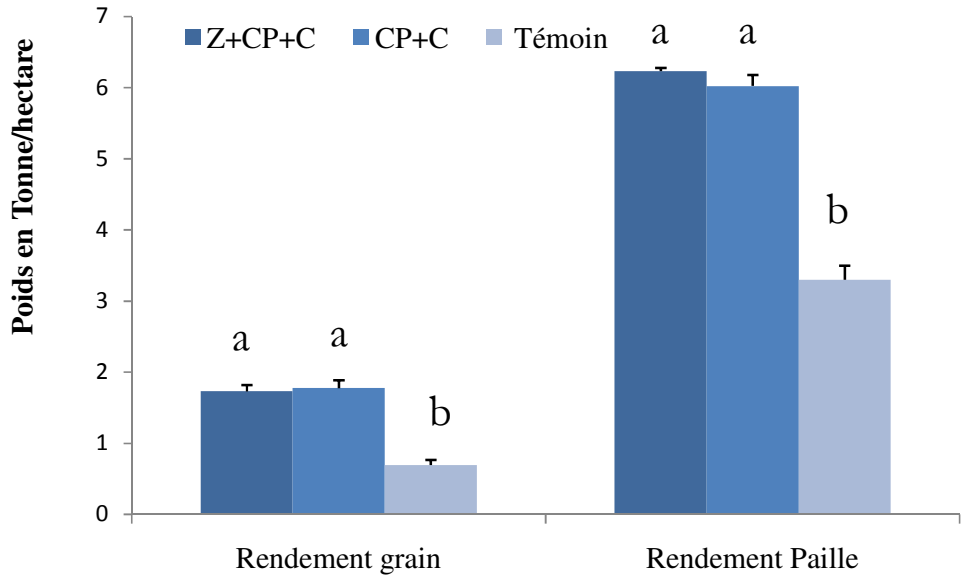


Figure 59 : Rendements grains et paille.

5.5.3 Corrélation entre les propriétés du sol et les rendements grains et paille

Une forte corrélation entre les teneurs en azote total et les rendements grains et pailles des différents traitements est observée. De même, il existe une forte corrélation entre la teneur en carbone et les rendements en grain et pailles. Par contre, l'analyse de la Figure 60 montre qu'il n'existe pas de corrélation entre la teneur en phosphore assimilable et la production en grains et en paille.

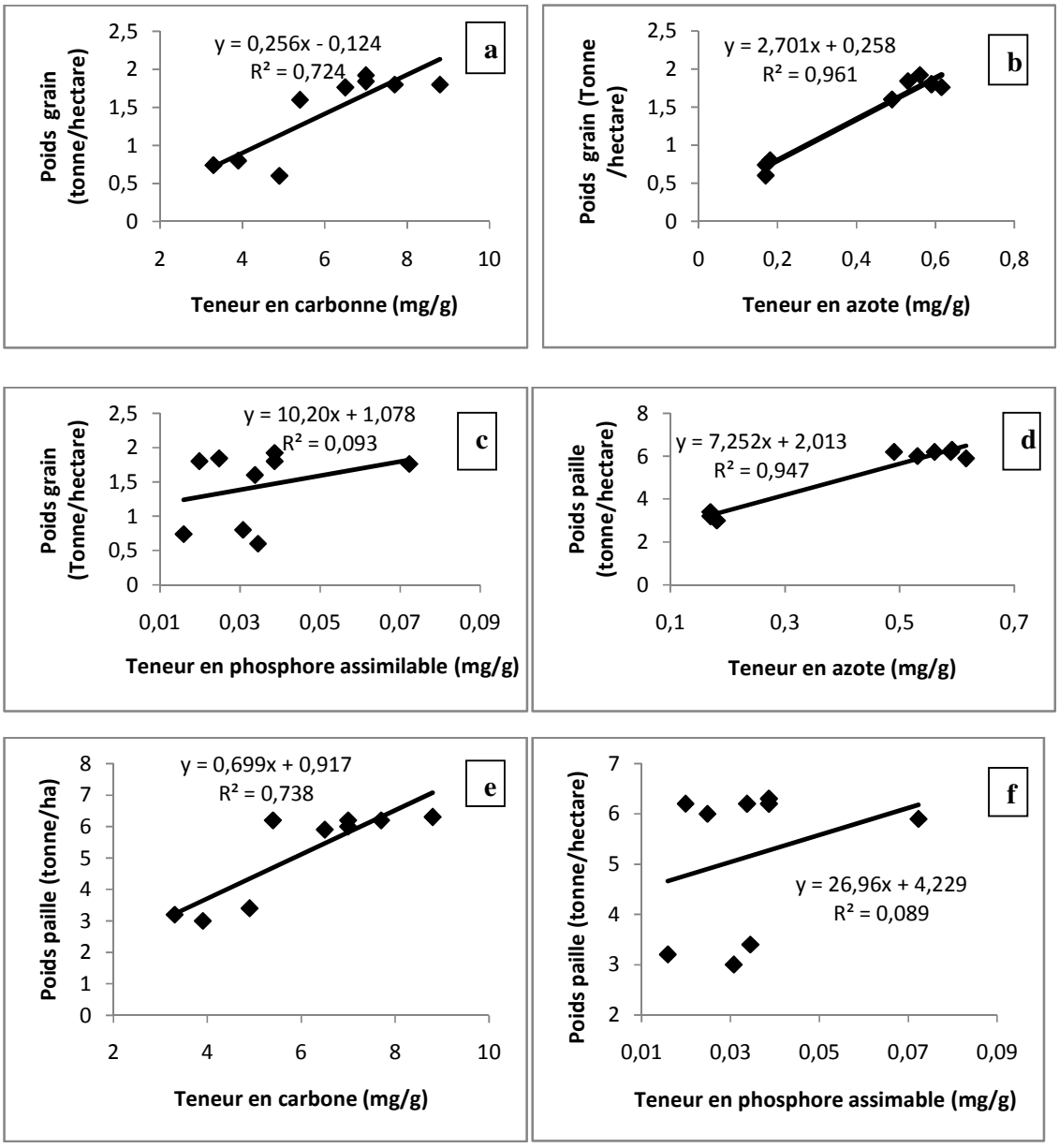


Figure 60 : Corrélation entre les teneurs en carbone organique, azote total et phosphore assimilable et la production grain (a, b, c) et la production paille (d, e, f)

Nous nous sommes aussi intéressés à la relation entre la biomasse microbienne et la productivité des sols (grains et paille du sorgho), dans le but de montrer son importance dans l'étude de la fertilité des sols.

Les figures 61 et 62 illustrent les résultats obtenus. Ces figures montrent une similitude entre les variations de la biomasse-C et les rendements des plantes. Les deux figures montrent que les variations des deux composantes de rendements suivent la même tendance que la biomasse microbienne.

Les figures 63 et 64 montrent des coefficients de détermination hautement significatifs entre ces deux composantes (R^2 entre 07 et 08 pour cent.).

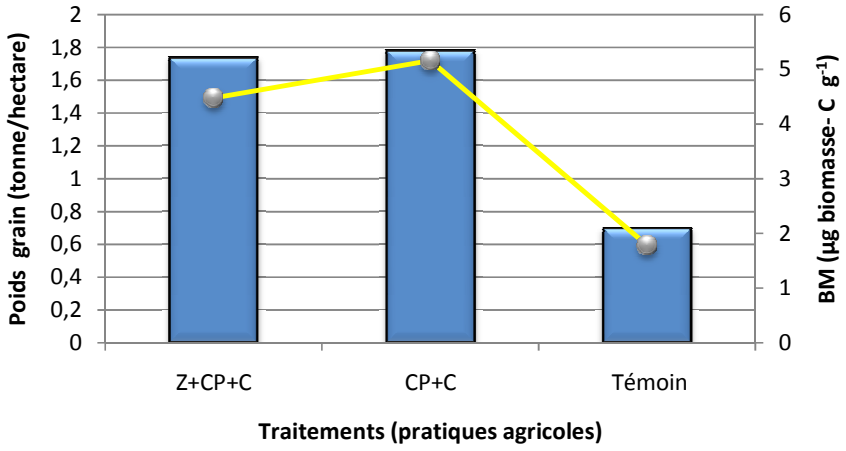


Figure 61 : Evolution de la biomasse microbienne (µg biomasse-g^{-1}) et du poids des grains du sorgho (T/ha) cultivé au champ

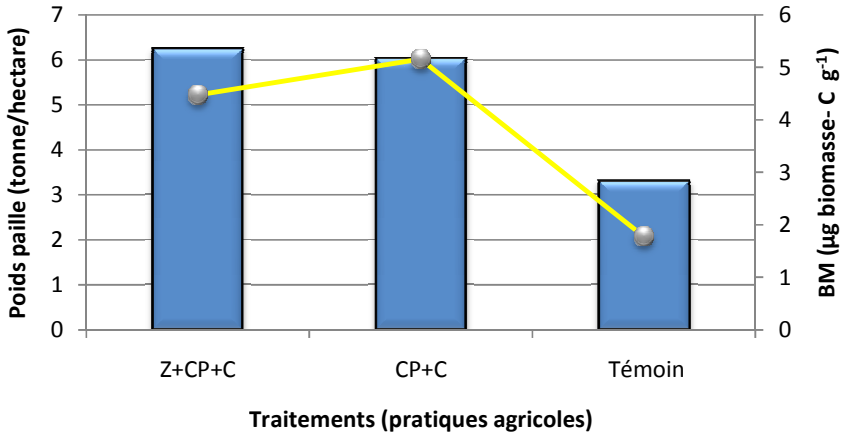


Figure 62 : Biomasse microbienne (µg biomasse-C g^{-1}) et poids paille du sorgho (T/ha) cultivé au champ

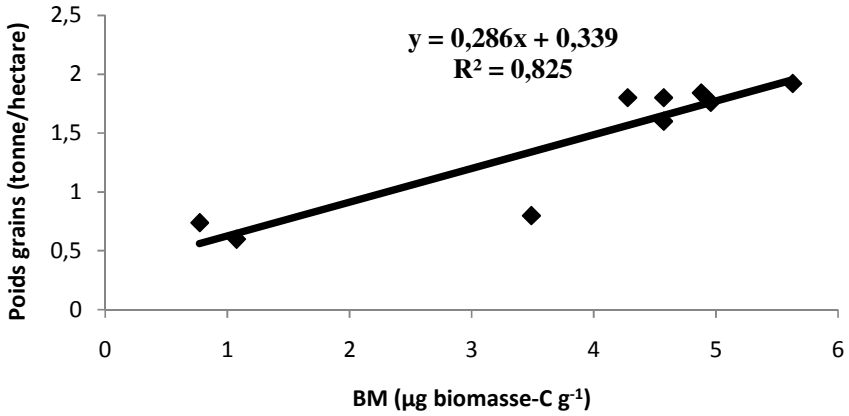


Figure 63 : Corrélation entre la BM et la production de grain de sorgho,

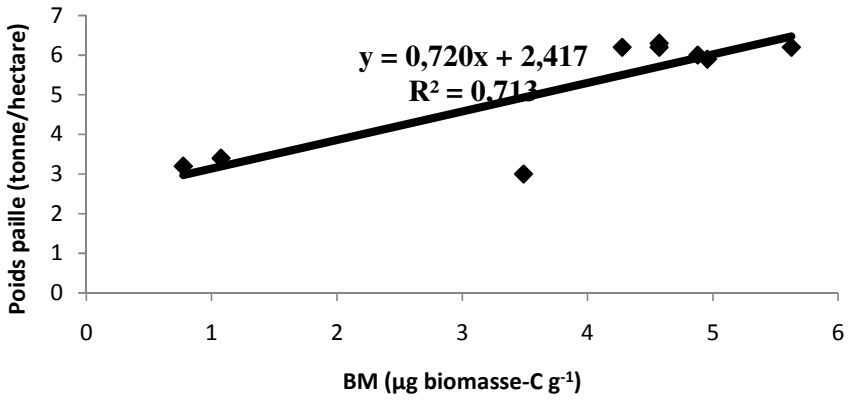


Figure 64: Corrélation entre la BM et la production de paille de sorgho,

5.6 Essai d'optimisation de la mise en place des cordons pierreux

En rappel, dans cette partie les parcelles P1, P2 et P3 correspondent respectivement aux parcelles de taille 15,5 ; 18,5 et 22 m.

5.6.1 Effet de la taille des parcelles sur les caractéristiques physique et chimique des sols

5.6.1.1 Variation du pH

L'analyse du Tableau 1 montre une variation du pH en fonction des types de parcelles (Tableau19). Ainsi, on note des valeurs élevées au niveau des parcelles P1 (6,63) et P2 (6,89) contrairement à la parcelle P3 ou le pH est de 6 pour la couche 0-10 cm. Pour ce qui est de la couche 10-20 cm on a la même tendance que celle de la couche 0-10 cm avec 5,87 pour P1 et 6,16 pour P2 qui sont nettement supérieures à celle de P3 (5,2). Quant au pH_{KCl}, il suit la même tendance que le pHeau tant en surface qu'en profondeur. On peut noter dans la couche 0-10 cm 5,98 pour P1, 6,02 pour P2 et 5,12 pour P3.Dans la couche 10-20 cm les valeurs sont

de 5,67; 5,95 et 4,46 respectivement pour P1, P2 et P3. On peut également faire la remarque que le pH et le pH-$_{KCl}$ de la parcelle P2 sont supérieurs à ceux de la parcelle P1. Il existe en outre des différences significatives entre ces traitements quelle que soit la couche au seuil de 5% selon le test de Tukeys (Tableau 19).

5.6.1.2 Conductivité électrique

Dans la couche 0-10 cm les valeurs de la conductivité électrique sont de 247,47**µS/cm** pour P2, 175,66**µS/cm** pour P3 et 163,78**µS/cm** pour P1. Dans la couche 10-20 cm on a la même variation avec 147**µS/cm** pour P2, 78,86**µS/cm** pour P3 et 74,83**µS/cm** pour P1. Il n'y a pas de différence significative entre les traitements dans la couche 0-10 cm. Par contre, dans la couche 10-20 cm on note une différence significative entre la parcelle P2 et les autres traitements (Tableau 19).

Tableau 19 : pH ; pH-$_{KCl}$ et conductivité électrique des différentes parcelles

Parcelles	pH		pH-KCl		CE	
	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm
P1	6,63 a	5,87 a	5,98 a	5,67 a	163,78 a	74,83 b
P2	6,89 a	6,16 a	6,02 a	5,95 a	247,47 a	147,00 a
P3	6 b	5,20 b	5,12 b	4,46 b	175,66 a	78,86 b

5.6.1.3 Teneur en carbone organique

La teneur en carbone de la Parcelle P3 est faible par rapport à celle des parcelles P2 et P1 quelque soit la couche de prélèvement (Figure 65). Elle varie pour la parcelle P3 de 4,23 mg g^{-1} sur l'horizon 0-10 cm à 4,10 mg g^{-1}dans la couche 10-20 cm.

Pour les parcelles P1 et P2 on note pour la couche 0-10 cm 9,18 mg g^{-1} et 8,28 mg g^{-1} respectivement. Dans la couche 10-20 cm elle baisse pour ces deux parcelles mais reste supérieure à celle de P3 et sont de l'ordre de 8,38 mg g^{-1} pour P1 et 6,82 mg g^{-1} pour P2. L'analyse de variance montre des différences significatives entre les parcelles P1 et P2 et la parcelle P3 quelle que soit la couche (Tableau 20).

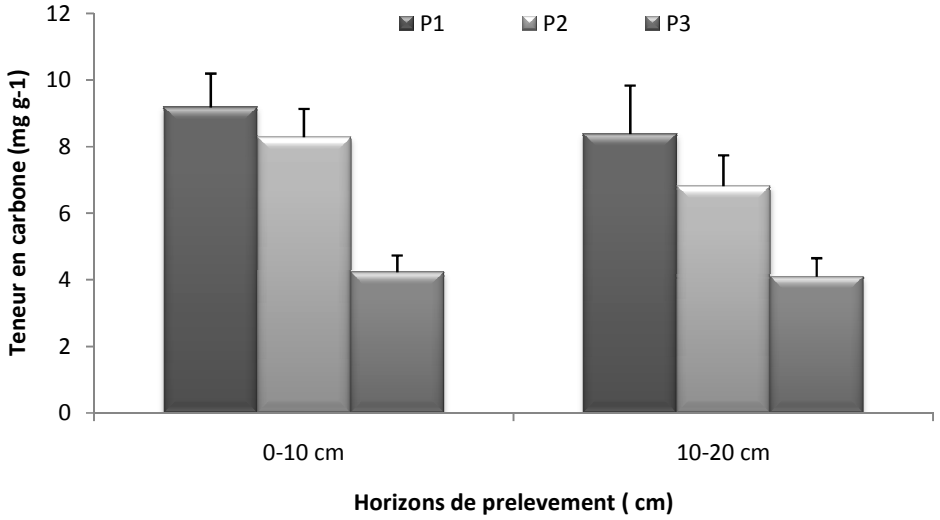


Figure 65 : Teneur en carbone organique des différentes parcelles

5.6.1.4 Teneur en azote total

Les teneurs en azote sont croissantes et évoluent de 0,48 mg g^{-1} pour P3; 0,54 mg g^{-1} pour P2 et 0,56 mg g^{-1} pour P1 pour la couche 0-10 cm (Figure 66).Dans la couche 10-20 cm elles sont également croissantes. On note 0,18 mg g^{-1} pour P3, 0,49 mg g^{-1} pour P1 et 0,50 mg g^{-1} pour P2. L'analyse de variance ne montre aucune différence significative entre les parcelles P1 et P2 quelle que soit la couche de prélèvement. Par contre il existe des différences significatives entre les parcelles P1, P2 et P3 sur les 2 deux couches de prélèvement (Tableau 20).

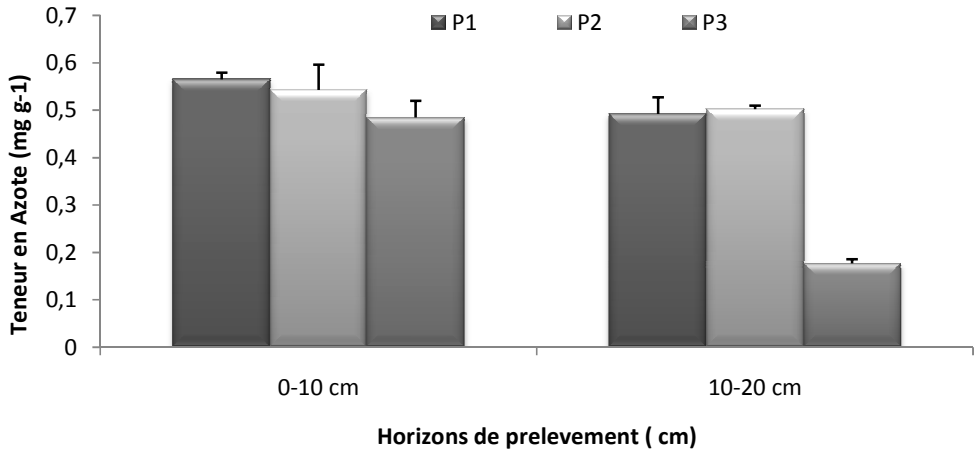


Figure 66 : Teneur en azote total des différentes parcelles

5.6.1.5 Rapport C/N

Le rapport C/N est plus élevé sur les parcelles P 1 et P2 par rapport à la P3 dans la couche 0-10 cm. Dans cette couche, les valeurs sont de 16,27 pour P1, 15,43 pour P2 et 8,72 pour P3 (Figure 67).Dans la couche 10-20 cm les valeurs obtenues restent dans le même ordre de grandeur pour P1 (17,08) et P2 (13,58) mais croissent de façon considérable pour P3 (23,10) (Figure 67).On note des différences significatives entre ces traitements quelle que soit la couche de prélèvement au seuil de 5% (Tableau 20).

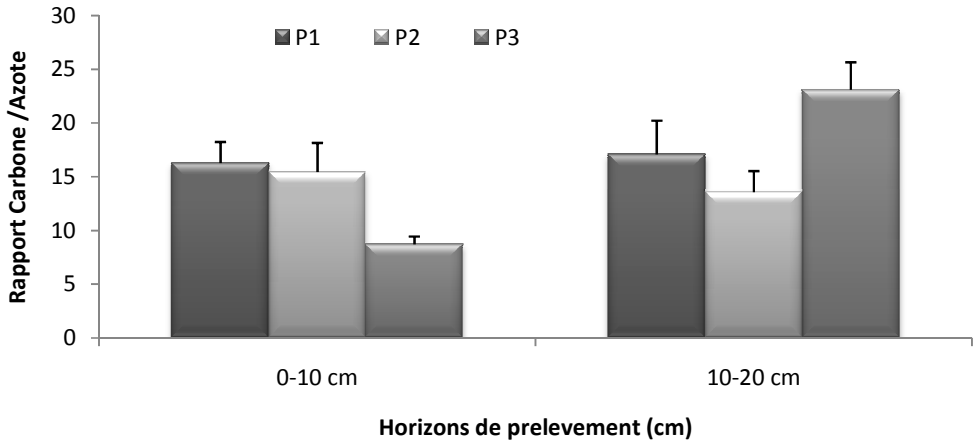


Figure 67: Rapport C/N des différentes parcelles

5.6.1.6 Teneurs en phosphore assimilable

Les teneurs en phosphore assimilable des parcelles sont faibles de façon générale (Figure 68).Dans la couche 0-10 cm on a enregistré des valeurs de 0,04 mg g^{-1} pour P1, 0,08 mg g^{-1}pour P2 et 0,02 mg g^{-1} pour P3. Ces valeurs passent à 0,01 mg g^{-1} pour P1, 0,03 mg g^{-1} pour P2 et 0,01 mg g^{-1} pour P3 sur la couche 10-20 cm. Il existe en outre des différences significatives entre la P2 et les autres traitements au seuil de 5% selon Tukey quelle que soit la couche (Tableau 20).

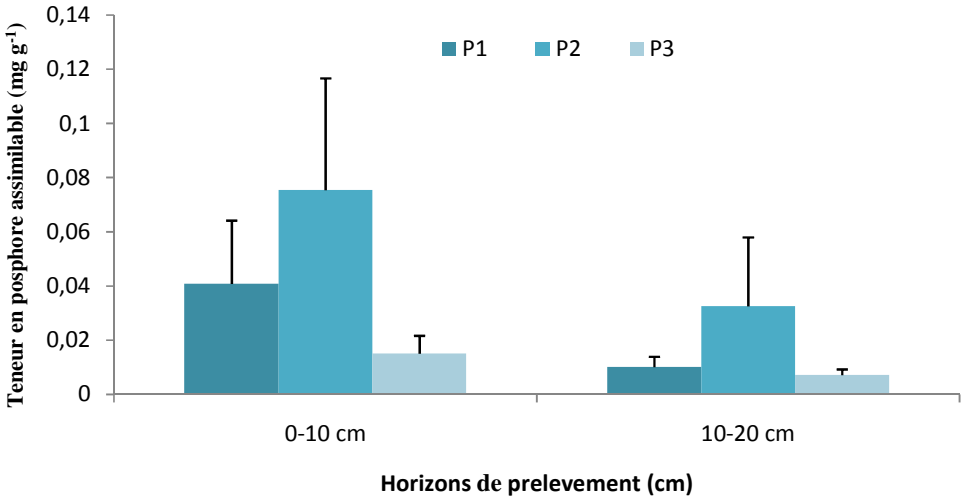


Figure 68 : Teneurs en phosphore assimilable des différentes parcelles

Tableau 20: Comparaison des moyennes des teneurs en C, N, Pa et C/N

Parcelles	N (mg.g^{-1})		C (mg.g^{-1})		C/N		Pa (mg.g^{-1})	
	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm
P1	0,56 a	0,49 a	9,18 a	8,38 a	16,27 a	17,08 b	0,04 ab	0,01 b
P2	0,54 a	0,50 a	8,28 a	6,82 a	15,43 a	13,58 b	0,08 a	0,03 a
P3	0,48 b	0,18 b	4,23 b	4,10 b	8,72 b	23,10 a	0,02 b	0,01 b

5.6.1.7 Cations échangeables et CEC

Pour Na^+ et Mg^{2+} il n'ya pas de différences significatives entre les parcelles quelle que soit la couche de prélèvement (Tableau 21). Pour K^+, on note une différence significative entre la P1 et les autres parcelles au seuil de 5% sur les deux couches de prélèvement. Pour Ca^{2+} seule la parcelle P2 se distingue significativement des autres traitements.

En ce qui concerne la capacité d'échange cationique, et dans les 2 couches on note des valeurs élevées pour P1 et P2 par rapport à P3. Des différences significatives sont enregistrées entre P1, P2 et P3 dans la couche 0-10 cm au seuil de 5% (Tableau 21).Dans la couche 10-20 cm par contre, seul le traitement P2 est significativement différent du traitement P3.

Tableau 21 : Cations échangeables et capacité d'échange cationique des différentes parcelles

Cations échangeables	Profondeur de prélèvement	P1	P2	P3
Na^+ (méq/100g)	**0-10 cm**	1,100 a	0,296 a	0,751 a
	10-20 cm	0,313 a	0,893 a	0,407 a
Mg2+ (méq/100g)	**0-10 cm**	3,000 a	1,972 a	2,138 a
	10-20 cm	3,740 a	2,929 a	2,783 a
K+ (méq/100g)	**0-10 cm**	1,860 a	0,879 b	0,565 b
	10-20 cm	1,224 a	0,627 b	0,279 b
Ca2+ (méq/100g)	**0-10 cm**	17,226 b	22,130 a	12,532 b
	10-20 cm	18,991 ab	29,784 a	18,054 b
Somme des CE	**0-10 cm**	23,186 a	25,277 a	15,986 b
	10-20 cm	24,268 ab	34,233 a	21,524 b
CEC (méq/100g))	**0-10 cm**	15,450 a	19,908 a	8,117 b
	10-20 cm	24,353 ab	29,412 a	16,187 b

5.6.2 Microflore du sol

5.6.2.1 Respiration basale

On note pour les parcelles P1, P2 et P3 les valeurs de RB de 0,194µg C-CO_2 g^{-1} h^{-1}, 0,250µg C-CO_2 g^{-1} h^{-1} et 0,122µg C-CO_2 g^{-1} h^{-1}(Figure 69) respectivement.

Cependant l'analyse statistique montre qu'il n'existe pas de différence entre ces traitements au seuil de 5% selon le test de Tukey.

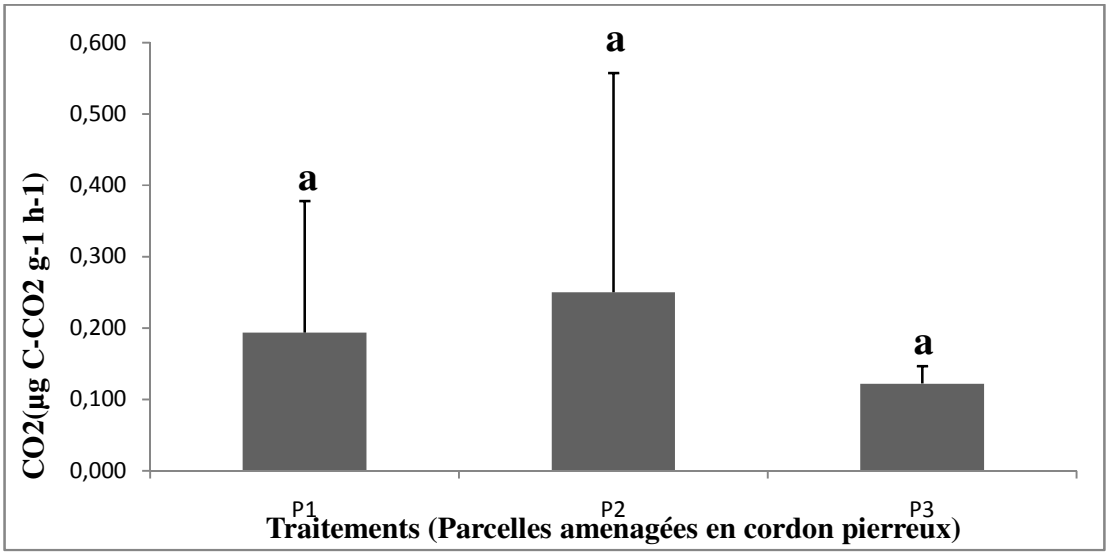


Figure 69 : Respiration basale (RB) des différentes parcelles

5.6.2.2 Biomasse microbienne

Pour la biomasse microbienne (Figure 70) on note une forte valeur pour la parcelle P2 (16,071µg biomasse-C g^{-1}) qui est nettement supérieure à celle des traitements P1(5,595µg biomasse-C g^{-1}) et P2(6,324µg biomasse-C g^{-1}).En revanche l'analyse statistique ne révèle pas de différence entre les traitements au seuil de 5% selon le test de Tukey.

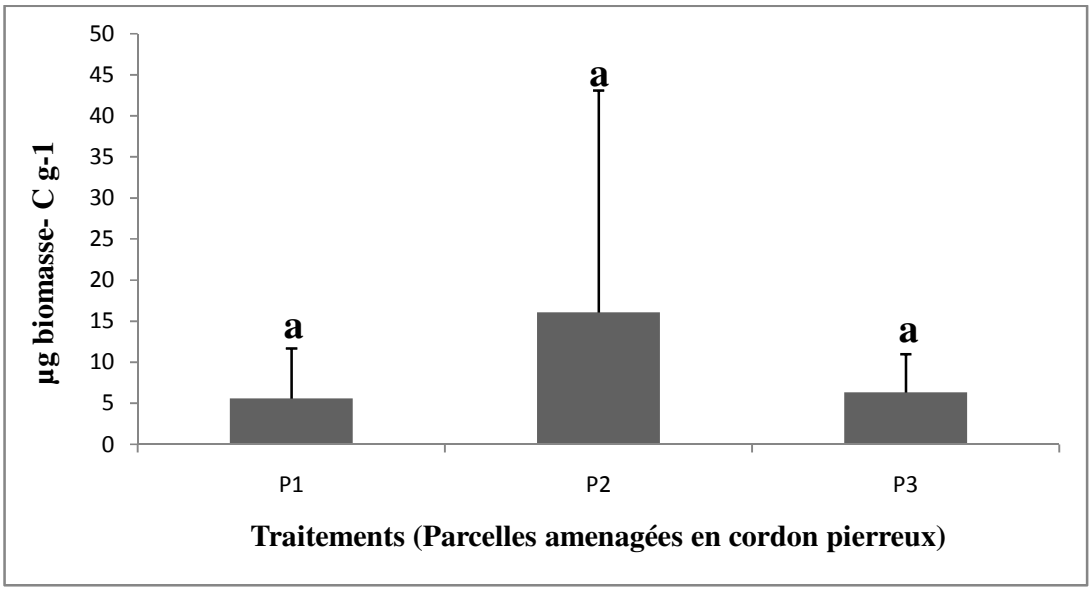


Figure 70: Biomasse microbienne (BM) des différentes parcelles

5.6.2.3 Quotient métabolique

Le quotient métabolique varie de 0,031µgC-CO_2biomasse-C g^{-1} h^{-1} pour P3 à 0,071µgC-CO_2biomasse-C g^{-1} h^{-1} pour P1 (Figure 71). Mais il n'existe pas de différence statistique entre ces parcelles au seuil de 5% selon le test de Tukey.

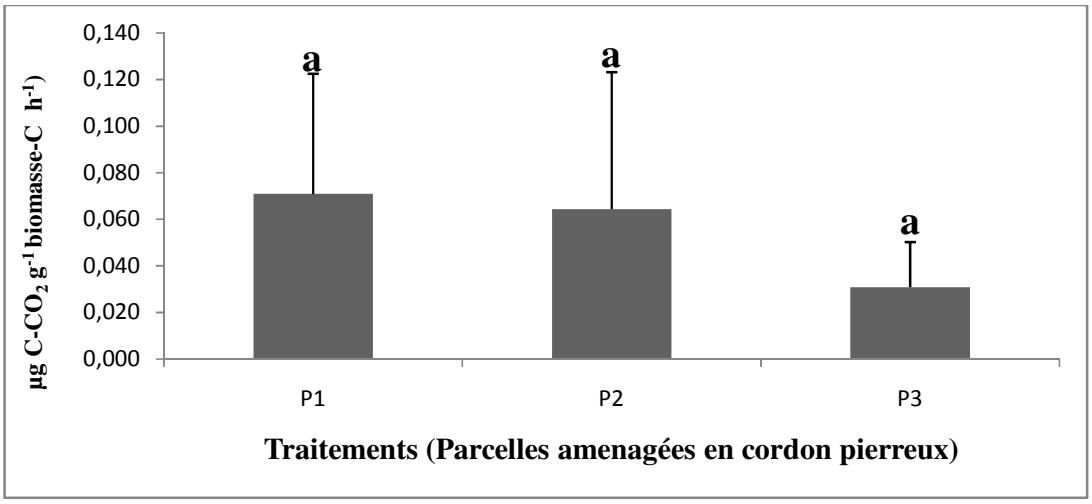


Figure 71 : Quotient métabolique (qCO_2) des différentes parcelles

5.6.2.4 Indice de diversité de Shannon-Weaver H'

Pour cet indice, la valeur la plus faible est observée au niveau de la parcelle P2 (2,144). Les parcelles P1 et P3 ont respectivement 2,362 et 2,196 comme indice de diversité (Figure 72).Mais l'analyse statistique ne révèle pas de différence significative entre les traitements au seuil de 5% selon le test de Tukey.

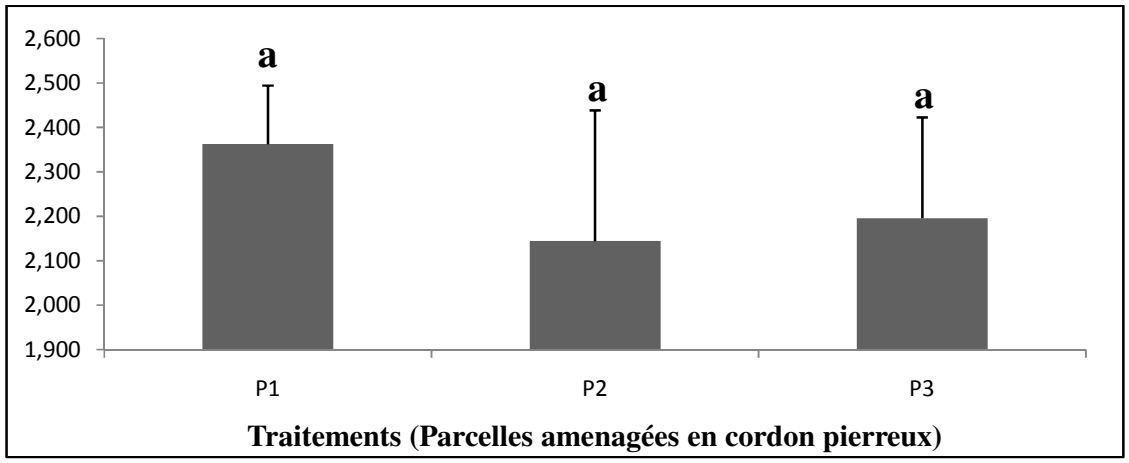


Figure 72 : Indice de Shannon-Weaver H' des sols

5.6.2.5 Equitabilité catabolique E

A l'image de l'indice de diversité H', celui de l'equitabilité est plus élevé chez P1, puis P3 et la valeur la plus faible est enregistrée chez P2 (Figure 73).Cependant, il n'y a pas de différence significative entre ces traitements.

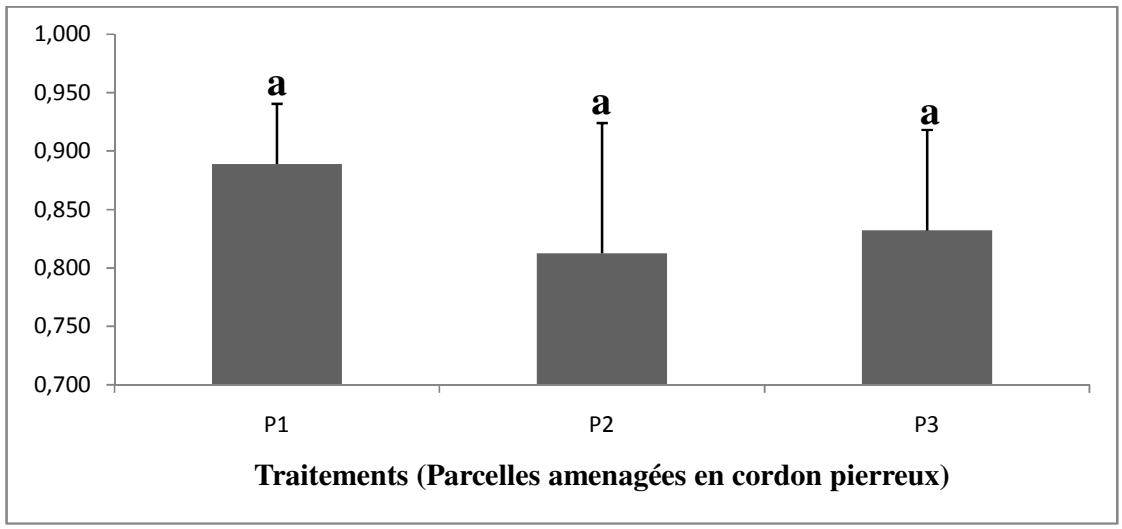


Figure 73 : Indice d'équitabilité E des sols

5.6.3 Gradient de fertilité avec la pente

5.6.3.1 Paramètres physiques et chimiques

A la suite des premiers résultats sur les tailles des parcelles nous avons jugé important de vérifier s'il existait un gradient de fertilité des sols en fonction de la position à l'intérieur des parcelles. Les tableaux 22 et 23 donnent les valeurs des différents paramètres de fertilité du sol aux différents points de prélèvement. On peut noter qu'il n'existe pas un ordre de grandeur selon que l'on s'éloigne des lignes de cordon pierreux,

Tableau 22: pH et conductivité électrique

Distance avec la ligne de cordon pierreux	pH_{eau}		pH_{KCl}		CE	
	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm
0	6,12	5,68	5,63	5,04	276,77	92,33
0,5	6,64	5,99	5,74	6,05	188,06	143,38
1	6,47	5,60	5,49	5,38	225,94	132,97
2	6,68	6,04	5,65	5,59	186,70	131,09
5	6,65	5,51	5,93	4,90	134,45	58,50
15	6,49	5,66	5,81	5,18	161,90	65,15

Tableau 23 : Teneur en C, N, Pa et rapport C/N

Distance avec la ligne de cordon pierreux	N ($mg.g^{-1}$)		C($mg.g^{-1}$)		C/N		Pa ($mg.g^{-1}$)	
	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm
0	0,505	0,384	7,67	5,83	15,17	16,37	0,034	0,017
0,5	0,523	0,400	6,83	7,17	12,85	19,17	0,055	0,015
1	0,557	0,377	7,37	6,90	13,24	19,12	0,051	0,030
2	0,552	0,383	7,03	5,87	12,46	17,77	0,052	0,019
5	0,515	0,386	7,40	6,67	14,04	17,99	0,025	0,010
15	0,535	0,415	7,10	6,17	13,09	17,10	0,045	0,010

De plus, les Figures 74, 75, 76 et 77 montrent qu'il n'existe pas de forte corrélation entre le pH, les teneurs en carbone, azote, Pa et les distances de prélèvement quelle que soit la couche de prélèvement.

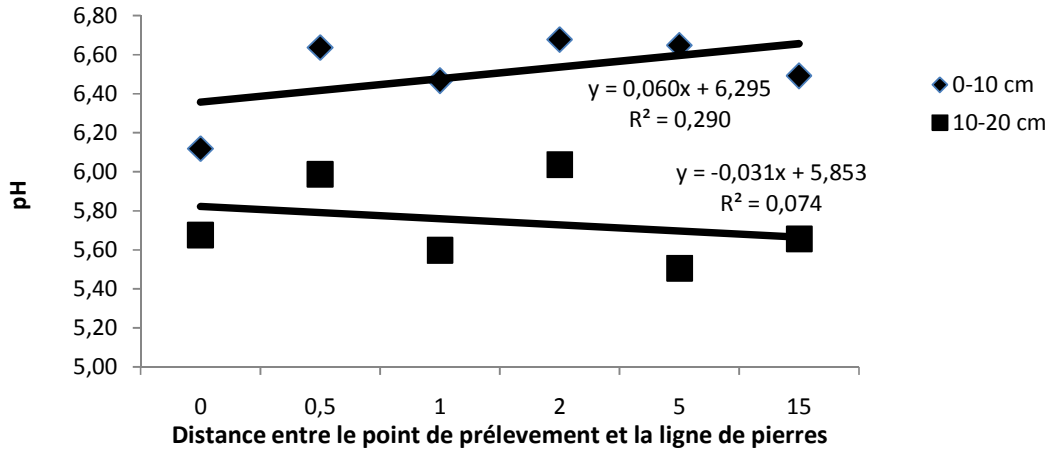


Figure 74 : Relations entre la distance de prélèvement et le pH des sols

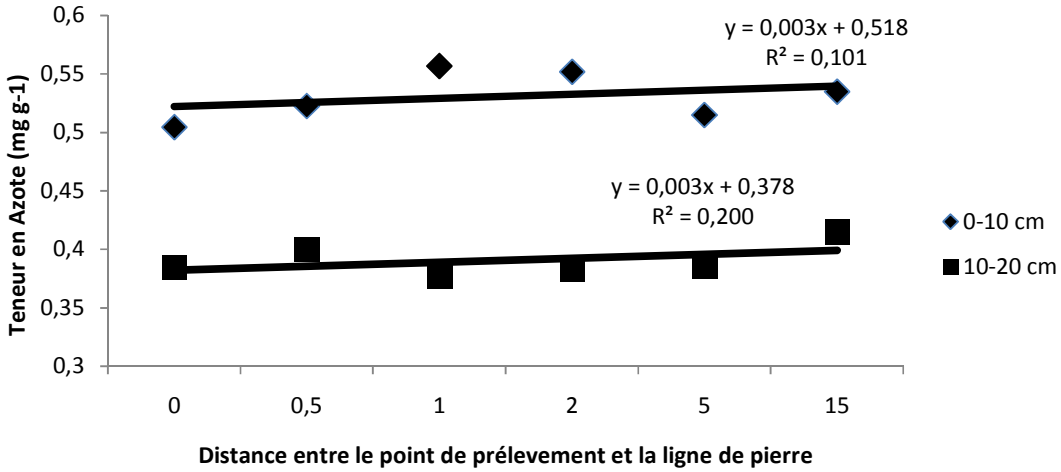


Figure 75 : Relations entre la distance de prélèvement et la teneur en azote des sols

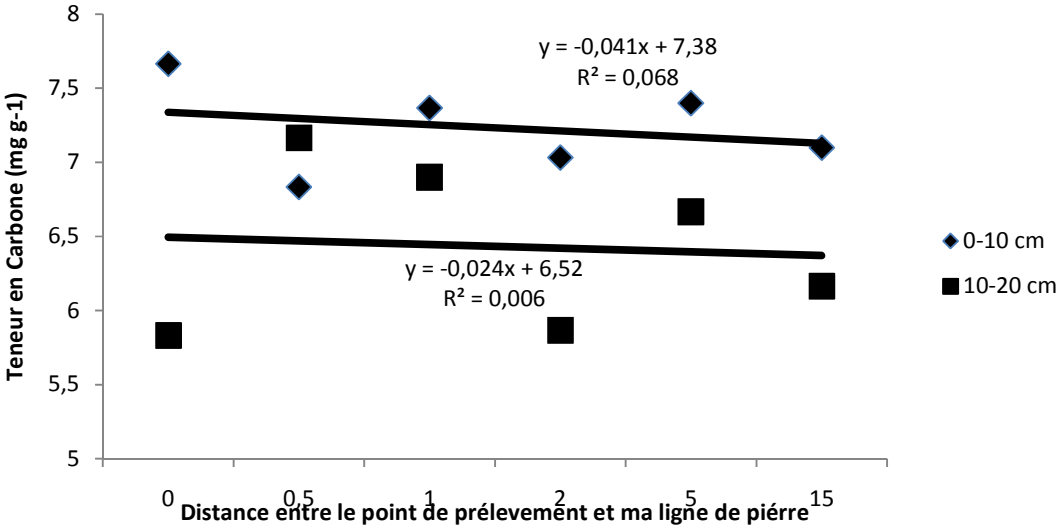


Figure 76 : Relations entre la distance de prélèvement et la teneur en carbone des sols

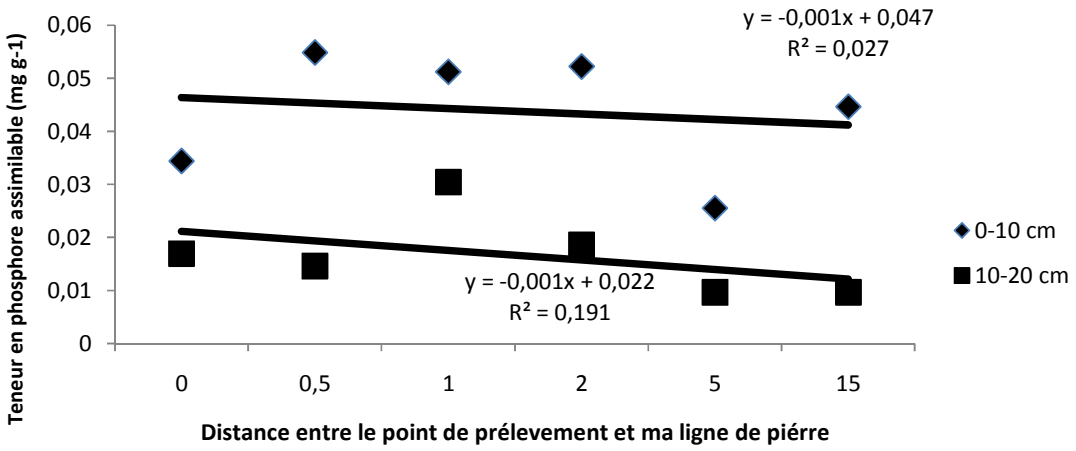


Figure 77: Relations entre la distance de prélèvement et la teneur en phosphore assimilable des sols

5.6.3.2 Paramètres microbiologiques

Il s'est agi de vérifier s'il existait un gradient de fertilité en allant de haut vers le bas de la pente. Les paramètres biologiques mesurés sont la respiration basale, la biomasse microbienne, le quotient métabolique, les indices de diversité de H' et d'équitabilité E. Ces paramètres biologiques montrent une grande variabilité en fonction des distances de prélèvement (Figure 78, 79, 80, 81, 82). Ceci est valable pour tous les paramètres mesurés ; si on considère par exemple la biomasse microbienne on note une augmentation allant de 0 à 1 m; puis une baisse pour 2 m et ensuite une augmentation considérable pour 5m et une baisse drastique pour 15 m. Il n'est donc pas clairement établit un gradient de fertilité en fonction de la distance de prélèvement des sols.

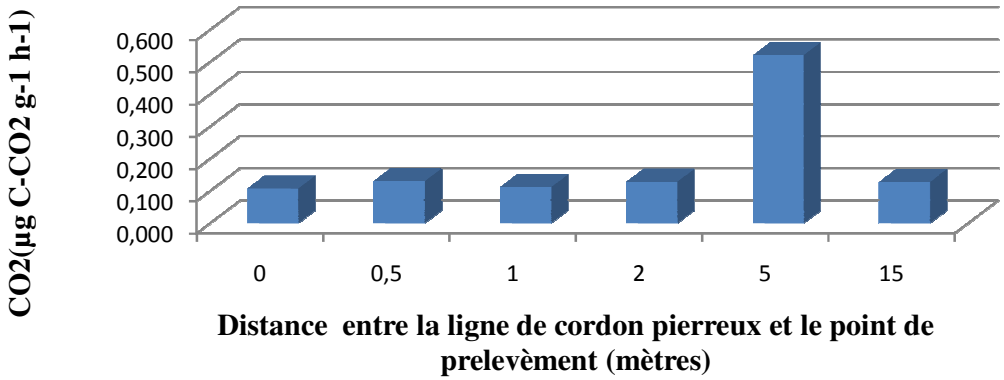


Figure 78: Respiration basale (RB) des points de prélèvement

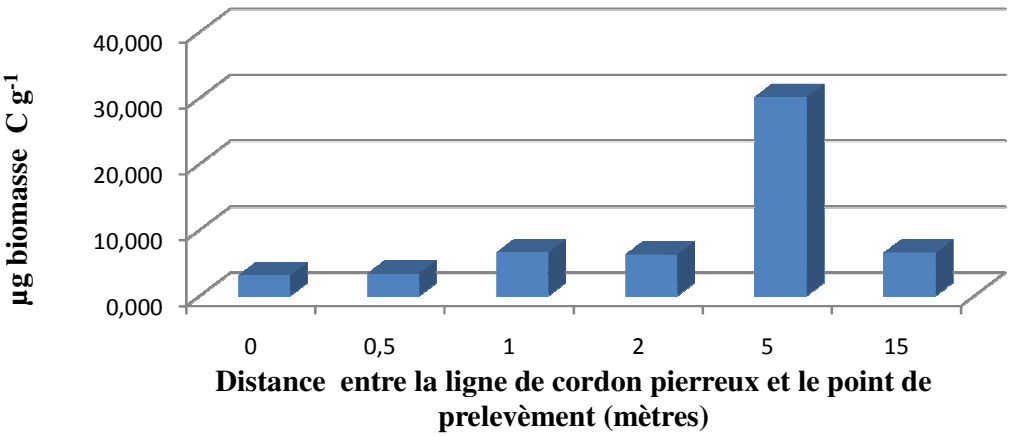


Figure 79: Biomasse microbienne (BM) des points de prélèvement

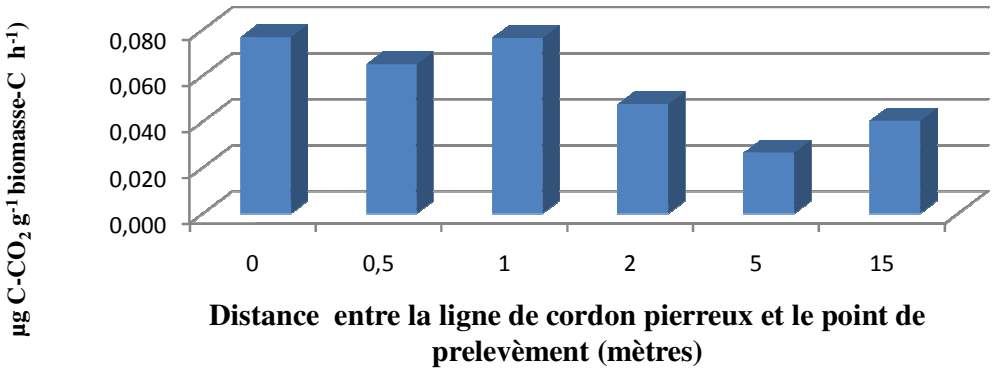


Figure 80 : Quotient métabolique (qCO_2) des points de prélèvement

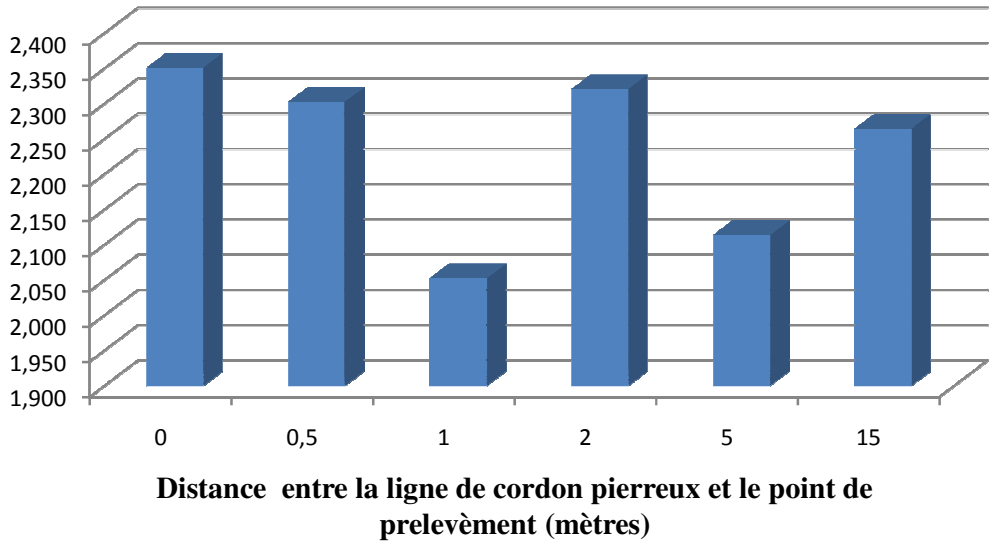


Figure 81 : Indice de Shannon-Weaver H' des points de prélèvement

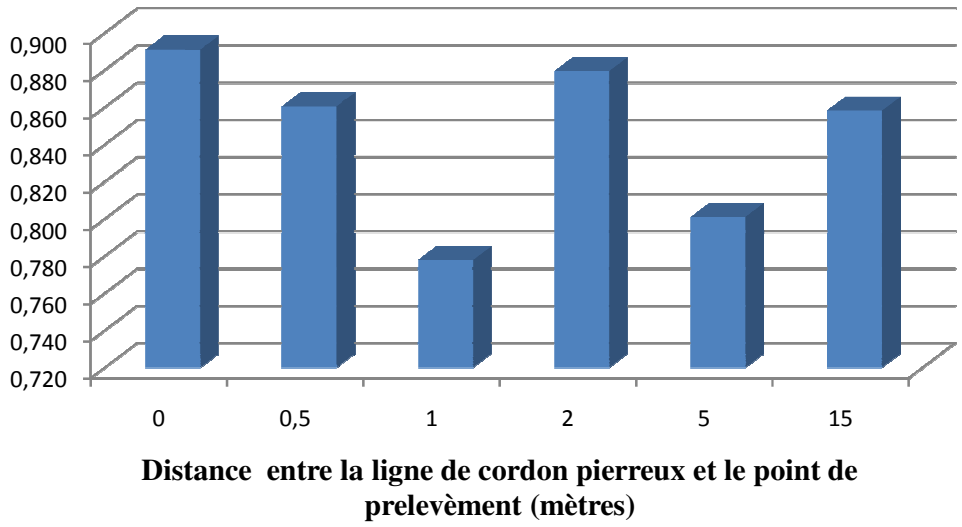


Figure 82: Indice d'équitable E des points de prélèvement

Les détails de l'ensemble de ces paramètres biologiques par parcelle et par zone de prélèvement sont donnés en Annexes 4 (Figure 86 à 90).

CHAPITRE VI: DISCUSSION

DETERMINANTS DE L'ADOPTION DES PRATIQUES AGROECOLOGIQUES

Les pratiques agroécologiques se sont imposées dans les communautés agricoles en Afrique Soudano-sahélienne soit comme un phénomène de mode soit comme une nécessité corrective des difficultés naturelles ou induites par les acteurs eux-mêmes dans un contexte de changements globaux. Ces pratiques dites novatrices dans la zone d'étude sont anciennes et traditionnelles dans certaines zones du pays comme le Nord où plusieurs études tant en milieu contrôlé qu'en réel ont été conduites. Des résultats pertinents ont été obtenus.

Selon nos investigations 60,8 % de producteurs rencontrés pratiquent au moins une des techniques agroécologiques qui leur ont été enseigné. Ce taux est nettement supérieur à celui obtenu au Cameroun (54%) pour l'adoption des techniques anti érosives (Ngondjeb *et al.,* 2011) Selon nos résultats, 60% des producteurs disposeraient de matériels agricoles (charrue+âne). Certes ce taux d'équipement est en dessous de la moyenne de 76,67% trouvée par Gomgnimbou *et al.,* (2010) dans la même région de l'Est mais il a permis à ces exploitants de passer au labour superficiel et donc de réduire significativement la charge et la pénibilité du travail dans la mesure où ces dernières se révèlent comme des facteurs importants de l'adoption des techniques agroécologiques selon les producteurs. La pratique du labour superficiel qui en résulte reste cependant l'un des résultats majeurs de l'intervention du projet vu l'effet et l'adoption qui s'en sont suivis. L'usage de la culture attelée largement adoptée par les producteurs est un salut parce que plus légère que la traction motorisée d'une part et moins pénible que le grattage d'autre part. Ce processus dans la zone d'étude est comparable au projet de motorisation intermédiaire dans le grand ouest du Burkina Faso débuté en 1977 et achevé en 1992. Ce programme a permis d'atteindre environ un taux d'équipements attelé de 17% avec environ 300 tracteurs TE 28CV (Faure, 1994). Ce type d'instrument répond mieux aux conditions pédoclimatiques de la zone (Batamoussi Hermann *et al.,* 2015).

Quant aux associations culturales elles semblent n'avoir pas tellement évolué sauf que le niébé a tendance à prendre une place un peu plus importante. Ce qui est plus remarquable c'est la perception que les producteurs ont désormais des associations culturales qui jadis était pratiquées de façon culturelle. Ce résultat est dû sans doute à l'introduction de l'agroécologie et des différentes formations reçues.

Mais ces associations restent dominées par le sorgho (sorgho/niébé) du fait de la culture et des habitudes culturales mais aussi et surtout par la nécessité de satisfaction des besoins alimentaires et nutritionnels des familles.

Les associations culturales sont pratiquées dans la zone soudano-sahélienne d'Afrique pour les raisons traditionnelles et de besoin de sécurité alimentaire par la diversification (Norman ,1977 cité par Bambara *et al.,* 2008). Par ailleurs, une étude menée en Côte d'Ivoire a montré que certaines associations ont entrainé la baisse des rendements des cultures associées (N'goran *et al.,* 2011).Des résultats similaires ont été obtenus à Gampèla au Burkina Faso sur un essai agronomique associant des variétés sélectionnées de sorgho et niébé sur des parcelles sous amendement de bois et raméaux fragmentés (Hien *et al*, in press). La concurrence pour la lumière et les nutriments serait à la base de cette association. Il s'avère donc nécessaire de pousser les investigations pour obtenir des protocoles permettant d'optimiser ces associations céréales légumineuses (variétés, modes de semis, temps de semis…).

Le mode d'apport des amendements organiques aux parcelles a beaucoup évolué avec l'introduction de l'agroécologie. Il s'agit essentiellement de compost et de fumier avec cependant un fort taux de paysans qui ne font pas d'apport où se contentent simplement de laisser quelques résidus de récolte sur les parcelles. Certes le compostage semble adopté par environ 50 % des producteurs rencontrés mais les conditions de fabrication laissent souvent à désirer, toute chose qui peut ternir la qualité finale du compost. En effet, le descriptif reluisant qui ressort des entretiens contraste souvent avec les réalités lorsqu'on observe les fosses pour la fabrication du compost. Qu'à cela ne tienne ces apports au champ permettent d'augmenter le stock organique des sols, maintiennent la stabilité structurale et augmentent la perméabilité du sol à l'eau et à l'air (Soltner, 2003). En plus d'être source d'éléments nutritifs tels que l'azote, le phosphore, le potassium, le soufre et de plusieurs micronutriments, les matières organiques améliorent les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols et partant les productions agricoles (Lompo *et al.*, 2009). Le compostage des substrats apparaît comme un élément essentiel de l'agroécologie; il semble malgré tout plus indiqué que l'apport de fumier directement au champ. En effet, l'azote contenu dans le fumier est essentiellement sous forme ammoniacale et vu les conditions de dépôt et d'utilisation dans nos zones le fumier peut perdre cet élément important et rare dans nos sols (Weill *et al.,* 2009). Contrairement au compost dans lequel cet élément est essentiellement sous forme organique et mis progressivement à la disposition de la plante.

Les techniques de CES/DRS quasi inexistantes dans la zone se sont finalement imposées comme des solutions aux différents problèmes soulignés par les producteurs. Ainsi, on note une présence remarquée des cordons pierreux et dans une moindre mesure le zaï. Il convient de relever que les parcelles généralement aménagées en zaï comportent également des cordons pierreux. La prédominance des cordons pierreux est probablement liée à leur caractère le plus souvent communautaire et la durabilité des effets visibles par rapport aux bandes enherbées. Quant au faible taux du zaï cela peut s'expliquer par le faite que bien que les terres soient dégradées et peu fertiles dans la zone les terres totalement dénudées (zippelé) à l'origine de cette technologie dans la région nord ne sont pas très répondues dans la zone d'étude. En effet, l'avantage de ces technologies est qu'elles ont fait l'objet de plusieurs études (Roose *et al*., 1995 ;Sawadogo *et al.*, 2008, Zougmoré *et al.,* 2004). De plus, au-delà de leurs performances agronomiques, elles sont facilement adoptées par les petits producteurs (Sawadogo *et al.*, 2008; Degué*et al.*, 2012).

Différents facteurs peuvent influencer l'acceptation et/ou l'adoption des techniques nouvelles dans une zone donnée. Nos résultats montrent qu'il existe une corrélation positive entre probabilité d'adopter une pratique agroécologique et les variables matériels agricoles de travail du sol et de compostage, la formation en agroécologie et la perception du producteur sur l'effet des pratiques sur le sol. En outre, il ressort que le fait qu'un chef de ménage soit analphabète influence négativement et de façon significative l'adoption des techniques agroécologiques. Certes, le niveau d'éducation dans sa globalité n'a pas été investigué mais ces résultats sont conformes à ceux trouvés par Fentie *et al*. (2013). Ceux-ci ont montré que les facteurs comme le niveau d'instruction du chef de ménage affectaient positivement l'adoption d'une technologie de conservation des eaux et des sols. Par contre Ngondjeb *et al.* (2011) ont trouvé au Cameroun que le niveau d'éducation n'avait aucune influence sur l'adoption des techniques de lutte antiérosives. Il en découle donc que l'adoption des pratiques de conservation des eaux et des sols dépend des régions et des caractéristiques socio-économiques des producteurs (Lapar et Pandey, 1999) et le bénéfice à court terme guide la plupart du temps le choix des producteurs (Zoungrana, 2004).

En outre, il apparaît que les paysans ont des indicateurs propres (Kissou, 2014) à eux pour déterminer la qualité de leurs sols afin de les réserver aux différentes spéculations. En effet, pour ces derniers, la fertilité d'un sol n'apparaît pas comme un vague concept, mais comme une réalité physique traduite par l'aspect du sol ou par sa production, mais surtout par la présence d'une espèce végétale ou d'un groupe d'espèces végétales (Somé *et al.*, 1999).

Ils se basent le plus souvent sur la texture et la couleur du sol (Saïdou *et al.*, 2004) pour qualifier la fertilité de leur sol. Ces stratégies leur permettent au bout non seulement d'affecter les parcelles à des cultures qui leur semble le plus adaptées mais aussi de planifier les apports et autres fertilisations futures.

Impact des techniques agroécologiques sur les paramètres physiques et chimiques du sol

Par rapport au témoin (26,43%) on note une nette augmentation de la teneur en éléments fins des parcelles agroécologiques (CP+C et Z+CP+C) et de la VN (jusqu'à 56,67%). Cela s'explique par le fait que l'ensemble des traitements agroécologiques présentent un dispositif de cordons pierreux et de trous de zaï. En effet la mise en place de cordons pierreux qui peuvent être assimilés à des barrières physiques favorisent la sédimentation des particules fines du sol (David, 2003; Ndiaye, 2009). De plus, il est démontré que les techniques du zaï et assimilées permettent de réduire le ruissellement, donc d'économiser de l'eau, et d'éviter les pertes en terres et par rapport aux techniques traditionnelles le ruissellement et l'érosion sont réduits de 10 fois (Bouzou-Moussa et Dan Lamso*,* 2004).

Pour tous les traitements agroécologiques (Z+CP+C et CP+C) et la VN l'apparition de croutes microbiotiques est notable à la surface du sol. Ces derniers se forment par la colonisation de la surface du sol par des communautés microbiennes telles que les cyanobactéries, les lichens ou algues eucaryotes (Campbell *et al.*, 1989). Quant au témoin absolu, il révèle la présence de croûtes structurales. Les observations macro et micromorphologique recoupées à la DRX montre la présence d'éléments tels que l'argile (faibles proportions), les limons et surtout de sables fin et grossier. Cela est d'autant plus normal que l'analyse granulométrique réalisé sur les sols de la zone montre des textures sablo-limoneuse à sablo-limono-argileux avec une faible stabilité structurale de façon générale. Or, il est démontré qu'une faible stabilité structurale favorise l'apparition des croûtes (Le Bisonnais et Le Souder, 1995). Les croûtes à la surface du sol ont deux conséquences principales : elles empêchent l'émergence des jeunes pousses et influencent les processus hydrauliques à la surface du sol, c'est à dire l'infiltration et l'évaporation (Le Bisonnais et Le Souder, 1995). Mais ces derniers ont également affirmé que la battance ne dépend pas uniquement de la stabilité structurale mais aussi du couvert végétal et des conditions climatiques. Contrairement à cette affirmation généralisée sur les croûtes, il ressort que les croûtes macrobiotiques jouent un rôle positif dans la préservation des sols, augmentent leur résistances à l'érosion (Campbell *et al.*, 1989) et améliorent la diversité des organismes vivants dans le sol (Li *et al.*, 2006).

La contribution des croûtes microbiotiques (biologiques) à la diversité des espèces dans le sol peut être attribuée à la surface du sol stabilisée fournissant des habitats appropriés et des sources alimentaires pour les insectes (Li *et al.*, 2006).La différence entre les traitements se situe surtout au niveau de la présence et de l'importance de la matière organique ainsi que des microorganismes (cyanobactéries) et la taille des grains présents. Ainsi, donc, conformément aux résultats des analyses sur les teneurs en MO et des tests microbiologiques on observe les mêmes variations au niveau de l'analyse des croûtes. En effet, on note plus de MO et même de filament de cyanobactéries au niveau des traitements agroécologiques et de VN comparativement au TA. En effet, la matière organique induit un double effet : rétention d'eau et gonflement. Ce qui peut influer sur l'apparition de l'érosion hydrique et éolienne. En effet, il a été démontré que les croûtes microbiotiques (biologiques) permettent de réduire et limiter l'érosion hydrique et éolienne (Warren, 2014). Le gonflement de la matière organique va ainsi permettre une ouverture d'une porosité. Les bactéries interviennent également dans la formation d'une porosité secondaire ainsi que dans la rétention d'eau par absorption dans leurs filaments mais également sur les particules par effet de glue (Malam Issa *et al.*, 2001), de filets et d'enrobage dans la matière organique. Cela se confirme par le résultat du test d'humidité ou on observe une nette amélioration au niveau des traitements agroécologiques et de VN par rapport au TA dans l'horizon de surface. Ceci met à nu le rôle prépondérant des caractéristiques de la surface du sol sur l'infiltration, notamment du type de croûte (Cazenave and Valentin, 1991).Les aménagements agroécologiques ont en outre permis d'améliorer et de relever le niveau de pH des sols par rapport aux témoins. Ces valeurs avoisinent celles de la Végétation Naturelle (6,53) tandis que le témoin est autour de 5,54. Cela montre bien que la culture continue sans amendement se caractérise par une baisse du pH des sols (Mahaman, 2001) mais qu'en outre il est important d'effectuer des restitutions et en quantité importante de matières organiques aux sols pour relever leur niveau de fertilité (Pallo *et al.*, 2008). Les teneurs en carbone (C) et en azote (N) se trouvent en outre améliorées aux niveaux des traitements Z+CP+C et CP+C comparativement au témoin quelle que soit la couche de prélèvement. L'analyse confirme bien cela avec des différences significatives pour le C, et N hautement significatives ($p < 0,001$) pour le N entre les différents traitements et le témoin. , Puisqu'il est admis que la MO constitue le principal stock et pourvoyeur d'azote et de carbone, l'apport sur ces parcelles de quantités importantes de compost permet d'expliquer cet état de fait. Selon Zougmooré *et al.,* (2000), la sédimentation des particules solides contenues dans les eaux de ruissèlement grâce aux cordons pierreux peuvent être aussi une raison du

relèvement du taux de matière organique en complément des apports réalisés directement par les producteurs.

Cela confirme donc les affirmations de Sawadogo *et al.*(2008) selon lesquelles les techniques de conservation des eaux et des sols à elles seules sans apport de matières fertilisantes (fumier et/ou Compost notamment) ne permettraient pas d'atteindre ces résultats. Selon ces derniers, les apports de compost surtout répétés permettent d'augmenter sensiblement les paramètres comme le pH, le carbone organique total et l'azote total.

De façon générale la fumure organique est une source d'énergie et d'aliments pour les communautés microbiennes du sol; elle favorise la disponibilité en éléments nutritifs (Yaméogo *et al.*, 2013). Mais on peut noter que les différences entre les traitements agroécologiques et le témoin absolu sont plus significatives dans la couche 0-10 cm que dans la couche 10-20 cm. Cela peut être dû au faite que la couche 0-10 cm correspond à couche de travail (labour superficiel) et donc d'apport de la MO et de dépôt des éléments contenus dans les eaux de ruissellement. On peut également associer à cela le fait que la couche supérieure du sol correspond au point d'atterrissage de la litière; c'est également la zone rhizosphèrique, siège de multiples processus qui sont essentiels dans la reconstituions du stock organique (Hinsinger, 2010) de nos sols pauvres.

Impact des techniques agroécologiques sur l'activité microbienne du sol

Les substrats utilisés dans cette étude peuvent être classés en différents groupes, nommément les sucres, les acides aminés, les acides organiques et composés de polyols. L'utilisation de ces substrats caractérisés par la production de CO_2 témoigne de la diversité qui se retrouve dans les sols. Les résultats ont montré que le profil dit de respiration induite par les substrats (SIR) était plus faible comparé à celui de Jiang *et al.* (2012) mais similaire à celui de Diakhaté *et al.*(2016), même si les substrats utilisés étaient quelque peu différents des nôtres (2 substrats communs à savoir le glucose et le tréhalose). De plus, contrairement aux résultats d'autres études (Tian *et al.*, 2007; Diakhaté *et al.*, 2016), le fructose et le mannose ont un niveau plus élevé de SIR dans tous les traitements. En outre, les valeurs les plus faibles qui étaient presque similaires à l'eau sont la proline et le citrate utilisé comme substrats carbonés. Cette variation dans l'utilisation des substrats carbonés par les microorganismes du sol suppose une diversité dans les communautés microbiennes (Jiang *et al.*, 2012), Degens *et al.* (2000) ont obtenu les mêmes résultats pour différentes pratiques de culture que dans notre

étude. Cette variation dans l'utilisation des sources de carbone par les microorganismes a été confirmée par la biomasse microbienne pour les différentes pratiques agricoles.

Le quotient métabolique (qCO_2) peut être utilisé pour comprendre l'effet des changements externes sur la communauté microbienne du sol (Anderson *et al.* 1993). Bien que les valeurs de qCO2 soient faibles en général il existe une différence significative entre les valeurs des champs agro-écologiques et des autres traitements. Les valeurs étaient légèrement inférieures au niveau de ces derniers par rapport aux traitements agroécologiques. Un plus grand qCO_2 indique un stress ou la perturbation due à des facteurs externes sur la communauté microbienne (Wardle et Ghani, 1995; Anderson et Domsch, 1993). Dans le cas de cette étude, cela peut bien être compris compte tenu de la contribution exogène du compost et des particules fines du sol générées par les pratiques qui ont induit des changements drastiques au niveau des caractéristiques de ces sols.

En outre, les indices d'équitabilité et de Shannon-Weaver étaient fonction des traitements appliqués et les valeurs de ces 2 indices sont meilleures pour les traitements agroécologiques par rapport au témoin absolu. Les pratiques agroécologiques ont notamment montré une meilleure répartition des microorganismes du sol. Pour ces indices, nos résultats sont conformes à ceux de Doamba *et al.* (2011), Graham et Haynes (2005) ainsi que Campbell *et al.* (2008) qui ont montré dans des expériences similaires que les pratiques d'utilisation des terres agricoles pourraient avoir des effets significatifs du même ordre que le nôtre sur la communauté microbienne. Lupwayi *et al.* (1998) ont montré que le travail de conservation et les rotations de cultures de légumineuses favorisent la diversité des communautés microbiennes du sol et peuvent affecter la durabilité des écosystèmes agricoles.

De plus, contrairement à Austin *et al.* (2009), on a obtenu une corrélation positive entre la teneur en carbone et la biomasse microbienne du sol, les quotients métaboliques, les indices de Shannon-Weaver et d'équitabilité. En outre, on a constaté une corrélation négative entre le rapport C / N et la quasi- totalité des paramètres microbiologiques du sol ($p<0,01$) à l'exception de qCO_2. Ces résultats sont contraires à ceux d'une étude précédente qui a rapporté une corrélation positive entre le rapport C / N d'une couche de litière et qCO_2 (Spohn, 2015). Dans cette étude, l'auteur a testé l'effet du rapport carbone-azote (C/N) des couches de litière du sol sur la respiration microbienne en termes absolus et par unité de biomasse microbienne C. Tous ces résultats montrent que les pratiques agricoles affectent les

propriétés physiques et chimiques des sols qui, à leur tour, influenceront les microorganismes du sol avec des conséquences sur leur fonctionnement biologique (Lienhard *et al.*, 2013).

En outre, on a montré qu'il existe une corrélation positive entre le SIR et la teneur en N total du sol. Lagomarsino *et al.* (2007) avait trouvé les mêmes résultats. Il est donc évident que l'activité des microorganismes du sol dépend des conditions physiques et chimiques du sol, donc des modes de gestion des cultures et des sols. Ceci est confirmé par nos résultats car il y avait une amélioration de l'activité microbienne du sol avec ou sans ajout de substrats de carbone pour les sols sous des pratiques agroécologiques par rapport au témoin absolu. La mise en place des cordons pierreux combinés au compost et le zaï a contribué à améliorer ses caractéristiques. En plus de permettre la sédimentation de particules fines, les rangées de pierres ont également permis de ralentir le ruissellement de l'eau de pluie (Zougmoré *et al.*, 2004) et ainsi réduire le phénomène de l'érosion. Il en résulte une augmentation de l'infiltration de l'eau, une amélioration de l'état organique des sols (MO dans ces eaux) en amont des lignes de pierres (Serpentié et Lamachère, 1988; David, 2003). Tout cela contribue à créer des conditions favorables au développement de microorganismes du sol, d'où la forte activité biologique enregistrée sur ces sols par rapport au témoin absolu. Doamba *et al.* (2011) avaient montré également que les cordons pierreux augmentaient le potentiel de minéralisation des sols agricoles.

Mais les lignes de pierres peuvent conduire à un épuisement du stock organique du sol si la technique n'est pas accompagnée d'un approvisionnement en fumier ou en compost pour compenser le déficit qui pourrait être créé par l'accélération des processus de minéralisation (Douamba *et al.*, 2011; Zougmoré *et al.*, 2000).L'effet observé sur les sols de notre étude résulte de la contribution du compost et des cordons pierreux/zaï. Ceci a entraîné non seulement une amélioration des teneurs en éléments fertilisants des différents traitements agroécologiques mais également l'activité microbiologique de ces sols. En outre, l'amélioration de ces qualités du sol pourrait même être les éléments explicatifs et déterminants de l'activité microbiologique enregistrée au niveau des traitements par rapport aux témoins.

Effet des pratiques agroécologiques sur le rendement

Le rendement constitue l'expression matérielle de la nutrition hydrique et minérale du sorgho et il reste le paramètre le plus en vue pour exprimer la performance des techniques de production (Sangaré, 2002). L'utilisation conjointe du compost, des cordons pierreux et du zaï

a entrainé un accroissement du rendement grains de sorgho de l'ordre de 146% et celle du compost et cordons pierreux a entrainé une hausse de rendement de 155%. Ces résultats sont supérieurs à ceux de Zougmooré *et al* (2004) qui avaient trouvé au Nord du pays des augmentations de rendement de 106% avec la combinaison compost et cordons pierreux.
Par contre Yaméogo *et al* (2013) ont obtenu à l'ouest une augmentation de l'ordre de 300 à 500% respectivement pour le Zaï+ Cordons Pierreux et le Zaï simple. Certes, il est difficile dans notre étude de dissocier l'apport individualisé des différents éléments (Zaï, cordons pierreux et avec ou sans compost) mais la sédimentation des particules de MO contenu dans les eaux de ruissellement (Zougmoré *et al* ; 2000) grâce aux cordons pierreux et Zaï d'une part et l'apport de compost d'autre part pourrait expliquer ce gain de rendement par rapport au témoin.

En effet, Koulibaly *et al.* (2009) affirmaient que l'apport de MO entrainerait une amélioration du nombre d'épis total à l'hectare et l'augmentation du poids de 1000 grains et donc le rendement. Il s'en suit une amélioration des productions et même une induction d'un arrière effet constaté les années suivantes (M'Biandoun *et al.*, 2003). Il apparait également que la mise en œuvre des techniques de conservation des eaux et des sols sans apport de nutriments n'entraine pas d'amélioration significative de rendement surtout en année de bonne pluviométrie (Roose *et al*. 1995; Zougmooré *et al.*, 2004). On note également des corrélations positives entre les caractéristiques physiques et chimiques des sols et les rendements ce qui témoigne de l'importance des pratiques d'apport sur les végétaux. De plus à l'image des résultats obtenus par Asimi (2009) on a dans notre étude établi des relations positives entre la biomasse microbienne et les rendements grains et paille du sorgho.

Essai d'amélioration des cordons pierreux

Contrairement à nos attentes, on n'a pas pu établir un gradient de fertilité du sol en allant du sommet vers le bas de la parcelle dans le sens de la pente quels que soit les paramètres mesurés. Cela pourrait s'expliquer par la répartition non uniforme des apports de matière sur ces parcelles. En effet le compost mûr est d'abord déposé en tas dans les champs avant d'être reparti et enfoui par le labour superficiel. Ce procédé peut expliquer les différences observées à l'intérieur d'une même parcelle. Cela est d'autant plus vrai qu'à l'échelle des parcelles individuelles on note des différences entre les traitements P1, P2 et P3 pour les paramètres physiques et chimiques. On note une nette amélioration de l'effet des apports sur les parcelles P1 et P2 comparativement à la parcelle P3 qui est de plus grande taille. On pourrait donc affirmer que plus la parcelle est petite plus les apports sont maitrisés et plus les effets sont

ressentis sur les caractéristiques du sol. Mais, le fait qu'il n'y ait pas de différence significative entre P1 et P2 montre qu'il existe tout de même un seuil raisonnable (seuil de rentabilité) au-delà duquel l'effet induit n'est plus significatif. Mais pour les paramètres biologiques il n'existe pas de différence entre les parcelles P1, P2 et P3. En d'autre circonstance Ballo *et al.*, (1994) attiraient déjà l'attention des agronomes sur les dimensions à donner aux parcelles agricoles.

Des études similaires ont montré l'effet bénéfique de la réduction de la distance entre les lignes de cordons pierreux sur le ruissellement et la production agricole (Zougmoré *et al.*, 2000) et sur les caractéristiques physiques, chimiques et biologiques des sols (Zougmoré *et al.*,2002).

CONCLUSION GENERALE

Cette étude a été conduite à l'Est du Burkina Faso dans une zone de fort contraste climatique et d'état avancé de dégradation des sols. Elle a prouvé que dans cette zone des pratiques agroécologiques de conservation des eaux et des sols sont importantes pour le maintien et la fertilité des sols agricoles et le développement des rendements. L'étude a permis de décrire les pratiques agricoles traditionnelles et agroécologiques dans la région agricole de l'Est du Burkina précisément dans le village de Sampieri et ses environs. La typologie des exploitations agricoles dans cette zone montre une agriculture jusque-là rudimentaire et à dominante familiale avec de petites superficies (2,37 hectares en moyenne par exploitation) et produisant peu de revenus. Qu'à cela ne tienne les jachères qui permettaient autrefois de récupérer les terres agricoles ont progressivement disparues soit à cause de l'extension des superficies soit à cause de la pression démographique. Il ressort en outre que les productions végétales et animales coexistent dans zone car la plupart des agricultures sont également des éleveurs avec plusieurs têtes d'animaux (caprins, ovins, bovins, volaille…,). Sur l'ensemble des producteurs rencontrés, 66,7% ont adopté au moins un des thèmes agroécologiques enseignés indiquant un bon taux d'adoption de ces pratiques.

L'utilisation de la fumure organique (fumier et/ou compost) est assez repandue chez les producteurs même si des normes de production et d'utilisation doivent être améliorées. Les facteurs pouvant influencer (déterminants) positivement/négativement ont été appréhendés et il s'avère que certains comme la participation à une formation et l'obtention de matériel agricole entre autres sont fortement corrélés à la probabilité d'adoption des techniques. Ainsi, la pratique du zaï et des cordons pierreux combinés avec l'application du compost qui sont les pratiques les plus repandues ont permis de relever le niveau de pH et de rehausser les teneurs en carbone organique, azote total, la CEC, le taux d'humidité des sols des sols par rapport au témoin. De plus, ces pratiques ont eu un effet positif sur le potentiel de minéralisation des sols et sur la diversité des microorganismes présents. Les résultats obtenus sur les propriétés physiques, chimiques et microbiologiques de ces sols sont une conjonction des effets positifs induits à la fois par le zaï, les cordons pierreux et le compost. Il est donc impérieux de combiner ces techniques pour optimiser leurs effets sur les sols dégradés de la zone. En outre, des améliorations substantielles de rendements sont observées sur les parcelles agroécologiques par rapport au témoin absolu pour la campagne agricole 2015. Ceci est sans

doute la résultante de tous ces effets positifs des pratiques agroécologiques sur les paramètres de fertilité des sols observés.

De plus, les résultats des analyses au laboratoire sur l'évolution des caractéristiques physiques chimiques et biologiques et sur les rendements du sorgho confirment bien les affirmations des producteurs suite à l'enquête agronomique quand à leur vision sur les bienfaits de l'agroécologie sur les sols et sur les rendements des cultures.

On peut donc conclure au terme de cette étude que les pratiques agroécologiques sont une alternative pour concilier accroissement des productions agricoles et protection de l'environnement notamment les sols. Cependant, des limites objectives peuvent être relevées au terme de cette étude. Il s'agit premièrement du fait que les données utilisés sont d'une enquête ponctuelles et il semble souhaitable de réaliser une autre investigation continue celle-là, sur un groupe cible durant une période plus longue (3 ans au moins).

Deuxièmement, les résultats sur les rendements sont d'une seule campagne agricole et il est important de poursuivre les investigations sur plusieurs campagnes pour gommer les variabilités saisonnières. En outre, ou pourra également évaluer l'impact de ces pratiques sur les revenus des producteurs. Pour ce qui concerne les résultats sur la microbiologie il faudrait envisager une caractérisation des communautés présentes dans les sols car notre étude s'est juste limitée à la variabilité par rapport aux traitements sans préciser quels types de microorganismes sont présents en fonction des pratiques.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Abdellaoui Z., Teskrat H., Belhadj A., Zaghouane O., 2011. Étude comparative de l'effet du travail conventionnel, semis direct et travail minimum sur le comportement d'une culture de blé dur dans la zone subhumide. In: Bouzerzou r H. (ed.), Irekti H. (ed.), Vadon B. (ed.), 4 Rencontres Méditerranéennes du Semis Direct, Zaragoza : CIHEAM / ATU-PAM / INRAA / ITGC / FERT, pp 71 -87 (Options Méditerranéennes : Série A, Séminaires Méditerranéens; n. 96).

Adéoti R., Coulibaly O. et Tamò M., 2002.Facteurs affectant l'adoption des nouvelles technologies du niébé Vigna unguiculata en Afrique de l'Ouest. Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin. 36,1-18.

Allaverdian C., Ferrand P., Kibler J.-F., Reynaud L., 2014. L'agroécologie, un concept pour une diversité d'approches. In Grain de Sel, la revue d'Inter-réseaux Développement rural; Agroécologie en Afrique de l'Ouest et du Centre: réalités et perspectives, nº 63, pp6-7.

Altieri M. A., 2002. Agroecology : the science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. Agriculture, Ecosystems and Environment, 93, 1-24.

Altieri, M. and Nicholls, C., 2005. A Rapid, Farmer-Friendly Agro Ecological Method to Estimate Soil Quality and Crop Health in Vineyard Systems.In Agroecology and the Search for a Truly Sustainable Agriculture. PNUMA, pp, 277-290.

Amman, L., Bergaya, F., Lagaly, G., 2005. Determination of the cation exchange capacity of clays with copper complexes revisited. Clay Mine. 40, 441-453.

Anderson, J.P.E., Domsch, K.H., 1978. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. Soil, Biol. Biochem. 10, 215-221.

Anderson, T.H., Domsch, K.H., 1993. The metabolic quotient for CO_2 (qCO_2) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils.Soil Biol.&Biochemi. 25, 393-395.

Asimi S., 2009. Influence des modes de gestion de la fertilité des sols sur l'activité microbienne dans un système de cultures de longue durée au Burkina Faso. Thèse de doctorat, Université Polytechnique de Bobo Dioulasso, Burkina Faso,179 p.

Aurouet A., Devineau J. L. et Vidal M., 2005. Les facteurs principaux de l'évolution des milieux riverains du Mouhoun près de Boromo (Burkina Faso) : changement climatique ou dégradation anthropique ? Sécheresse,16 (3), pp 199-207.

Austin, E.E., Castro, H.F., Sides, K.E., Schadt, C.W., Classen, A.T., 2009. Assessment of 10 years of CO_2 fumigation on soil microbial communities and function in a sweetgum plantation.Soil Biol. Biochem. 41, 514-520.

Baize D., Guides des analyses en pédologie, INRA, 2000, (1ère édition 1988),257p.

Ballo K., Quencez P., Ouattara S., Tailliez B., Rey H., 1994. Effets de bordure dans une parcelle témoin d'un essai de fertilisation potassique sur sols épuisés en Côte-d'Ivoire.*Oléagineux*, 49(4), 137-143.

Bambara D., Zoundi J. S., Tiendrébéogo J-P. (2008). Association céréale/légumineuse et intégration agriculture-élevage en zone soudano-sahélienne. Cahiers Agricultures 17, 297-301.

Batamoussi Hermann M., Moumouni I., Tokore Orou Mere S. B. J. (2015). Contribution à l'amélioration des pratiques paysannes de production durable de coton (Gossypium hirsutum) au Bénin : cas de la commune de Banikoara.Int. J. Bio. Chem. Sci. 9, 2401-2413.

Bationo A., Kihara J., Vanlauwe B., Waswa B., Kimetu J. (2007). Soil organic carbon dynamics, functions and management in West African agro-ecosystems. Agric. Syst. 94, 13-25.

Bayen P., Traoré S., Bognounou F., Kaiser D., et Thiombiano A., 2011. «Effet du zaï amélioré sur la productivité du sorgho en zone sahélienne».VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement, 11 (3). URL : http://vertigo,revues,org/11497 ; DOI : 10,4000/vertigo,11497. consulté le 12 décembre 2014.

Berthet E., 2013. Contribution à une théorie de la conception des agro-écosystèmes. Fonds écologique et inconnu commun. Thèse de doctorat ParisTech, 248p.

Blanchard M., 2010. Gestion de la fertilité des sols et rôle du troupeau dans les systèmes coton-céréales-élevage au Mali-Sud : savoirs techniques locaux et pratiques d'intégration agriculture élevage. Thèse de Doctorat, UNIVERSITE PARIS-EST, CRETEIL. 285 p.

Bockstaller C, Guichard L, Makowski D, Aveline A, Girardin P, Plantureux S., 2008. Agri-environmental indicators to assess cropping and farming systems. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 28, 139–149.

Bonny S., 2010. L'intensification écologique de l'agriculture : voies et défis. ISDA, 11 pages,

Bouzou-Moussa, I., Dan Lamso, N., 2004. Le «Tassa»: une technique de conservation des eaux et des sols bien adaptée aux conditions physiques et socioéconomiques des glacis des régions semi-arides (Niger).In: Revue de géographie alpine, tome 92, n°1. De part et d'autre du Sahara. pp. 61-70. doi : 10.3406/rga.2004.2278

Boyer J., 1976. L'aluminium échangeable : incidences agronomiques, évaluation et correction de sa toxicité dans les sols tropicaux. Cah. ORSTOM, sèr. Pédol., vol. XIV, 4, 259-269.

Brabant P. (2008) – Activités humaines et dégradation des terres. Collection Atlas Cédérom. Indicateurs et méthode. IRD, Paris.

Brabant P. et Cheverry C., 2012. Dégradation mondiale des terres : comment l'évaluer? http://mots-agronomie.inra.fr/mots_agronomie.fr/index.php/Dégradation_mondiale_des terres: comment l'évaluer.(Consulté le 11/02/2015).

Bradford, J.M., Huang, C., 1992. Mechanisms of crust formation: physical components. In Advances in Soil Science. Soil crusting: physical and chemical processes.Sumner M. E. and Stewart B. A., pp, 55-72.

Briquel V., Vilain L., Bourdais J-L., Girardin P., Mouchet C. et Viaux P., 2001. La méthode IDEA (indicateurs de durabilité des exploitations agricoles) : une demarche pédagogique. Ingénieries. 25, 29 à 39.

Bunasols, 2008. Etude morphopédologique de la province de la Tapao. Bunasols, rapport technique n°143, 119 p.

Calvet R., 2003. Phénomènes chimiques. In France Agricoles. Le sol-Propriétés et fonctions, Tome 2 Phénomènes physiques et chimiques. Applications agronomiques et environnementales, pp 24-96.

Campbell, S. E., Seeler J., and Golubic S.. 1989. Desert crust formation and soil stabilization. *Arid Soil Res. and Rehab. J.* 3, 217-228.

Campbell, C. D., Chapman, S.J., Cameron, C.M., Davidson, M.S., Potts, J.M., 2003. A rapid microtiter plate method to measure carbon dioxide evolved from carbon substrate amendments so as to determine the physiological profiles of soil microbial communities by using whole soil. Appl, and Environ, Microbiol, 69, 3593-3599.

Campbell, D.C., Cameron, C.M., Bastias, B.A., Chen, C., Cairney, J.W.G., 2008. Long term repeated burning in a wet sclerophyll forest reduces fungal and bacterial biomass and responses to carbon substrates.Soil Biol. Biochem. 40, 2246-2252.

CARI, 2008.Dossier spécial agroécologie à l'occasion des 10 ans. Ressources documentaires CARI, 32 p. httpcariassociation.orgIMGpdfspecial_agroecol_32p_coul.pdf (consulté le 16/04/2015).

Casenave, A. et Valentin, C., 1989. Les états de surface de la zone sahélienne. Influence sur l'infiltration. Ed, de l'ORSTOM, Paris, 202 p.

Cazenave, A., Valentin, C., 1991. Influence des états de surface sur l'infiltration en zone sahélienne. Soil water balances in soudano-sahelian zone. IAHS,199,99-108.

Chaplot, V. et Le Bissonnais, Y., 2000.Field measurements of interrill erosion under different slopes and plot sizes.Earth Surface Processes and Landforms, n° 25, p, 145-153.

Cheverry C., 1994. La dégradation chimique des sols en Bretagne. Etude et Gestion des Sols N°1, 7-21.

CILSS, 2012. Bonnes pratiques agro-sylvo- pastorales d'amélioration durable de la fertilité des sols au Burkina Faso.Ouagadougou, 194p.

Culot M., 2005. Filières de valorisation agricoles des matières organiques. FUSAGX, Laboratoire d'écologie microbienne et d'épuration des eaux (LEMEE)-Gembloux Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques,73 p.

Da C. E. D., 2008. « Impact des techniques de conservation des eaux et des sols sur le rendement du sorgho au centre-nord du Burkina Faso ». Les Cahiers d'Outre-Mer, n° 241-242, 99-110.

David, F., 2003. Action de la macrofaune sur la fertilité des sols dans une succession végétale : rôle des termites dans un système de zaï forestier au Yatenga (Burkina Faso). Mémoire d'Ingénieur- Maître, Institut Universitaire Professionnalisé Environnement, Technologies et Société, 25p.

De Paul M.-A. and Bailly M., 2005. Effets de la compaction des sols forestiers. *Foret wallonne*, 76, 49-57.

DE SCHUTTER O., 2011. Agro-écologie et droit à l'alimentation. Rapport présenté à la 16ème session du Conseil des droits de l'homme de l'ONU. New-York, Etats-Unis, ONU, 23 p.

Defarge, C., Malam-Issa, O., Trichet, J., 1999. Apport du cryo-microscope électronique à balayage à émission de champ à l'étude des matières organiques et des relations organo-minérales naturelles. Application aux croûtes microbiotiques des sols. *Earth & Planetary Sciences*, 328, 591-597.

Degens, B.P., Schipper, L.A., Sparling, G.P., Vojvodic-Vukovic, M., 2000.Decreases in organic C reserves in soils can reduce the catabolic diversity of soil microbial communities.Soil Biol. Biochem. 32, 189-196.

Dembele, Y., Somé, L., 1991. Propriétés hydrodynamiques des principaux types de sol du Burkina Faso.Soil Water Balance. In Vie Sudano-Sahdian Zone (Proceedings of the Niamey Workshop, February 1991), IAHS Publ, 199, 217-227.

Diakhaté, S., Gueye, M., Chevallier, T., Diallo, N. H., Assigbetsé, K., Abadie, J., Diouf, M., Masse, D., Sembène, M., Ndour, Y.B., Dick, R.P., Chapuis-Lardy, L., 2016. Soil microbial functional capacity and diversity in a millet-shrub intercropping system of semi-arid Senegal. J. of Arid Environ. 129, 71-79.

Ding, G-C., Piceno, Y.M., Heuer, H., Weinert, N., Dohrmann, A.B., Carrillo, A., Andersen, G.L., Castellanos, T., Tebbe, C.C., Smalla, K., 2013. Changes of Soil Bacterial Diversity as a Consequence of Agricultural Land Use in a Semi-Arid Ecosystem. PLoS ONE 8(3): e59497. doi:10.1371/journal.pone.0059497.

Disnar, J.-R., Guillet, B., Keravis, D., Di-Giovanni, C., Sebag, D., 2003. Soil organic matter (SOM) characterization by Rock eval pyrolysis: scope and limitations. Org. Geochem. 34, 327-343.

Doamba, S.M.F., Nacro, H. B., Sanon, A., Sedogo, M., 2011. Effet des cordons pierreux sur l'activité biologique d'un sol ferrugineux tropical lessivé (Province du Kouritenga au Burkina Faso). Int. J. Biol. Chem. Sci. 5, 304-313.

Dobbie, K.E., Bruneau, P.M.C and Towers, W., 2011. The State of Scotland's Soil. Natural Scotland, 187p. www.sepa.org.uk/land/land_publications.aspx

Dominati E., Patterson M., Mackay A., 2010. A framework for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils. Ecological Economics 69, 1858–1868.

Doran, J.W. and T.B. Parkin. 1996. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. In J.W. Doran and A.J. Jones, eds. Methods for Assessing Soil Quality. SSSA, Inc., Madison, Wisconsin, USA.

Doré, T., Makowski, D., Malézieux, E., Munier-jolain, N., Tchamitchian, M., Tittonell, P., 2011. Facing up to the paradigm of ecological intensification in agronomy: Revisiting methods, concepts and knowledge. European Journal of Agronomy 34, 197-210.

Duchaufour, P., 1997. Abrégé de pédologie, Sol, végétation, environnement. Masson, Paris,

Dufumier M., 2010. AGRO-ECOLOGIE ET DEVELOPPEMENT DURABLE. Emilie COUDEL, Hubert DEVAUTOUR, Christophe-Toussaint SOULARD, Bernard HUBERT. ISDA 2010, Jun 2010, Montpellier, France. Cirad-Inra-SupAgro, 20 p. <hal-00521817>

Dugué P., Autfray P., Blanchard M., Djamen P., Landry A., Girard P., Olina J.P., Ouedraogo S., Sissoko F., Vall E. (2012). L'agroécologie pour l'agriculture familiale dans les pays du sud : impasse ou voie d'avenir ? Le cas des zones de savane cotonnière de l'Afrique de l'Ouest et du Centre. Colloque « René Dumont revisité et les politiques agricoles africaines », Paris, 15 et 16 novembre 2012, Fondation René Dumont, 93 p.

FAO, 2002. Organic Agriculture, Environment and Food Security. Environment and Natural Resources Service Sustainable Development Department. http://www.fao.org/DOCREP/005/Y4137E/y4137e00.htm#TopOfPage. (Consulté le 16/03/2015).

FAO, 2014. Food and Nutrition in Numbers. ISBN 978-92-5-108617-9, 245 p.

FAO, 2015. Dégradation des sols, In portail d'information sur les sols. URL :WWW.Fao.org/soils-portal/dégradation des sols/Fr/(Consulté le 16/03/2015).

Fauck R., 1963. Le sous-groupe des sols ferrugineux tropicaux lessivés à concrétions. African Soils. 8 (3), 383-405.

Faure Guy. Mécanisation, productivité du travail et risques : le cas du Burkina Faso. In: Économie rurale. 219, pp. 3- 11. Doi : 10.3406/ecoru.1994.4585

Fentie D., Fufa B., Bekele W. (2013).Determinants of the Use of Soil Conservation Technologies by Smallholder Farmers: The Case of Hulet Eju Enesie District, East Gojjam Zone, Ethiopia. Asian J. of Agric. and Food Sci. 01, 2321-1571.

Fondation GoodPlanet, 2013. Action Carbone Solidaire.Agroécologie, Agriculture. Fiche Info.http://www,goodplanet,org/wp-content/uploads/2013/12/fiche-thématique-agroécologie,pdf;(consulté le 06/04/2015).

Francis C., Lieblein G., Gliessman S., Breland T. A., Creamer N., Harwood R., Salomonsson L., Helenius J., Rickerl D., Salvador R., Wiedenhoeft M., Simmons S., Allen P., Altieri M., Flora C. et Poincelot R., 2003. Agroecology: The Ecology of Food Systems, Journal of Sustainable Agriculture, 22:3, 99-118. http://dx.doi.org/10.1300/J064v22n03_10.

Gauvin D. 2000. Inventaire des zones sensibles à l'érosion des sols en vallée d'Authie dans une perspective d'application des mesures agri-environnementales. Mém. D.U.E.S.S. "Eau et Environnement", D.E.P., Univ. Picardie Jules Verne, 105 p.

Girardin P., Bockstaller C. et Van der Werf H., 1999. Indicators: Tools to Evaluate the Environmental Impacts of Farming Systems, Journal of Sustainable Agriculture, 13(4), 5-21, DOI: 10.1300/J064v13n04_0.

Goita M., 2014. Les défis du développement agricole en Afrique et le choix du modèle : révolution verte ou agroécologie?SOS FAIM,N°10, 39p.

Gomiero T., Pimentel D., et Paoletti M. G., 2011.Is There a Need for a More Sustainable Agriculture? Critical Reviews in Plant Sciences, 30(1-2), pp 6-23.

Gomgnimbou A. P.K., Savadogo P. W., Nianogo A. J. et Millogo-Rasolodimby J., 2010. Pratiques agricoles et perceptions paysannes des impacts environnementaux de la cotonculture dans la province de la Kompienga (Burkina Faso).Sciences & Nature 7(2), 165 – 175.

Graham, M. H., Haynes, R.J., 2005. Catabolic diversity of soil microbial communities under sugarcane and other land uses estimated by Biolog and substrate-induced respiration methods.Appl. Soil Ecol. 29, 155-164.

Griffon M., 2013. Qu'est ce que l'agriculture écologiquement intensive? - Édition Quae, Collection : Matière à débattre et décider, 224 pages.

Hien F., Compaoré J., A., et Coulibaly-Somé O., 1996. La dynamique de la dégradation des sols dans le bassin du Nakambé : une étude diachronique dans le secteur des forêts classées de Bissiga Nakabé au Burkina Faso.In: Escadafal R., Mulders M.A., Thiombiano L., eds, Monitoring soils in the environment with remote sensing and GIS.Paris : Orstom editions, 1996, 523-530.

Hien E., Ganry F., Hien V., Oliver R., 2003. Dynamique du carbone dans un sol de savane du sud-ouest Burkina sous l'e et de la mise en culture et des pratiques culturales. In Jamin J.Y., Seiny Boukar L., Floret C. : Savanes africaines : des espaces en mutation, des acteurs face à de nouveaux défis. Actes du colloque, 27-31 mai 2002, Garoua, Cameroun, 11 p.

Hien V., Sangare S., Kambiré L. F., Kaboré P. D., Lepage M., Somé L., Traoré J., Somé B. etTraore K., (2004). Recherches sur des technologies de lutte contre la désertification au sahel et étude de leur impact agro écologique. INERA, Ouagadougou-Burkina Faso, 91p.

Hien E. 2004. Dynamique du carbone dans un acrisol ferrique du centre Ouest du Burkina: influence des pratiques culturales sur le stock et la qualité de la matière organique.Thèse de doctorat de l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Mompellier, France 138p.

Hinsinger, 2010. Les racines au cœur du fonctionnement de la rhizosphère. Alter-Agri 101, 16-18.

INERA, 2000. Rapport sur les acquis scientifiques 1992-1999 du département gestion des ressources naturelles et systèmes de productions. (GRN/SP)/ Ouagadougou, 139p.

INERA, 2011. Composante 2 : Revue bibliographique sur l'utilisation des terres dans le Sahel burkinabe. Projet LaSyRe –Sahel. Rapport, 198 pages.

INSD, 2008. Recensement général de la population et de l'habitation de 2006. Résultats définitif, Burkina Faso.

Jauffret S., Briki M., Dorsouma Al H., Khatra N. B., Baubion C., Issa A., 2009. Indicateurs écologiques du Roselt/OSS, désertification et biodiversité des écosystèmes circum-sahariens. Note introductive n° 4, 52 p.

Jiang, Y., Chen, C., Xu, Z., Liu, Y., 2012.Effects of single and mixed species forest ecosystems on diversity and function of soil microbial community in subtropical China. J. Soils Sediments 10, 1071-1081.

Joosten H., 2015. Current soil carbon loss and land degradation globally – where are the hotspots and why there? In: Banwart, S. A., Noellemeyer, E., Milne, E., eds, Soil Carbon: Science, management and policy for multiple benefits. SCOPE Series Vol, 71, CABI, Wallingford, pp, 224-234.

Kairis, O., Karavatis, C., Kounalaki, A., Salvati, L., Kosmas, C., 2013. The effect of land management practices on soil erosion and land degradation in an olive grove. Soil Use and Management. 29, 597–606.

Kebede W., Mesele N. (2014). Farmers' adoption of soil and water conservation technology: a case study of the Bokole and Toni sub-watersheds, southern Ethiopia.J. of Sci. Develop. 2, 35-48.

Keilling J. (1997)- L'Agriculture Biologique : Objectifs, Techniques et Résultats. In : ABCD presse, Edité par l'Agence de Développement Durable Appliqué (ADDA), Paris (France), mars 1987, pp. 1-21.

Kiage L. M., 2013. Perspectives on the assumed causes of land degradation in the rangelands of Sub-Saharan Africa. Progress in Physical Geography. 37(5) 664–684

Kissou R., 2014. Classification et perception endogènes de la fertilité des sols en milieu mossé, peulh et jula au Burkina Faso. Thèse de doctorat, Université Polytechnique de Bobo Dioulasso, 151 p.

Koohafkan P., Altieri M. A. et Gimenez E. H. (2011). Green Agriculture: foundations for biodiverse, resilient and productive agricultural systems. International Journal of Agricultural Sustainability, DOI:10.1080/14735903.2011.610206.

Koulibaly B., Traoré O., Dakuo D., Zombré P. N., 2009. Effets des amendements locaux sur les rendements, les indices de nutrition et les bilans culturaux dans un système de rotation coton-maïs dans l'ouest du Burkina Faso. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.***13**(1), 103-111

Koutou M., Ouedraogo M., Nacro H. B., Lepage M. (2007). Déterminants de l'adoption du zaï forestier et perspectives de valorisation de la technique (province du Yatenga, Burkina Faso).Acte des JSIRAUF, Hanoi, 6-9 novembre 2007, 10 p.

Laboubée C., 2007. Retour au sol des matières organiques nécessaires à leur maintien en état en sol agricoles. Rapport GIE ARVALIS/ONIDOL, 44 p.

LADA, 2011. Global Land Degradation Information System (GLADIS). Technical report n.17, Version 1.0., 110 p.

Lafargue, E., Marquis, F., Pillot, D., 1998. Rock-Eval 6 applications in hydrocarbon exploration, production and soil contamination studies. Rev. de l'Inst. Fr. du Pét. 53, 421-437.

Lagomarsino, A., Knapp, B.A., Moscatelli, M.C., De Angelis, P., Grego, S., Insam, H., 2007. Structural and functional diversity of soil microbes is affected by elevated [CO2] and N addition in a poplar plantation. J. Soils Sediments 7, 399-405.

Lal, R., 2004. Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security. *Science* 304: 1623–1627.

Lamachère, J-M., and Serpantié G., 1998. Valorisation agricole des eaux de ruissellement sur champs cultivés en mil en zone soudano-sahélienne (Burkina Faso, province du Yatenga, région de Bidi). In : L'eau et la fertilité des sols : deux ressources à gérer ensemble. Bulletin - Réseau Erosion, (18), 133-151. Le Sol et l'Eau, deux Ressources à Gérer en Interrelations : Journées du Réseau Erosion, 14, Québec (CAN), 1998/08/24-28.

Lapar A. L., Pandey S. (1999).Adoption of soil conservation: the case of the Philippine uplands.Agric. Econ. 21, 241-256.

Lavelle P., 2013.Les sols, Fiche thématique 10. In Livret pour l'environnement, 3 p. URL :http://www,academie-sciences,fr/activite/rapport/livret_environnement,htm Consulté le 23 02 2015 a 19h 4mm.

Le Bissonnais, Y., 1990. Experimental study and modelling of soil surface crusting processes. In : Soil Erosion-Experiments and models, Bryan (ed), Catena supplement, n° 17, p,13-28.

Le Bissonnais Y., 2000. Analyse expérimentale des mécanismes d'érosion : la dégradation structurale superficielle et le détachement des particules des sols cultivés. Ingénieries- E A T, IRSTEA édition 2000, pp, 27-36.<hal-00464065>

Le Bisonnais Y., Le Souder Christine, 1995. Mesurer la stabilité structurale des sols pour évaluer leur sensibilité à la battance et l'érosion. *Etudes et gestion des sols*, 2(1), 43-56.

Le Roux X., Barbault R., Baudry J., Burel F., Doussan I., Garnier E., Herzog F., Lavorel S., Lifran R., RogerEstrade J., Sarthou J.P., Trommetter M., 2008. Agriculture et biodiversité. Valoriser les synergies. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport, INRA (France).113p.

Li X. R., Chen Y. W., Su Y. G. and Tan H. J., 2006. Effects of Biological Soil Crust on Desert Insect Diversity: Evidence from the Tengger Desert of Northern China. *Arid land Research and Management* 20 (4), 263-280.

Lienhard, P., Tivet, F., Chabanne, A., Dequiedt, S., Lelièvre, M., Sayphoummie, S., Leudphanane, B., Prévost-Bouré, N.C., Séguy, L., Maron, P.A., Ranjard, L., 2013. No-till and cover crops shift soil microbial abundance and diversity in Laos tropical grasslands. Agron. Sustain. Dev. 33, 375-384.

Lompo F., Segda Z., Gnankambary Z. et Ouandaogo N., 2009. Influence des phosphates naturels sur la qualité et la biodégradation d'un compost de pailles de maïs.TROPICULTURA, 27 (2), 105-109.

Loope, W.L., Gifford, G.F., 1972. Influence of a soil microfloral crust on select properties of soils under Pinyon-Juniper in southeastern Utah. *J. Soil Water Conserv*. 27, 164–167.

Lupwayi, N. Z., Rice W.A., Clayton, G. W., 1998. Soil microbial diversity and community structure under wheat as influenced by tillage and crop rotation.Soil. Biol. Biochem. 30, 1733-1741.

M'Biandoun M., Thèze M., Abba A., (2003). Maintien ou amélioration du potentiel productif des sols en région soudano-sahélienne du Nord-Cameroun. In Jamin J.-Y., Lamine Boukar S., Floret C., 2003, Cirad Prasac, 11 p.<hal-00135459>

Mahaman, I., 2001. Evolution à long terme de la fertilité de sol dans la région de Maradi. Drylands Research, Crewkerne, Somerset, Royaume-Uni, ISSN 1470-9384.35 p,

Malam Issa O., Le Bissonnais Y., Défarge C., Trichet J., 2001. Role of a cyanobacterial cover on structural stability of sandy soils in the Sahelian part of western Niger. *Geoderma* 101, 15–30.

Malam-Issa O., Stal L. J. Defarge C., Trichet J., Coute A., 2001. Nitrogen fixation by microbial crusts from desiccated Sahelian soils (Niger). *Soil Biology and Biochemistry, Elsevier*, 33, 1425-1428.

Malezieux E. (2012). Designing cropping systems from nature. Agron. Sustain. Dev. 32(1),15–29. doi:10,1007/s13593-011-0027-z.

MARSILY, G. De., 2013. Le cycle de l'eau. In A. Euzen, L. Eymard, F. Gaill (eds) : Le développement durable à découvert. Ed. CNRS Edition, Septembre 2013. 364p.

Mbétid-Bessane E., 2014. Adoption et intensification du Nouveau Riz pour l'Afrique en Centrafrique. TROPICULTURA. 32 (1), 16-21.

Mazoyer M. et Roudart L., 2002. Histoire des agricultures du monde : du néolithique à la crise contemporaine. Paris, Éd. du Seuil. 705 p.

Mazzucato V., et Niemeijer D., 2001. Le Sahel: Une dégradation des terres exagérée, un potentiel paysan sous-estimé, Institut International pour l'environnement et le développement.Dossier - IIED, Programme Zones Arides (United Kingdom), no, 101, 1357-9312.

MEDD, 2011. Les bonnes pratiques de gestion durables des terres au BF. 148p.

Millennium Ecosystem Assessment (MEA), 2005. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis.Island Press, Washington, DC, 151 p.

Mireille DOSSO. « SOLS - Dégradation des sols », Encyclopædia Universalis [en ligne]. URL : http://WWW.universalis.fr/encyclopedie/sols-erosion/ Consulté le 14 mars 2015,

Morin A., CompaoreA. et Gabeloux M., 2012. Evaluation de rendements de sorgho blanc, entre une pratique témoin et une pratique zaï avec compost, en milieu paysan. Rapport d'étude, 41 p.

Ndiaye, S., 2009. Evaluation de l'impact des cordons pierreux et de la fertilité des sols dans deux microprojets finances par le CILSS au Sénégal. Rapport d'étude, GREEN/CILSS, 30 p.

Neupane R. P.; Sharma K. R. and Tharpa G. B., 2002: Adoption of agro forestry in the hills of Nepal: A logistic regression analysis. Agricultural system, 72 : 177-196.

Ngondjeb Y., Nje P., Havard M. (2011). Déterminants de l'adoption des techniques de lutte contre l'érosion hydrique en zone cotonnière du Cameroun. Rev. d'Elev. et de Méd. Vét. des Pays Trop 64 :9-19.

N'Goran K. E., Kassin K. E., Zohouri G. P., N'Gbesso M., Yoro G. R. (2011). Performances agronomiques des associations culturales igname –légumineuses Alimentaires. J. of Appl. Biosci. 43, 2915- 2923.

OXFAM, 2014. Construire un nouvel avenir agricole. Soutenir l'agro écologie pour la planète et l'humanité. Rapport thématique d'OXFAM, 20 pages.

Ozer A. and Ozer P.,2005. Désertification au Sahel : crise climatique ou anthropique ? *Bull. Séanc. Acad. R. Sci. Outre-Mer Meded. Zitt. K. Acad. Overzeese Wet.* **51** (2005-4), 395-423.

Pallo, F.J.P., Sawadogo, N., Sawadogo, L., Sedogo, M.P., Assa, A., 2008.Statut de la matière organique des sols dans la zone sud-soudanienne au Burkina Faso.Biotechnol. Agron. Soc. Environ. 12, 291-301.

Pansu M.et Gautheyrou J., 2003. Handbook of Soil Analysis. Mineralogical, Organic and Inorganic Methods. Springer-Verlag , Berlin Heidelberg New York.993p.

Peprah K., Yiran G.B., Owusu A. B., 2014. Land use trajectories, forest cover and the consequential land degradation of Asunafo, Ghana. International Journal of Innovative Reseach and Studies. 3(2), 448-503.

PICOFA (2006). Stratégies de gestion de la fertilité des sols et des ressources naturelles dans la région de l'est du Burkina Faso. Rapport de l'étude de base relative à l'établissement de la situation de référence dans la zone d'intervention du PICOFA, 132 p.

Pieri C., 1989. Fertilité des terres de savanes, Bilan de trente ans de recherche et de développement agricoles au Sud du Sahara. Ministère de la Cooperation, France,444p.

Pimentel D., 2006. Soil Erosion: A Food and Environmental Threat. Environment, Development, and Sustainability 8,119–137.

Pulido J. et Bocco G., 2014. "Local Perception of Land Degradation in Developing Countries: A Simplified Analytical Framework of Driving Forces, Processes, Indicators and Coping Strategies". Living Rev, Landscape Res., 8 (4). URL.http://www.livingreviews.org/lrlr-2014-4 (Consulté le 08/03/2015)

Serna F., Lagneau J., Carpentier J-M., 2014. La diffraction des rayons X : une technique puissante pour résoudre certains problèmes industriels et technologiques La diffraction des rayons X : une technique puissante pour résoudre certains problèmes industriels et technologiques. *Chimie Nouvelle* N° 116, 12 p.

Roose E., Kabore V., Guenat C., 1995. Le zaï, une technique traditionnelle africaine de réhabilitation des terres dégradées de la région soudano-sahélienne (Burkina Faso). In: R. Pontanier, A. M'Hiri, N. Akrimi, J. Aronson, E. Le Floc'h, (eds). L homme peut-il refaire ce qu'il a défait ? John Libbey Eurotext, Paris, pp: 249-265.

Roose, E., Albergel, J., De Noni, G., Sabir, M., Laouina, A., 2008. Efficacité de la GCES en milieu semiaride. AUF, EAC et IRD éditeurs, Paris, 425 p.

Saidani S. 1995. L'évaluation de l'impact des termites du genre Cubitermes sur la conservation du stock organique de parcelles cultivées de la vallée du Niari (République du Congo). DESS, Université Paris XII Val De marne, 63p.

Saïdou A., Kuyper T.W., Kossou O. K., Tossou R. and Richards P., 2004.Sustainable soil fertility management in Benin: learning from farmers. NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences, 52 (3/4), 349-369.

Sainju U.M., Terrill T.H., Gelaye S., Singh B.P., 2003. Soil aggregation and carbon and nitrogen pools under rhizoma peanut and perennial weeds. Soil Science Society of America Journal. 67, 146–155.

Sangaré S. 2002. Evaluation des performances agro-écologiques des techniques de lutte contre la désertification dans les provinces du Passoré et du Yatenga. Casdu zaï, de la demi-lune et du tapis herbacé. Mémoire de fin d'études, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso-Institut du DéveloppementRural (UPB-IDR), 85p.

Sattran, V., Wenmenga, U., 2002. Géologie du Burkina Faso.Czech Geological Survey.

Sawadogo, H., Bock L., Lacroix D. et Zombré N. P., 2008. Restauration des potentialités de sols dégradés à l'aide du zaï et du compost dans le Yatenga (Burkina Faso). Biotechnol. Agron. Soc. Environ. 12(3), 279-290.

Schaller N., 2013. L'agroécologie : des définitions variées, des principes communs. Publication du Centre d'études et de prospective Ministère en charge de l'agriculture. Numéro 60,39 pages.

Scherr, S. J., 1999. Soil degradation, a threat to developing-country food security by 2020? Food, Agriculture, and the Environmental Discussion, Paper 27. International Food Policy Research Institute. Washington, DC.

Scottish Government, 2009. The Scottish Soil Framework, [online] http://www.scotland.gov.uk/Publications/2009/05/20145602/13 (consulté le 25/02/2015).

Segalen P., 1973. L'aluminium dans les sols. Init. Doc. tech., O.R.S.T.O.M.., Paris. no 22. 281 p.

Segalen P., 1967. Les Facteurs de formation des Sols ferrugineux tropicaux. ORSTOM Paris, collection de référence N°12/20, 13 p.

Segda Z., Lompo F., Wopereis M. C. S. et Sedego M. P., 2001. Amélioration de la fertilité du sol par utilisation du compost en riziculture irriguée dans la vallée du Kou au Burkina Faso. Agronomie Africaine 13(2), pp 45-58.

Segda Z., Yaméogo L. P., Gnankambary Z.,Sedogo M. P., 2013. Effets induits du type de fumure sur les paramètres chimiques du sol et sur le rendement paddy dans la plaine rizicole de Bagré au Burkina Faso. J. Soc. Ouest-Afr. Chim.036 ; 35- 46.

Séguy L., Husson O., Charpentier H., Bouzinac S., Michellon R., Chabanne A., Boulakia S., Tivet F., Naudin K., Enjalric F., Ramaroson I., Rakotondramanana P., 2009. Principes et fonctionnement des écosystèmes cultivés en semis direct sur couverture végétale permanente. In ed.: CIRAD, Manuel pratique du semis direct à Madagascar, Volume I, Antananarivo: CIRAD, 32 p.

Serpentié, G., Lamachère, J. M., 1988. Valorisation des eaux de ruissellement en zone soudano-sahélienne, Burkina Faso, Province du Yatenga, Région du Bidi, ORSTOM, Ouagadougou.

Sidibé A (2005). Farm-level adoption of soil and water conservation techniques in northern Burkina Faso. Agric. Water Manag., 71, 211-224.

Soltner D (2003). «Les bases de la production végétale Tome 1» Le sol et son amélioration l4ème édition: collection sciences et techniques agricoles.

Somé, A., Alexandre, D.Y. et Hien, V., 1999. Bio-indicateurs paysans de la fertilité des sols et gestion du cycle culture-jachère en zone soudanienne (Burkina Faso). Journal d'agriculture traditionnelle et de botanique appliquée. 41(2), 137-145.

Some, D., Zombre, P. N., Zombre, G., Macauley, H. R.,2004. Impact de la technique du zaï sur la production du niébé et sur l'évolution des caractéristiques chimiques des sols très dégradés (zippellés) du Burkina Faso. Sécheresse. 15(3),263-269.

SOS FAIM, 2011. L'agroécologie, une solution? Publications SOS FAIM : défis sud. Numéro 103 pp 8-23. http://karamareporter.mondoblog.org/files/2013/12/De%CC%81fis-Sud-lagroe%CC%81cologie-une-solution-SOS-Faim-octobre-2011.pdf consulté le 16/04/2015.

Soule B. G. et Gansari S., 2010. La dynamique des échanges régionaux des céréales en Afrique de l'ouest. Rapport d'étude 2010, 111 p

Spohn, M., 2015. Microbial respiration per unit microbial biomass depends on litter layer carbon-to-nitrogen ratio. Biogeosciences 12, 817-823.

Tian, G., Badejo, M. A., Okoh, A. I., Ishada, F., Kolawole, G. O., Hayashi, Y., Salako, F. K., 2007. Effects of residue quality and climate on plant residue decomposition and nutrient release along the transect from humid forest to Sahel of West Africa. Biogeochem. 86, 217-229.

Traoré M., Lompo F., Thio B., Ouattara B., Ouattara K., Sedogo M., 2012.Influence de la rotation culturale, de la fertilisation et du labour sur les populations de nématodes phytoparasites du sorgho (Sorghum bicolor (L,) Moench. Biotechnol. Agron. Soc. Environ. 16(1), 59-66.

Turbe A., De Toni A., Benito P., Lavelle P., Lavelle P., Camacho N.R., Mudgal S., 2010. Soil biodiversity: functions, threats and tools for policy makers, European Commission, Paris, France (2010) Bio Intelligence Service Technical Report 2010-049< bioemco-00560420 >.250p.

UNESCO, 2009. Proposition d'un nouveau thème dans le contexte du Programme MAB : Les agroécosystèmes, International Coordinating Council of the Man and the Biosphere (MAB) Programme, Twenty-first session, Jeju du 25-29 May 2009.http://portal.unesco.org/science/fr/ev.php.URL_ID=7418&URL_DO=DO_TOPIC&URL_SECTION=201.html.

UNCCD, 2009. La gouvernance territoriale et ses enjeux pour la gestion des ressources naturelles. Des approches novatrices pour lutter contre la désertification et la dégradation des terres et des eaux. Désertification, dégradation des terres et sécheresse, document thématique No, 3, 978-92-95043-43-5, 1ere Édition, 51 pages.

UNCCD, 2011. Land and soil in the context of a green economy for sustainable development, food security and poverty eradication.In UNCCD Publications,http://www,unccd,int/Lists/SiteDocumentLibrary/Publications/Rio/206/20pages/20english,pdf, (Consulté le 22/02/2015).

UNCCD, 2012. Objectif développement durable pour Rio+20 : taux net nul de dégradation des terres.http://www,unccd,int/Lists/SiteDocumentLibrary/secretariat/2012/220PAGES%20RIO%20FRE,pdf (Consulté le 22/02/2015)

UNCCD, 2014. The land in numbers, Livelihoods at a tipping point, Secretariat of the United Nations Convention to Combat Desertification ISBN: 978-92-95043-90-9, 19 p

USAID, 2012. Building resilience to recurrent crisis: USAID policy and program guidance, Washington DC: U,S, Agency for international development, 25 pages.

Valentin C., 1994. Sécheresse et érosion au Sahel. *Sécheresse,*5 (3), 191-198.

Van Walsum E., van den Berg L., Bruil J. and Gubbels P., 2014. From vulnerability to resilience: agroecology for sustainable dryland management. In: PlanetRisk, 2(1), Special Issue on Desertification: 62-69, Davos: Global Risk Forum GRF Davos.

von Braun, J., Gerber, N., Mirzabaev, A., Nkonya, E., 2013.The economics of land degradation, ZEF Working Paper Series, No, 109, http://hdl,handle,net/10419/88314 20 (consulté le 1/03/15).

Wardle, D. A., Ghani, A., 1995. A critique of the microbial metabolic quotient (qCO_2) as a bioindicator of disturbance and ecosystem development, Soil Biol. Biochem. 27, 1601-1610.

Warren, S.D., 2014. Role of biological soil crusts in desert hydrology and geomorphology: Implications for military training operations, in Harmon, R.S., Baker, S.E., and McDonald, E.V., eds., Military Geosciences in the Twenty-First Century: Geological Society of America Reviews in Engineering Geology, v. XXII, p. 177–186, doi:10.1130/2014.4122(16).

Weill A. et Duval J., 2009. Module 7-Chapitre 12 « les amendements organiques:fumiers et composts »,Manuscrit du guide de gestion globale de la ferme maraichère biologique et diversifiée, Equiterre 19 p. https://www,agrireseau,net/agriculturebiologique/documents/MARAI_Chapitre_12Amendements,pdf (Consulté le 28 Avril 2017)

Wezel A., Bellon S., Doré T., Francis C., Vallod D., David C., 2009."Agroecology as a science, a movement and a practice. A review" Agronomy for Sustainable Development 29:503-515.

Wezel A., et Soldat V., 2009.A quantitative and qualitative historical analysis of the scientific discipline of agroécologie. International Journal of Agricultural Sustainability 7(1), 3-18.

WRB, 2015. World reference base for soil resources 2014. World Soil Resources Reports No, 106, FAO, Rome

Yaméogo J.T., Somé A. N., Mette Lykke A., Hien M. et Nacro H. B., 2013. Restauration des potentialités de sols dégradés à l'aide du zaï et des cordons pierreux à l'Ouest du Burkina Faso. TROPICULTURA 31 (4), 224-230.

Zahm, F., Viaux, P., Vilain, L., Girardin, P. and Mouchet, C. (2008). Assessing farm sustainability with the IDEA method from the concept of agriculture sustainability to case studies on farms. Sust. Dev., 16, 271–281. doi: 10,1002/sd,380.

Zak, J. C., Willig, M. R., Moorhead, D. L., Wildman, H. G., 1994. Functional diversity of microbial communities: a quantitative approach. Soil. Biol. Biochem. 26, 1101–1108.

Zhou, X., Wu, H., Koetz, E., Xu, Z. Chen, C., 2012. Soil labile carbon and nitrogen pools and microbial metabolic diversity under winter crops in an arid environment. Appl. Soil. Ecol. 53, 49-55.

Zougmore R., Guillobez S., Kambou N. F., Son G., 2000.Runoff and sorghum performance as affected by the spacing of stone lines in the semiarid Sahelian zone, Soil & Tillage Research.56, 175-183.

Zougmore R., Zida Z. 2000. Lutte antiérosive et amélioration de la productivité du sol par l'aménagement de cordons pierreux, Fiche technique 1, INERA, 2p.

Zougmore R., Gankambary Z., Guillobez S., Stroosnijder L., 2002. Effect of stone lines on chemical characteristics under continuous sorghum cropping in semiarid Burkina Faso, Soil & Tillage Research 66, 47-53.

Zougmoré, R., Ouattara, K., Mando, A., Ouattara, B., 2004. Rôle des nutriments dans le succès des techniques de conservation des eaux et des sols (cordons pierreux, bandes enherbées, zaï et demi-lunes) au Burkina Faso. Secher. 15, 41-48.

Zoungrana, C. (2004). Adoption des techniques de conservation des sols et lutte contre la pauvreté au Yatenga. Mémoire de D.E.A. Université de Ouagadougou.

ANNEXES

Annexe 1

Fiche d'enquête agronomique

1. Identités et Adresses

1.1.Nom :…………………………… Prénom :………………………………,

1.2. Ages:,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,, 1.3.Niveau d'étude,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,

1.4.Sexe: ☐ ☐

1.5. Activité Principale

1-Agriculteur ☐ 2-Eleveur ☐ 3-Artisan/Réparateur ☐ 4-Commerçant ☐

5-Fonctionnaire ☐

1.5. Activité secondaire

1-élevage ☐ 2-Maraichage/Agriculture ☐ 3-Artisan/réparateur ☐

4-Commerçant ☐ 5-fonctionnaire ☐

2. Exploitation ?

2.1. Combien d'animaux avez-vous?

2.1.1-Bovins ☐ -2.1.2-Petit ruminant (Caprins, Ovins) ☐ 2.1.3 Anes ☐

2.2. Combien de personnes avez-vous dans votre exploitation ?

Femmes ☐ Hommes ☐ Enfants ☐

2.3. Combien de parcelles (champs) avez-vous ?……..,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,

3. Quelles sont les cultures courantes dans cette zone?

…………………………………………………………………………………………………

4. Quel type de sol avez-vous ?

…………………………………………………………………………………………………

5. qualité de vos sols ?

5.1. Comment jugez-vous la qualité de vos sols

Fertile.☐.Peu fertile ..☐….Très fertile…☐..Improductif…☐

Autres………………………………………………………………………………,

5.2. Comment jugez-vous l'état de dégradation de vos sols

Dégradé… ☐ Très dégradé… ☐ Erodé ☐ un peu dégradé ☐

Autres……

6. Quelles sont vos pratiques traditionnelles de production ?

Indicateurs		Pratiques	Pourquoi ?
Travail du sol		1-labour charrue ☐ 2-Zéro labour 3-Grattage ☐ 4-Autres :…… ☐	1- 2 3 4
Fertilisation	Organique	1-Fumier ☐ 2-Résidus de culture+DS ☐ 3-compost ☐ 4-Aucune fertilisation ☐ Autres :……	……,, Composition :……, Date d'apport :……, Dose :…… Mode :……
	minérale	1-NPK ☐ 2 –Urée ☐ 3-Autre	
Associations culturales		1-Mil+sorgho ☐ 2-Mil+Niébé 3-sorgho+niébé ☐ 4-M+N+S 5- Pas d'association- 6-autres :……	☐ ☐
CES/DRS		1-Cordons pierreux ☐ 2-Zaï ☐ 3-Autres :……	
Autres			

7. Etes-vous satisfait des résultats avec ces pratiques traditionnelles?

Oui ☐ Non ☐

8. Quels problèmes rencontrez-vous dans la production?

Baisse de la fertilité des sols ☐ Baisse de la production ☐

Baisse de la pluviometrie ☐ irregularité des pluies ☐

Erosion des sols :☐

Autres:……

9. Ces difficultés sont dues à quoi?

Mauvaises pratiques agricoles ☐ Naturelles ☐

Mauvaises qualités des intrants agricoles ☐ Manque de moyen ☐

Mauvaises Associations des cultures ☐ Changement climatiques ☐

Autres :……,,

10. Avez-vous entrepris des actions pour y remédier?

1-Formation sur les bonnes pratiques agricoles ☐

2-Action endogènes sans formation ☐

3-Non ☐

11. Avez-vous déjà fait une formation en agro écologie ?

Oui ☐ Non ☐

12. Si non:

12.1. Pourquoi?

1-Manque d'information ☐ 2-Manque de temps ☐ 3-Manque d'intérêt☐

4-Autre ☐

12.2. Connaissez-vous l'agro écologie?

Oui ☐ Non ☐

12.3. Quelles techniques vous appliquez dans vos exploitations?

…………………………………………………………………………………,

12.4. Ou l'avez-vous appris?

…………………………………………………………………………………

13. Si oui:

13.1. Quand?,,

Qui a initié ?,,,

Qui a dispensé cette formation ?,,,

Aviez-vous besoin de ca ?,,

13.2. Quelles sont les thèmes (pratiques Agro écologiques(PAE)) abordés lors de ces formations ?

Labour+compost ☐ les assolements ☐

Association des cultures ☐ Culture sur des courbes de niveau ☐

Rotation des cultures ☐ La pratique de jachères ☐

Engrais verts dérobés ☐ Application de la MO ☐

Cordons pierreux ☐ Zai ☐

Labour ☐ Semis direct ☐

Compost ☐

Agroforesterie ☐

Autres :…………………………………………………………………………

14. Appliquez vous ces pratiques dans votre exploitation ?

Oui ☐ Non ☐

15. Si non pourquoi?

…………………………………………………………………………………,

16. Qu'est ce qui freine l'adoption de ces pratiques?

1-Manque de moyen de matériel et de main d'œuvre ☐

2-Manque d'information…☐ 3-Pénibilité du travail ☐

17. Si oui:

17.1. Depuis quand?

……,,

17.2. Vous appliqué quels techniques dites agroécologiques dans vôtre exploitation?

Indicateurs	Pratiques	Pourquoi ?
Travail du sol	1-labourcharrue ☐ 2-zéro labour ☐ 3-Grattage ☐ 4- Autres :……,	1 2 3 4
Fertilisation	1-Fumier ☐ 2-Résidus de cultures/Déchet ménagers ☐ 3-compost ☐ 4-Autres :……,,	……,, Composition :……,, Date d'apport :……, Dose :……, Mode :……
Associations culturales	1-Mil+sorgho ☐ 2-Mil+Niébé ☐ 3-sorgho+niébé ☐ 4-M+N+S ☐ 5-autres :……,	Pourquoi ?:
CES/DRS	1-Cordons pierreux	Technique……,, Période :…… Mode de fertilisation :……, Dose :……,
	2-Zaï	Mode :……,, Période :……

		Mode de fertilisation :…… Dose :……,,
	3-Autres	Mode :……,, Période :……
Autres		

17.3. Avez-vous obtenu du matériel pour le travail du travail du sol ?

1-Charrue ☐ 2-Charrue+Âne ☐ 3-Âne ☐

17.4. Avez-vous obtenu du matériel pour le compostage?

1-Charrette ☐ 2-bœuf ☐ 3-petit matériel ☐

4- Charrette+ petit matériel ☐

17.5. Quelles était les conditions d'obtention de ce matériel ?

1-crédit ☐ 2-don ☐

17.6. Avant la formation est ce vous appliquiez certaines de ces techniques?

1-Labour+compost ☐ 9- les assolements ☐

2-Association des cultures ☐ 10-Culture sur des courbes de niveau ☐

3-Rotation des cultures ☐ 11- La pratique de jachères ☐

4-Engrais verts dérobés ☐ 12-Application de la MO ☐

5-Cordons pierreux ☐ 13-Zaï ☐

6-Labour ☐ 14-Semis direct ☐

7-Compost ☐

8-Agroforesterie ☐

15-Autres :……

…….....

17.7. Pourquoi le choix du Zai sur une parcelle?

1-éviter les pertes de MO ☐

2-récupérer des terres délaissées/improductives ☐

3-accroitre la production☐ 4-Autres……,, ☐

17.8. Pourquoi le choix des cordons pierreux sur une parcelle?

1-éviter le transport des fertilisants par l'eau de ruissellement ☐

2-Freiner l'érosion hydrique en réduisant la vitesse de ruissellement des eaux de pluie ☐

3-récupérer des terres délaissées/improductives

4-régulariser la pente ☐ 4-Autres..☐……,,

17.9. Décrivez brièvement le mode de fabrication du compost:

……,,

……,,

17.10. Quel est l'impact de ces pratiques sur la production Agricole et la gestion durable des sols agricoles?

1-Pas de changement ☐ 2-Médiocre☐ 3-Bon ☐ 4-excellent ☐

18. Comment évaluer vous les rendements? Exprimez les rendements en unité (Kg/ha ou T/ha)

……,,

……,,

19. Comment juger vous ces rendements par rapport aux autres producteurs et a la moyenne de la zone?

- Pas de changement☐ 1-Passable 2-Bon 3- excellent☐

20. Comment savez vous que l'état de votre sol s'est amélioré ou pas?

1-augmentation des rendements ☐

2-comparaison aux productions des années précédentes ☐

3-observation de la couleur du sol ☐

4-croissance des plants ☐

Annexe 2

Fiche de suivi des indicateurs

Village :……Nom et Prénom :……,

Type de pratiques agroécologiques :……,,

Spéculations :……,

Indicateurs	Période (Préparation du sol, …,Récolte): …….,	
	Oui/Non	Explication
Couleur du sol		
Présence termites/ termitière		
Présence ver de terre		
Etat du sol		
Taux de levé		
Vitesse de croissance		
Etat d sol		
Trace d'érosion		
Présence de mauvaises herbes		
Taille des plants		
Couleurs des tiges et des feuilles		
Etat du sol		
Vitesse de croissance		
Trace d'érosion		
production		
Taille des épis		
Taille des tiges		

Annexe 3

Description des profils pédologiques des sols

Profil en haut de pente:

- **horizon A:** structure en surface est massive et la porosité faible à cause de la présence d'une croûte structurale
- **horizon E:** un horizon légèrement plus clair et appauvri en argiles;
- les eaux parvenant à s'infiltrer accompagnant les argiles vers des horizons plus profonds. Ces horizons d'accumulation sont de deux types: (i) **Bto** d'accumulation d'argiles et de nodules ferrugineux; (ii) **Bt** très pauvre en éléments grossiers et très riche en argile avec notamment des fentes de retrait caractéristiques d'un milieu argileux.

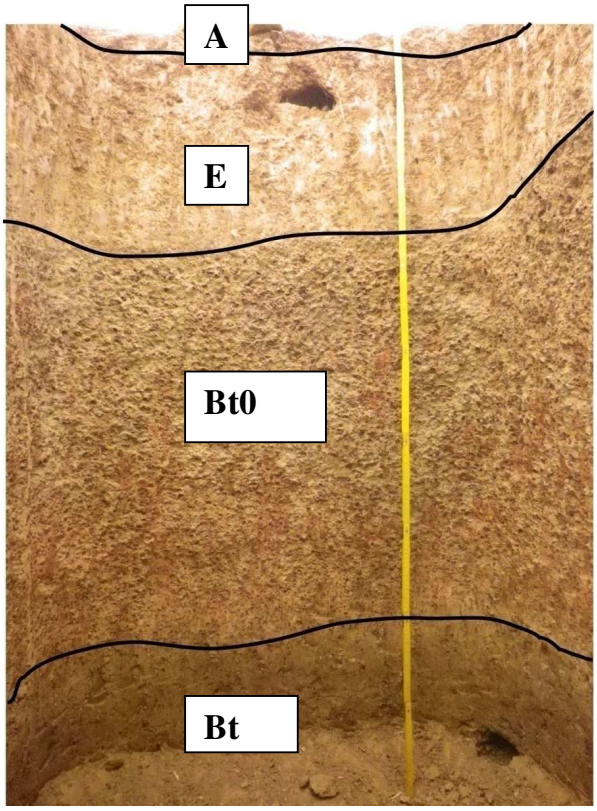


Figure 83: Fosse pédologique en haut de pense dans le bassin versant de Sampieri

Profil en Milieu-bas de pente:

- **Horizon A:** environnement moins érosif horizon de surface plus épais, plus sombre (présence de MO en plus grande quantité).
- **Horizon E:** différentiel de couleur avec l'horizon A très net. Ce dernier étant de couleur plus clair mais également relativement pauvre en argiles
- **Horizon Bto:** accumulation d'argiles et de nodules ferrugineux, pas continu;
- **Horizon Bt1:** accumulation d'argiles et de nodules ferrugineux
- **Horizon Bt2**: très riches en concrétions blanchâtres et au goût salé.

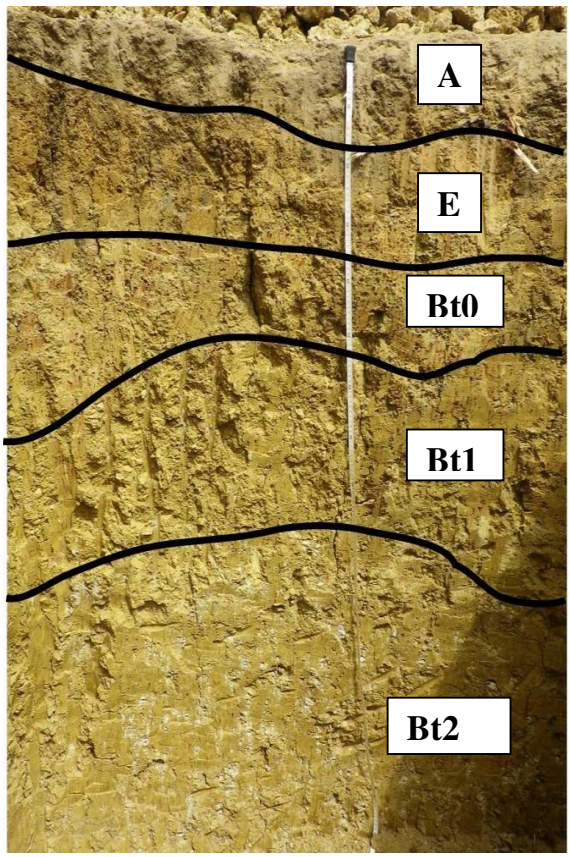


Figure 84 : Fosse pédologique en milieu-bas de pense dans le bassin versant de Sampieri

Profil en Milieu-bas de pente:

- **Horizon A:** environnement moins érosif horizon de surface plus épais, plus sombre (présence de MO en plus grande quantité).
- **Horizon E:** différentiel de couleur avec l'horizon A très net. Ce dernier étant de couleur plus clair mais également relativement pauvre en argiles
- **Horizon Bto:** accumulation d'argiles et de nodules ferrugineux, pas continu, très fin et surtout discontinu dans l'espace que ce soit en profondeur et en épaisseur;
- **Horizon Bt1:** accumulation d'argiles et de nodules ferrugineux
- **Horizon Bt2**: très riches en concrétions blanchâtres et au goût salé.

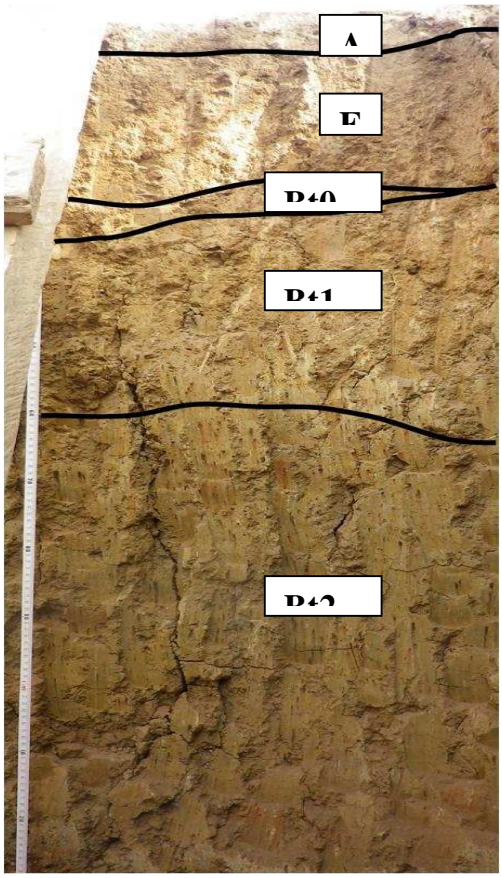


Figure 85: Fosse pédologique en milieu-bas de pense dans le bassin versant de Sampieri

Annexe 4

Figure des caractéristiques microbiologiques de l'essai cordon pierreux

Annexe 4.1

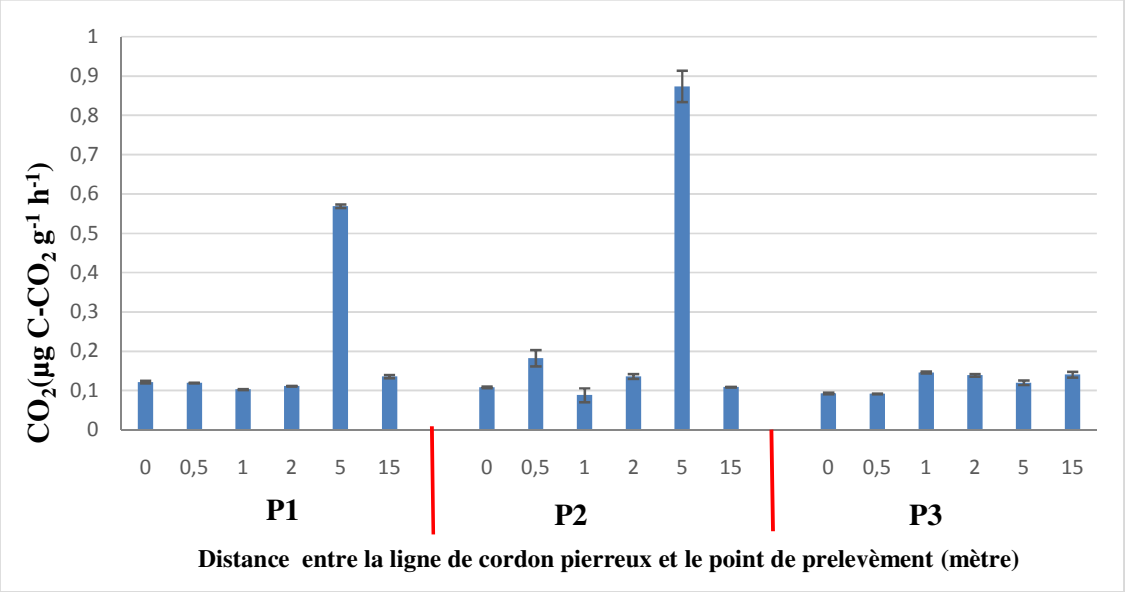


Figure 86 : Respiration basale des différents points de prélèvement en fonction des parcelles

Annexe 4.2

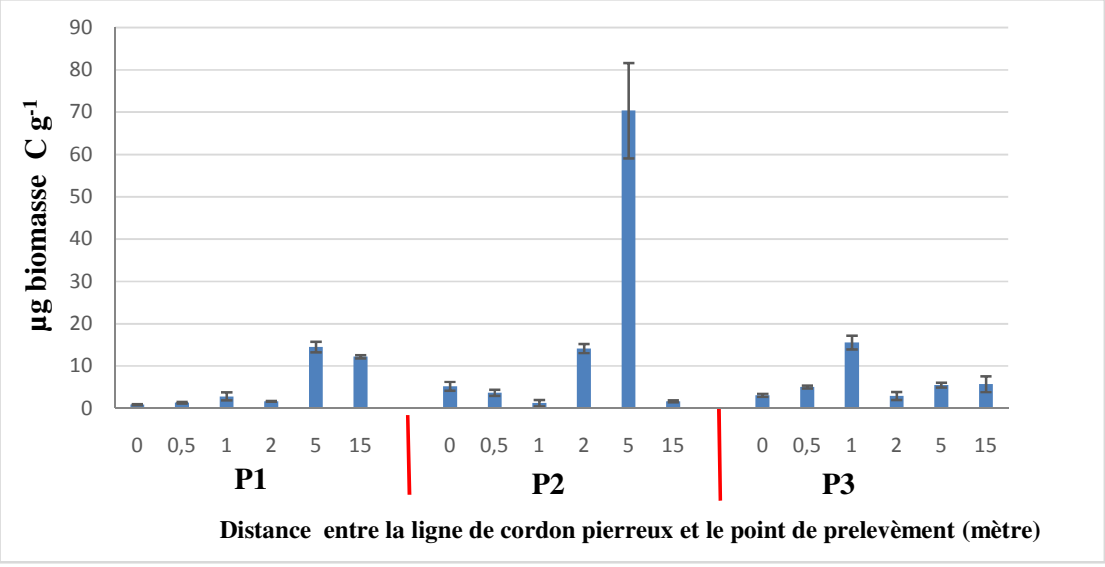


Figure 87 : Biomasse microbienne des différents points de prélèvement en fonction des parcelles

Annexe 4.3

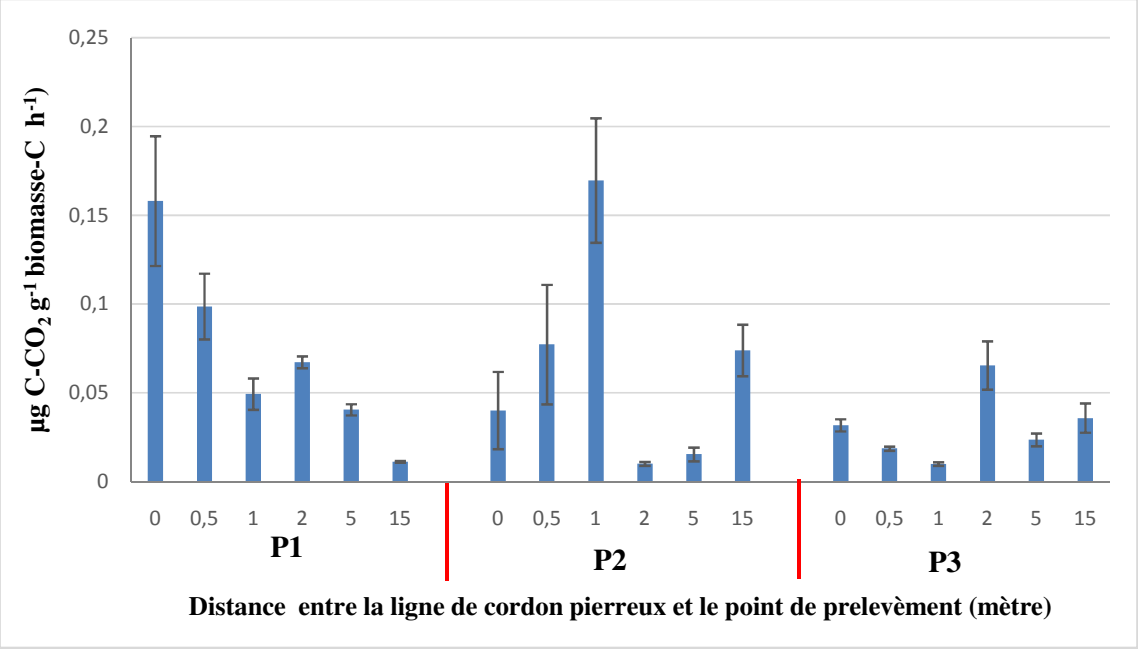


Figure 88 : Quotient métabolique des différents points de prélèvement en fonction des parcelles

Annexe 4.4

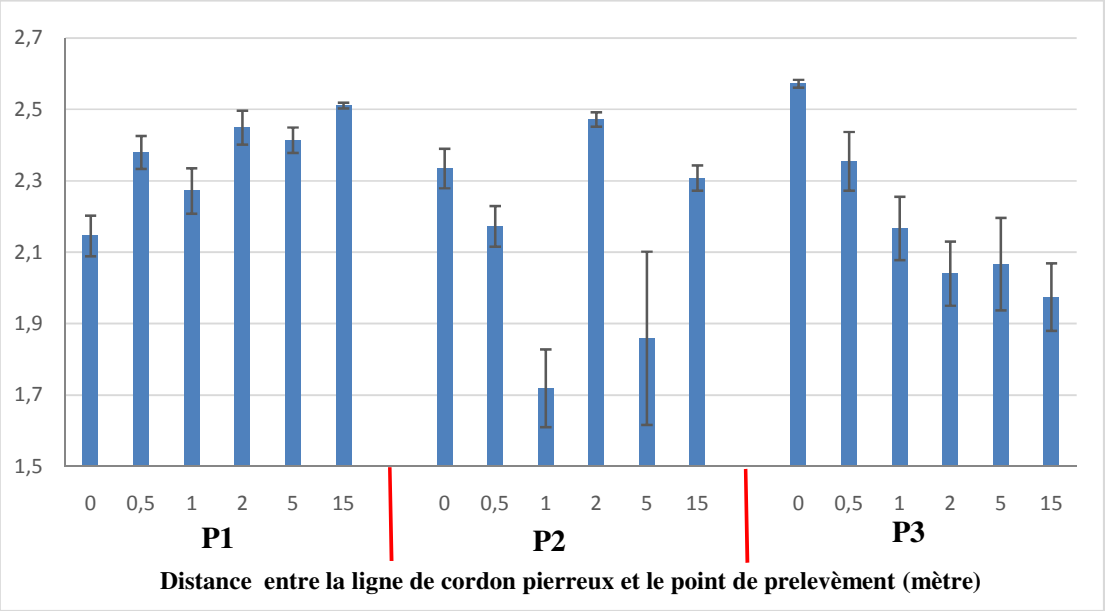


Figure 89 : Indice de Shanoon-Weaver des différents points de prélèvement en fonction des parcelles

Annexe 4.5

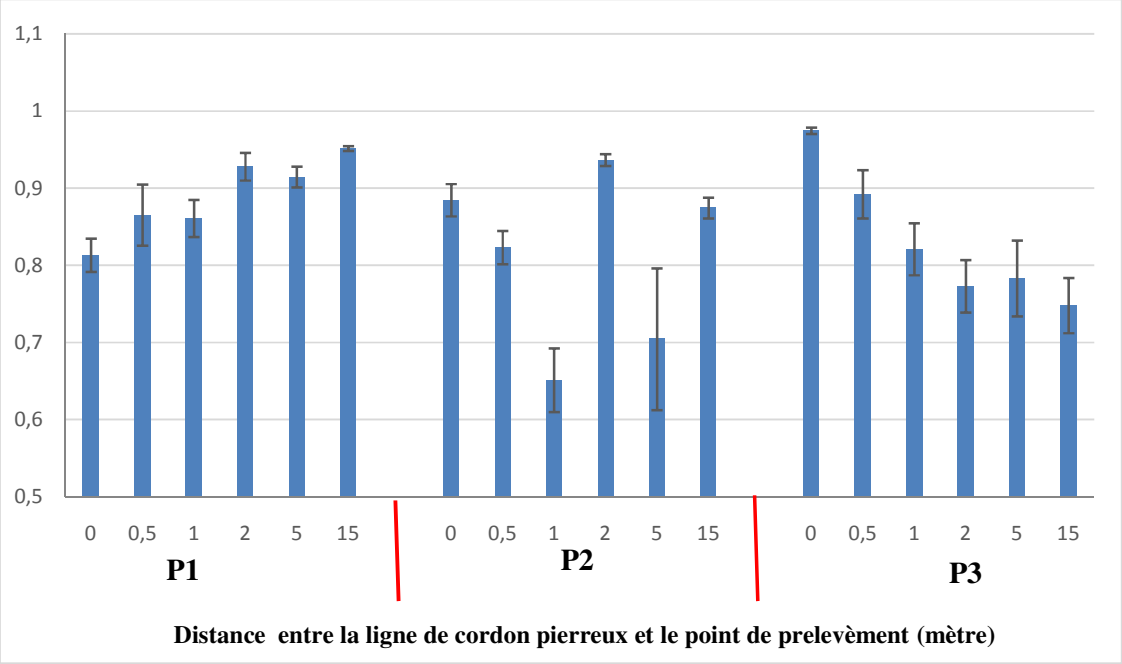


Figure 90 : Indice d'équitabilité des différents points de prélèvement en fonction des parcelles

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS ..... **I**

SIGLES ET ABREVIATIONS ..... **IV**

LISTE DES TABLEAUX ..... **V**

LISTE DES FIGURES ..... **VI**

INTRODUCTION GENERALE **1**

PREMIERE PARTIE: REVUE BIBLIOGRAPHIQUE **6**

CHAPITRE I: ETAT DE DEGRADATION DES SOLS **7**

1.1 Phénomène de dégradation des sols 7

1.1.1 Fonctions du sol 7

1.1.2 Rôles du sol dans les agro-ecosystèmes 8

1.1.3 Dégradation des sols 9

1.1.3.1 Ampleur d'un phénomène mondial 9

1.1.3.2 Cas du Burkina Faso 10

1.2 Typologie des dégradations des sols 11

1.2.1 Dégradation chimique 12

1.2.2 Dégradation physique 12

1.2.2.1 Compaction 12

1.2.2.2 Encroûtement 12

1.2.3 Erosion 13

1.3 Causes et conséquences de dégradation des sols 14

1.3.1 Causes de la dégradation 14

1.3.1.1 Facteurs biophysiques 14

1.3.1.2 Facteurs anthropiques 15

1.3.2 Conséquences de la dégradation des sols 15

CHAPITRE II: L'AGROECOLOGIE **17**

2.1 Historique de l'agroécologie 17

2.2 Définition et principes de base de l'agroécologie 18

2.3 Pratiques agroécologiques 20

2.3.1 Fertilisation 20

2.3.2 Travail du sol 21

2.3.3 Lutte contre l'érosion et récupération des terres dégradées 22

2.3.3.1 Cordons pierreux 22

2.3.3.2 Bandes enherbées, diguettes filtrantes 23

2.3.3.3 Paillage 23

2.3.3.4 Zaï 23

2.4 Déterminants de l'adoption des pratiques nouvelles 24

2.5 Indicateurs de fertilité des sols 24

2.6 Synthèse et objectif de travail 25

DEUXIEME PARTIE: MATERIELS ET METHODES..... 27

CHAPITRE III : PRESENTATION DU CADRE DE L'ETUDE: CONTEXTE GENERAL DE L'EST DU BURKINA FASO..... 28
3.1 PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE 28
3.1.1 Situation administrative 28
3.1.2 Milieu physique 29
3.1.2.1 Climat 29
3.1.2.2 Végétation 30
3.1.2.3 Hydrographie 31
3.1.2.4 Sols 31
3.2 Village d'étude : Sampiéri 32

CHAPITRE IV : METHODES UTILISEES **37**
4.1 Evaluation des déterminants de l'adoption des pratiques agroécologiques 37
4.1.1 Choix des acteurs cibles 37
4.1.2 Paramètres considérés 38
4.1.3 Modèle utilisé 38
4.1.3.1 Spécificité du modèle 38
4.1.3.2 Méthode d'estimation 39
4.1.3.3 Hypothèses du modèle d'adoption 40
4.2 Appréhension des indicateurs paysans de fertilité des sols 40
4.3 Taux d'humidité des sols sur le terrain 41
4.4 Prélèvement des échantillons de sols et analyse au laboratoire 42
4.4.1 Méthodologie de prélèvement des échantillons de sol et des croûtes 42
4.4.1.1 Caractérisation pédologique du site 42
4.4.1.2 Comparaison des effets des pratiques agroécologiques et traditionnelles 42
4.4.1.3 Essai cordons pierreux 43
4.4.1.4 Prélèvement des croûtes 43
4.4.2 Analyses au laboratoire des sols 44
4.4.2.1 Granulométrie 44
4.4.2.2. Diffraction aux rayons X de la fraction argileuse des sols 45
4.4.2.2.1 Principe 45
4.4.2.2.2 Mesures réalisées 46
4.4.2.3 pH et conductivité des sols 47
4.4.2.3.1 Mesure du pH-eau et pH-KCl 47
4.4.2.3.2 Conductivité électrique 48
4.4.2.4 Pyrolyse flash 48
4.4.2.5 Carbone organique 48
4.4.2.6 Détermination du phosphore assimilable 49
4.4.2.6.1 Extraction du phosphore assimilable 49
4.4.2.6.2 Dosage du phosphore assimilable 49
4.4.2.7 Détermination de la CEC 50
4.4.2.8 Détermination des cations échangeables 52
4.4.2.9 Méthodes d'analyse des croûtes 52
4.4.2.9.1 Cryo-MEB à émission de champ 52
4.4.2.9.1.1 Principes généraux du cryo-microscope électronique à balayage à émission de champ 52
4.4.2.9.1.2 Protocole de préparation de l'échantillon à l'observation : 53
4.4.2.9.2 Analyse à la microsonde électronique 54
4.4.2.10 Caractérisations des communautés microbiennes par la méthode MicroResp 55
4.4.2.10.1 Principe 55

4.4.210.2 Calculs 56
4.5 Evaluation des rendements des cultures 58
4.6 Analyse statistique des données 59

TROISIEME PARTIE: RESULTATS ET DISCUSSION 60

CHAPITRE V : RESULTATS 61
5.1 Enquête agronomique et déterminants de l'adoption des pratiques agroéologiques 61
5.1.1 Qualité et perception paysanne des sols 61
5.1.2 Pratiques traditionnelles de production 62
5.1.2.1 Travail du sol 62
5.1.2.2 Fertilisation et associations culturales 63
5.1.2.3 Techniques de CES/DRS 63
5.1.3 Pratiques agroécologiques 63
5.1.3.1 Thèmes de formation 64
5.1.3.2 Niveau d'adoption réel des pratiques 64
5.1.3.3 Pratiques adoptées 65
5.1.3.4 Perception des producteurs sur l'impact de l'agroécologie 68
5.1.4 Facteurs affectant l'adoption des pratiques agroécologiques 69
5.1.5 Déterminants de l'adoption des pratiques à Sampieri 70
5.1.6 Indicateurs de fertilité des sols en milieu paysan 71
5.1.6.1 Évolution des indicateurs utilisés dans le temps 71
5.1.6.2 Description de quelques indicateurs 72
5.1.6.2.1 Indicateurs liés au sol 72
5.1.6.2.2 Indicateurs liés aux plantes 72
5.2 Incidences des pratiques agroécologiques sur les caractéristiques physiques du sol 73
5.2.1 Granulométrie 73
5.2.2 Types d'argiles du sol 74
5.2.3 Description des croûtes 77
5.2.3.1 Description macro et micromorphologique des échantillons 77
5.2.3.2 Résultats de l'analyses à la microsonde électronique EDS 81
5.2.4 Variation du taux d'humidité des sols 83
5.3 Incidences des pratiques agroécologiques sur les caractéristiques chimiques des sols 84
5.3.1 Variation du pH 84
5.3.2 Conductivité électrique 84
5.3.3 Teneurs en azote total et en carbone organique 85
5.3.3.1 Teneur en carbone organique 85
5.3.3.2 Variation de la teneur en azote total 86
5.3.3.3 Rapport C/N 88
5.3.3.4 Teneurs en phosphore assimilable 89
5.3.3.5 Capacité d'échange cationique et cations échangeables 90
5.4 Influences des pratiques agroécologiques sur l'activité microbiologique des sols 93
5.4.1 Respiration basale (BR) des sols 93
5.4.2 Respiration induite par les différents substrats carbonés 94
5.4.3 Respiration induites (SIR) par l'ensemble des substrats 96
5.4.4 Biomasse microbienne (BM) 96
5.4.5 Quotient métabolique 97
5.4.6 Variation de l'indice de diversité de Shannon-Weaver H' 98
5.4.7 Variation de l'équitabilité catabolique E 99

5.4.8 Corrélation entre les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols 100
5.4.9 Analyse en composantes principales des différentes données 100
5.5 Incidences des pratiques agroécologiques sur les rendements 104
5.5.1 Effet sur le rendement grain du sorgho 104
5.5.2 Effet sur la production de paille 104
5.5.3 Corrélation entre les propriétés du sol et les rendements grains et paille 105
5.6 Essai d'optimisation de la mise en place des cordons pierreux 107
5.6.1 Effet de la taille des parcelles sur les caractéristiques physique et chimique des sols 107
5.6.1.1 Variation du pH 107
5.6.1.2 Conductivité électrique 108
5.6.1.3 Teneur en carbone organique 108
5.6.1.4 Teneur en azote total 109
5.6.1.5 Rapport C/N 110
5.6.1.6 Teneurs en phosphore assimilable 110
5.6.1.7 Cations échangeables et CEC 111
5.6.2 Microflore du sol 112
5.6.2.1 Respiration basale 112
5.6.2.2 Biomasse microbienne 113
5.6.2.3 Quotient métabolique 113
5.6.2.4 Indice de diversité de Shannon-Weaver H' 114
5.6.2.5 Equitabilité catabolique E 114
5.6.3 Gradient de fertilité avec la pente 115
5.6.3.1 Paramètres physiques et chimiques 115
5.6.3.2 Paramètres microbiologiques 117

CHAPITRE VI: DISCUSSION **120**

CONCLUSION GENERALE **130**

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES **132**

ANNEXES **143**

TABLE DES MATIERES **159**

Aboubacar COULIBALY

PRATIQUES ET INDICATEURS AGROECOLOGIQUES DES AGRO ECOSYSTEMES TRADITIONNELS ET INNOVANTS DE L'EST DU BURKINA FASO : ALTERNATIVES D'OPTIMISATION

L'effet des pratiques agroécologiques traditionnelles et innovantes sur les paramètres de fertilité des sols agricoles cultivés en grande culture a été étudié. L'étude a été réalisée en milieu paysan dans la zone agricole de Sampieri à l'Est du Burkina Faso en milieu soudano-sahélien sur des lixisols. La perception des agriculteurs sur la dégradation des sols et la pratique de l'agroécologie, les déterminants de l'adoption des pratiques agroécologiques et l'effet de ces pratiques sur les paramètres physiques, chimiques et microbiologiques ont été déterminés pour des parcelles sous pratiques agroécologiques, versus traditionnelles, comparés aux sols témoins. L'effet de ces pratiques sur le rendement (grains et pailles) du sorgho a également été évalué. L'étude a montré que les pratiques traditionnelles dans la zone sont progressivement remplacées par des pratiques de culture agroécologiques qui ont été enseignées aux producteurs par les partenaires intervenants dans la zone. Les déterminants de l'adoption de ces pratiques sont entre autres l'augmentation des rendements des cultures, l'amélioration du revenu des producteurs, la fourniture ou non de ressources matérielles et humaines et la formation des acteurs. On note également que les agriculteurs ont des indicateurs qui leur sont spécifiques pour apprécier et décrire la fertilité de leurs sols. L'effet des pratiques a été plus significatif pour la plupart des paramètres chimiques (C, N, CE,…) surtout pour la couche 0-10 cm. Les pratiques agroécologiques ont un effet significativement positif sur l'activité minéralisatrice des microorganismes du sol. En outre, il existait une corrélation entre la superficie des parcelles aménagées en cordon pierreux et la plupart des paramètres de fertilité du sol. Par contre aucun gradient de fertilité des sols n'apparait en fonction de la pente lorsqu'on s'éloigne de la première ligne de cordon pierreux.

Mots clés: Agroécologie, Cordons-pierreux, Zaï, Compost, Microbiologie des sols, Lixisols, Burkina Faso.

AGROECOLOGICAL PRACTICES AND INDICATORS OF TRADITIONAL AND INNOVATIVE AGROECOSYSTEMS IN EASTERN BURKINA FASO: ALTERNATIVES OF OPTIMIZATION

The effect of traditional and innovative agroecological practices on the fertility parameters of agricultural soils grown in the field was studied. The study was carried out in a peasant environment in the agricultural area of Sampieri in eastern Burkina Faso in the Sudano-Sahelian environment on lixisols. Farmers' perception of soil degradation and the practice of agroecology, the determinants of the adoption of agroecological practices and the effect of these practices on physical, chemical and microbiological parameters were determined for plots under agroecological practices, versus traditional, compared to control soils. The effect of these practices on the yield (grains and straws) of sorghum was also evaluated. The study showed that traditional practices are being gradually replaced by agroecological cultivation practices that have been taught to producers by the partners involved in the area. The determinants of the adoption of these practices are among others the increase in crop yields, the improvement of producers' income, the supply or not of material and human resources and the training of actors. It is also noted that farmers have indicators specific to them to appreciate and describe the fertility of their soils. The effect of the practices was more significant for most chemical parameters (C, N, CE,...) especially for the 0-10 cm layer. Agroecological practices have a significantly positive effect on the mineralizing activity of soil microorganisms. In addition, there was a correlation between the area of stony cord parcels and most soil fertility parameters. On the other hand, no gradient of soil fertility appears as a function of the slope when one moves away from the first line of stony cord.

Keys words: Agroecological, Stone-rows, Zaï, Compost, Soil microbiology, Lixisols, Burkina Faso

Institut des Sciences de la Terre d'Orléans
1A rue de la Férolerie 45071 Orléans cedex 2
Laboratoire Sols-Matériaux et Environnement
03 B.P. 7021 Ouagadougou