REPUBLIQUE DU BENIN
UNIVERSITÉ D'ABOMEY-CALAVI
ÉCOLE DOCTORALE PLURIDISCIPLINAIRE
« ESPACES, CULTURES ET DÉVELOPPEMENT »
Ad majorem scientiae gloriam

THESE DE DOCTORAT
DE L'UNIVERSITE D'ABOMEY-CALAVI

Formation Doctorale : Géographie et Gestion de l'Environnement
Option : Géosciences de l'Environnement et Aménagement de l'Espace

N° d'enregistrement : 647-2019/UAC/FLASH/EDP

Influences de l'utilisation des terres sur la qualité organique des sols du bassin supérieur de Magou en République du Bénin



Réalisée par :
Christophe Codjo ATCHADA

Sous la Direction de :
- Brice A. H. TENTE, Professeur Titulaire (Directeur de thèse)
- Alex Gbêliho ZOFFOUN, Maître de Recherches du CAMES (Co-Directeur de thèse)

Jury de soutenance

Président : Placide F. G. A. CLEDJO, Professeur Titulaire, Université d'Abomey-Calavi (Bénin)
Rapporteurs : - Brice A. H. TENTE, Professeur Titulaire, Université d'Abomey-Calavi (Bénin)
- Alex G. ZOFFOUN, Maître de Recherches, Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (Bénin)
Examinateurs : - Jean SOGBEDJI, Professeur Titulaire, Université de Lomé (Togo)
- Pierre T. ZOUNGRANA, Professeur Titulaire, Université de Ouagadougou (Burkina-Faso)

MENTION : Très Honorable avec les félicitations du jury
Soutenue publiquement le Jeudi 21 Novembre 2019
Année académique 2018-2019

Sommaire

Sigles, abréviations & acronymes…….. 3

Dédicace……. 5

Remerciements…….. 6

Résumé…….. 8

Abstract…….. 10

INTRODUCTION GENERALE……... 12

PREMIERE PARTIE : CADRES THEORIQUE ET GEOGRAPHIQUE DE L´ETUDE ET APPROCHE METHODOLOGIQUE …… 15

Chapitre I : Cadre théorique…….. 16

Chapitre II : Cadre géographique…….. 41

Chapitre III : Matériel et méthodes…… 64

DEUXIEME PARTIE : RESULTATS……. 83

Chapitre IV : Caractérisation des modes d'utilisation des terres et des systèmes de culture …….. 84

Chapitre V : Perceptions locales sur la fertilité des sols dans le bassin supérieur de Magou…… 97

Chapitre VI : Teneurs et stocks de carbone organique en fonction des modes d'utilisation des terres, de la topo-séquence, de la profondeur et de la texture……. 113

Chapitre VII : Distribution du carbone dans les fractions organiques du sol suivant les modes d'utilisation des terres……. 134

TROISIEME PARTIE : DISCUSSION ……..... 149

Chapitre XIII : Fondement des systèmes de culture et perceptions des agriculteurs sur la fertilité des sols dans le bassin supérieur de Magou 150

Chapitre IX : Dynamique du carbone organique des sols et son mode de répartition dans les différentes fractions granulométriques……. 161

CONCLUSION GENERALE ……... 171

Références bibliographiques……..... 175

Annexes…….. 193
Liste des figures…… 208
Liste des photos……. 211
Liste des tableaux…….. 212
Table des matières …… 214

Sigles, abréviations & acronymes

AFNOR	Agence Française de Normalisation
ARFACC	Appui aux programmes de recherche pour la génération de technologies d'Adaptation et de Résilience des Filières Agricoles aux Changements Climatiques
ASECNA	Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne en Afrique et à Madagascar
BSM	Bassin Supérieur de Magou
CARDER	Centre d'Action Régionale pour le Développement Rural
CCNUCC	Convention-Cadre des Nations-Unies sur les Changements Climatiques
CEDEAO	Communauté Économique Des États de l'Afrique de l'Ouest
CENAP	Centre National d'Agro-Pédologie
CENATEL	Centre National de Télédétection
CFC	Chlorofluorocarbone
CNDD	Commission Nationale pour le Développement Durable
CO_2	Dioxyde de Carbone
CRAAQ	Centre de Référence en Agriculture et Agroalimentaire du Québec
DPA	Direction de la Production Animale
DSA	Direction de la Statistique Agricole
EPAC	Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi
FAO	Food and Agricultural Organization
FIT	Front Intertropical
FASHS	Faculté des Sciences Humaines et Sociales
FSA	Faculté des Sciences Agronomiques
GES	Gaz à Effet de Serre
GIEC	Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat

GLM	General Linear Model
GPS	Global Positioning System
GtC	Gigatonne de carbone (10^9 t C)
IGN	Institut Géographique National
INRAB	Institut National des Recherches Agricoles du Bénin
INSAE	Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique
LABEE	Laboratoire de Biogéographie et Expertises environnementales
LACARTO	Laboratoire de Cartographie
MAEP	Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage et de la Pêche
MEHU	Ministère de l'Environnement, de l'Habitat et de l'Urbanisme
MMEH	Ministère des Mines, de l'Energie et de l'Hydraulique
MOS	Matière Organique du Sol
OMAFRA	Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires Rurales de l'Ontario (Canada)
ORSTOM	Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer
PGFTR	Programme de Gestion des Forêts et Terroirs Riverains
$RGPH_4$	Quatrième Recensement Général de la Population et de l'Habitation
SIG	Système d'Information Géographique
SPOT	Satellite Pour l'Observation de la Terre
t C/ha	Tonnes de carbone par hectare
UCAR	University Corporation for Atmospheric Research
USDA	United States Department of Agriculture

Dédicace

A mon épouse Clémence B. LANLENOU

Voici le fruit de tes peines, de tes sacrifices et de ton amour pour moi.

Remerciements

Avant tout propos, je loue l'Eternel Tout Puissant dont la providence et la miséricorde m'ont conduit au terme de ce travail.

Le présent travail a pu être réalisé surtout grâce aux connaissances transmises par le corps enseignant de l'Ecole Doctorale Pluridisciplinaire « ESPACES, CULTURES ET DÉVELOPPEMENT » de l'Université d'Abomey-Calavi (UAC).

Je remercie vivement le Professeur Brice A. H. TENTE, Directeur de l'Institut de Géographie, de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement (IGATE)/ Centre Interfacultaire de Formation et de Recherche en Environnement pour le Développement Durable (CIFRED) et du Laboratoire de Biogéographie et Expertises Environnementales (LABEE), pour avoir accepté de diriger cette thèse.

Je voudrais surtout témoigner ma profonde gratitude au Dr Ir Alex G. ZOFFOUN, Maître de Recherches du CAMES en Zootechnie et Systèmes pastoraux, Chercheur à l'INRAB et Coordonnateur du Projet ARFACC/INRAB, Co-Directeur de la présente thèse. Qu'il accepte ma reconnaissance pour ses nombreux conseils et pour son appui scientifique et financier dans la réalisation de ce travail.

Je rends un vibrant hommage au Dr Ir Anastase AZONTONDE, Agro-pédologue, Directeur de Recherches du CAMES, Ex-Directeur du Laboratoire des Sciences du Sol, Eaux et Environnement (LSSEE) de l'Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB), non seulement pour son soutien scientifique et moral mais aussi pour la confiance qu'il m'accorde.

C'est le moment de souligner le travail abattu par le Pr Dr Ir Julien G. DJEGO, et le Dr Léa AITONDJI du Laboratoire d'Ecologie Appliquée de la Faculté des Sciences Agronomiques (LEA/FSA/UAC) pour l'orientation et l'amélioration du travail.

Je remercie très sincèrement le personnel du Laboratoire de Microbiologie des Sols et d'Ecologie Microbienne de la FSA (UAC) en l'occurrence Monsieur Moriaque AKPLO pour son sens d'abnégation et de dévouement au service de la rédaction de cette thèse.

Mes remerciements vont également à l'endroit de tout le personnel du LSSEE/INRAB en particulier le responsable, Monsieur Brice HOUSSOU.

Que tout le personnel du Laboratoire de Cartographie (LACARTO) de l'UAC, par son Directeur, Dr Ismaïla TOKO IMOROU, Maître de Conférences du CAMES, trouve ici l'expression de ma sincère gratitude pour le soutien indéfectible.

Que tout le personnel du LABEE, notamment Monsieur Roméo CHABI et Dr Djafarou ABDOULAYE, reçoive mes remerciements pour leur forte contribution.

Je me dois de remercier aussi Messieurs Malick LAWANI et Djalilou MOUSSA ainsi que les agents enquêteurs qui m'ont aidé dans les travaux de terrain. Les agriculteurs enquêtés et les chefs des villages échantillonnés s'inscrivent ici pour leur franche collaboration.

Mes mots de gratitude s'adressent cordialement à Monsieur Housérou DJIBRIL et au Dr Sylvie S. HOUNZINME pour leurs services combien utiles à la réussite de ce travail.

A l'instar de mon grand frère aîné, Monsieur Bernard AKPOVI et de son fils Monsieur Donatien AKPOVI, je prie tous mes parents, frères, sœurs, neveux, nièces, beaux-parents, ami(e)s, chercheurs, collègues, chefs service et autorités administratives qui ne sont pas nommés ici par souci de synthèse, de trouver dans cette thèse la consécration de tout leur amour/soutien et de tous leurs sacrifices.

J'ai une pensée toute particulière pour le jury de soutenance de ma thèse pour le temps consacré à l'évaluation de ce travail.

Résumé

La dégradation des terres liée à la croissance démographique affecte de nos jours les rendements agricoles. Ces rendements connaissent régulièrement une baisse dans le nord-ouest du Bénin. La présente étude a pour objectif d'évaluer les influences des différents modes d'utilisation des terres sur le stock de carbone organique du sol dans le bassin supérieur de Magou (BSM) en République du Bénin. Trois sites ont été choisis de façon raisonnée (Ouankou, N'Dahonta et Pingou). Parallèlement à nos observations, 200 agriculteurs ont été enquêtés et leurs perceptions sur la fertilité des sols dans le BSM ont fait d'abord objet d'une régression logistique polytonique ordinale (Logit) pour identifier les déterminants socio-démographiques qui affectent leurs perceptions avant une analyse factorielle des correspondances (AFC) pour déterminer les indicateurs d'appauvrissement du sol. Cent huit (108) échantillons de sol ont été prélevés sur chaque site suivant le mode d'utilisation des terres (formations naturelles, jachères, plantations, champs), la profondeur (0-10 cm, 10-20 cm et 20-30 cm) et la topo-séquence (haut de pente, mi-pente et bas de pente). La teneur en carbone organique du sol (COS) a été déterminée par la méthode de Walkley et Black. Le stock de COS a été déterminé par la formule du Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC) et les données ont été soumises à une analyse de variance (ANOVA). Les échantillons de sol ont été fractionnés suivant le principe de Feller puis les données concernant le rapport C/N et les fractions organiques du sol ont fait l'objet d'une analyse de régression multiple par mode d'utilisation des terres. Ces données sont traitées à partir du logiciel R version 3.2.2.

Les résultats ont révélé que l'appauvrissement du sol a été la principale difficulté des agriculteurs (54 %). Les trois premières causes de cette situation ont été la déforestation, les feux de végétation et la pâture (73 %) ; pratiques qui impactent négativement le milieu aux plans socio-économique et environnemental. Les stratégies utilisées pour faire face à l'appauvrissement des sols ont été entre autres,

l'usage d'engrais chimiques suivi de la jachère. La présence et/ou l'absence de certaines espèces végétales sur ces sols permet (ent) d'apprécier leur état de fertilité auxdits des agriculteurs. Les teneurs en C ont été faibles (0,78 %) et le stock de COS a suivi un gradient de végétation avec les plus forts taux dans les formations naturelles (29,51 t/ha) et les plus faibles dans les champs (16,76 t/ha) en passant respectivement par les plantations (21,49 t/ha) et les jachères (18,77 t/ha). Le stock de COS diminue de la surface vers la profondeur. Par rapport à la topo-séquence, le stock le plus élevé est en bas de pente (24,63 t/ha) alors que le plus faible est à mi- pente (18,44 t/ha). Par ailleurs, le stock de COS est significativement ($P<0,05$) corrélé avec la teneur en Argile+Limons notamment dans les jachères. L'EC a augmenté avec la taille des fractions organiques et a varié suivant le mode d'utilisation des terres et la profondeur. Dans les formations naturelles, le rapport C/N a évolué positivement avec le carbone lié au sable grossier (CF200) et le carbone lié au sable fin (CF50). Parlant des champs, c'est le CF200 et le carbone lié à la fraction organo-minérale (CFOM) qui font augmenter le C/N. Dans les jachères, ce rapport évolue plus positivement avec le CF50. En ce qui concerne les plantations, seul le CFOM contribue positivement au rapport C/N. Il s'impose alors le développement des pratiques agricoles susceptibles de stimuler l'accumulation de carbone additionnel avec une augmentation de la fertilité des sols et des effets positifs sur la productivité des terres et sur l'environnement.

Mots clés : dégradation des sols – système cultural –- carbone organique - bassin de Magou- Bénin.

Abstract

Nowadays, land degradation linked to population growth is affecting agricultural yields today. These yields are steadily declining in northwestern Benin. The purpose of this study is to evaluate the influence of different land use patterns on soil organic carbon stock in the Magou's Upper Basin (MUB) in the Republic of Benin. Three sites were chosen in a reasoned way (Ouankou, N'Dahonta and Pingou). In parallel with our observations, 200 farmers were surveyed and their perceptions on soil fertility in the MUB were first subjected to an ordinal polytonic logistic regression (Logit) to identify the socio-demographic determinants that affect their perceptions prior to a survey. Factorial Correspondence Analysis FCA) to determine indicators of soil depletion. One hundred and eight (108) soil samples were taken from each site according to the land use pattern (natural formations, fallows, plantations, fields), depth (0-10 cm, 10-20 cm and 20-30 cm) and the topo-sequence (Upper Slope, Mid Slope and Slope Slope). Soil organic carbon SOC) content was determined by the method of Walkley and Black. The SOC stock was determined by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) formula and the data were subjected to an analysis of variance (ANOVA). Soil samples were fractionated according to the Feller principle, and C / N and soil organic fraction data were subjected to multiple regression analysis by land-use mode. This data is processed from the R version 3.2.2 software.

The results revealed that soil depletion was the main difficulty of farmers (54%). The first three causes of that situation were deforestation, wildfires and grazing (73%); practices that negatively impact the environment at the socio-economic and environmental levels. Strategies used for dealing with soil depletion were among other things, the use of chemical fertilizers followed by fallow. The presence and / or absence of certain plant species on these soils allows to assess their fertility state to according to farmers says. C levels were low (0.78%) and SOC stock followed a vegetation gradient with the highest rates in natural

formations (29.51 t / ha) and the lowest in fields (16.51 t / ha) passing respectively through plantations (21.49 t / ha) and fallow (18.77 t / ha). SOC stock decreases from the surface to the depth. Compared to the topo-sequence, the highest stock is at the bottom of the slope (24.63 t / ha) while the lowest is at mid-slope (18.44 t / ha). Moreover, the SOC stock is significantly ($P < 0.05$) correlated with the clay + silt content, especially in fallows. EC has increased with the size of organic fractions and varied according to land use pattern and depth. In natural formations, the C / N ratio has evolved positively with carbon bound to coarse sand (CF200) and carbon bound to fine sand (CF50). Speaking of the fields, it is the CF200 and the carbon linked to the organo-mineral fraction (CFOM) that increase the C / N. In fallows, this ratio evolves more positively with the CF50. With regard to plantations, only the CFOM contributes positively to the C / N ratio. There is a need to develop agricultural practices that can stimulate additional carbon accumulation with increased soil fertility and positive effects on land productivity and the environment.

Key words: soil degradation - cultural system - organic carbon - Magou basin-Benin.

INTRODUCTION GENERALE

La question de la vulnérabilité des écosystèmes terrestres dans un contexte de pression démographique et de changement climatique inquiète, à ne plus en douter, la communauté scientifique. Les besoins croissants des populations face à des ressources non extensibles comme le sol, semblent être, dans une certaine mesure, à l'origine de la désertification et de la dégradation des terres agricoles. Au plan pédologique, la dégradation du sol peut être physique, chimique ou biologique. La dégradation chimique des sols comprend les phénomènes de salinisation et d'alcalisation, d'acidification ou de perte de nutriments des sols. La perte de nutriments et de matière organique est une forme de dégradation des sols avec de sévères impacts économiques et sociaux car la matière organique est un constituant essentiel des sols (Gobat et *al*., 2010). Elle lui confère des propriétés physiques en participant au maintien de sa structure, chimiques par la constitution de réserves disponibles pour les plantes et les animaux d'éléments nutritifs ou énergétiques (Masse et *al*., 2005). Principal constituant de la matière organique, le carbone est l'élément fondamental du CO_2, principal gaz à effet de serre. La présence du carbone organique du sol (COS) détermine dans une large mesure la fertilité du sol et le rendement agricole ; ce qui contribue à la sécurité alimentaire indispensable à une paix sociale.

Si selon Nair et Nair (2003), les écosystèmes terrestres jouent un rôle prédominant dans le cycle du carbone, le compartiment sol représente un potentiel encore plus important pour la séquestration du carbone ; d'où la nécessité de mieux le prendre en compte pour une meilleure utilisation des terres. Du fait de la pression démographique et de l'essor technologique récents, l'impact des activités humaines sur la nature est devenu plus important du fait des modes d'utilisation non durables des terres.

Au Bénin, les modes d'utilisation des terres (foresterie, agriculture, pâture, activité minière, etc.) contribuent grandement au façonnement du milieu. Plusieurs études font état d'une chute des rendements agricoles liée à la baisse de

la fertilité des sols dans le nord du Bénin (Katé et *al.,* 2014 ; Kombiénou *et al*., 2015 ; Azontondé et *al*., 2016). Le bassin de Magou qui se situe dans le nord-ouest du Bénin n'échappe pas à cette précarité agro-pédologique. La partie inférieure de ce bassin étant sous protection de la Réserve de Biosphère de la Pendjari, c'est le bassin supérieur qui subit une dégradation dont l'ampleur n'est pas encore bien maîtrisée mais qui préoccupe les agriculteurs et les autorités. Les liens entre la dégradation organique du sol et les différents usages des terres n'étant pas pour le moment clairement connus dans cette partie du pays, le présent travail intitulé « **Influences de l'utilisation des terres sur la qualité organique des sols du bassin supérieur de Magou en République du Bénin** » permet de déterminer l'effet des usages des terres sur la fertilité organique des sols du Bassin Supérieur de Magou (BSM) afin d'apporter les mesures correctives appropriées au profit des agriculteurs, des aménagistes et des décideurs.

Cette étude se présente en trois parties essentielles. Après l'introduction générale, la première partie est consacrée à la présentation des cadres théorique et géographique de l'étude et de l'approche méthodologique. Ainsi, après avoir posé le problème, émis les hypothèses, énoncé les objectifs et fait le point des connaissances dans le premier chapitre, le deuxième chapitre décrit le cadre de l'étude du point de vue biotique et abiotique. Le troisième chapitre expose les grandes lignes de la démarche méthodologique.

La deuxième partie concerne la présentation des résultats. Après la caractérisation des modes d'utilisation des terres et des systèmes de culture dans le BSM dans le chapitre 4, le cinquième chapitre aborde l'analyse des perceptions des agriculteurs sur les effets des modes d'utilisation des terres sur la fertilité des sols dans le bassin. Les deux derniers chapitres de cette partie se focalisent sur les teneurs et stocks de carbone organique du sol en fonction des modes d'utilisation des terres, de la profondeur et de la topo-séquence dans le Bassin. Ainsi, le chapitre 6 évalue, après la description morphologique des sols, leur teneur et stock en carbone organique en fonction des modes d'utilisation des terres dans le BSM ; le chapitre

7 étudie la distribution du carbone dans les différentes fractions organiques du sol suivant les modes d'utilisation des terres, la profondeur et la topo-séquence dans le BSM.

Quant à la troisième partie, elle est consacrée à la discussion des résultats. Les résultats sont discutés dans les chapitres 8 et 9 avant la conclusion générale qui met fin à la présente étude.

PREMIERE PARTIE : *CADRES THEORIQUE ET GEOGRAPHIQUE DE L´ETUDE ET APPROCHE METHODOLOGIQUE*

CHAPITRE I : CADRE THEORIQUE

La justification scientifique d'une recherche exige une bonne définition du cadre théorique. Ainsi, après la problématique, il a été question de présenter les théories ou idées préexistantes et les concepts clés en lien avec le sujet.

1.1 Problématique

1.1.1 Justification et questions de recherche

Le stockage de carbone organique du sol est un sujet de prime importance dans les négociations internationales visant à lutter contre le changement climatique au travers d'une réduction d'émissions de gaz à effet de serre (Tosser et *al*., 2013). La teneur en carbone organique du sol est généralement considérée comme l'indicateur principal de la qualité des sols, à la fois pour leurs fonctions agricoles et environnementales d'après les travaux de Bernoux et Chevallier (2013). Une perte de carbone organique se traduit alors par une perte de qualité des sols et une altération des fonctions associées, créant ainsi un cercle vicieux : dégradation des sols, déclin de la productivité agronomique, insécurité alimentaire, malnutrition et famine. Or ce sont les systèmes culturaux ou les changements des modes de gestion des terres qui modifient la teneur totale en matière organique dans un sol (Islam et *al*., 2000 ; Pulleman et *al*., 2000). Arrouays et *al*. (2002) de même que Janzen, (2004) ont montré que les changements d'utilisation des terres et l'usage des combustibles fossiles ont été les principales influences de l'homme sur le cycle du carbone. Le changement d'utilisation des terres (déforestation, transformation de prairies en cultures) induit également des pertes de carbone dans les sols (Herfurth, 2015).

A l'échelle mondiale, plus de 35 % de la surface terrestre libre de glace a été convertie en terres agricoles et les sols qui ont été défrichés pour pratiquer l'agriculture ou le pâturage sont victimes d'une forte érosion et de graves pertes de carbone, de nutriments et de biodiversité (FAO, 2015). Le rapport des Nations-Unies sur l'Etat des ressources en sols du monde publié à Rome à la célébration

de la Journée mondiale des sols, le 4 décembre 2015, année internationale des sols, a retenu comme conclusion entre autres qu'en Afrique, presque tous les pays extraient plus de nutriments du sol chaque année que n'en sont restitués par les engrais, les résidus de récolte, le fumier et autres matières organiques.

Les stocks des éléments dans les sols, et en particulier ceux du carbone, sont en constante évolution sous l'effet de facteurs naturels et anthropiques. Le stockage potentiel du carbone dans les sols dépend étroitement du mode d'occupation des terres et de leur gestion (Balesdent et *al.*, 2000). Dès lors le potentiel de séquestration du carbone dans le sol, notamment dans les régions tropicales, représente un grand intérêt (Robert, 2002).

Au Bénin, 65 % du territoire national sont dégradés en raison de la pression démographique (CNDD, 2008). L'agriculture constitue la première activité économique du pays, fournit 70 % des emplois et procure 40 % de la richesse nationale (Azontondé et *al.*, 2016). Dans la partie septentrionale du pays, fortement agricole, la baisse de la fertilité des sols, les chutes de rendement et la désertification sont bien perçues par les populations (Katé et *al.*, 2014). Cette baisse de rendement est liée à la diminution du taux de carbone d'après les travaux de Kombiénou et *al.* (2015) et de Azontondé et *al*., (2016). Dans cette partie du pays, la dégradation observée s'explique par l'action intégrée des systèmes agricoles et du relief du milieu (Kombiénou et *al*., 2014).

Excepté les bas-fonds aménagés où le taux moyen de matière organique est de l'ordre de 1,3 à 2 % entre 0 et 40 cm (Atchada, 2014), des analyses d'échantillons de sols prélevés dans différentes régions du département de l'Atacora ont révélé un faible niveau de fertilité : 0,2 à 1,05 % de matière organique (Anago Codjo et *al*., 2005). Ce déficit en matière organique des sols de plateaux du département de l'Atacora s'explique par une surexploitation pendant plusieurs années selon Kombiénou et *al.* (2014). Ces sols sont astreints à un lessivage qui cause de préjudice aux productions agricoles. La fertilité chimique de la majorité des sols de ces milieux varie de basse à très basse ; soit 88 % environ (Azontondé et *al.*,

2016). Dans le nord-ouest du Bénin, le taux de carbone baisse dans le temps passant de 2,44 % dans l'horizon superficiel (Faure, 1977) à 1,90 % voire 0,3 % sur les plateaux (Kombiénou et *al.*, 2014).

Le bassin versant de Magou est l'un des plus importants de la Réserve de Biosphère de la Pendjari dans le nord-ouest du Bénin. Sa partie supérieure est en zone agricole non protégée et doit donc bénéficier d'une attention particulière du point de vue pédologique au regard du rôle des terres et de la place des productions agricoles dans l'économie du milieu. Dans les communes riveraines, les chutes de rendements agricoles sont particulièrement significatives pour certaines principales cultures, notamment le coton (10 %) et le sorgho (11 %) entre 2002 et 2017 (DSA, 2017). La fertilité du sol étant l'un des principaux facteurs du rendement agricole, il importe de s'en préoccuper avec intérêt. Les études couvrant le BSM et portant sur les caractéristiques physico-chimiques des sols (Atchada, 2014 ; Kombiénou et *al.*, 2015, Azontondé et *al.*, 2016) évoquent globalement la notion de fertilité des sols ; mais elles n'ont pas abordé de façon spécifique la question du carbone séquestré en rapport avec les actions anthropiques. Celles qui ont traité de la teneur en carbone organique du sol et de la biomasse ligneuse (Azontondé et *al.*, 2003 ; Mulindabigwi, 2005) ne concernent pas spécifiquement le bassin de Magou.

Des constats précédents, découle l'interrogation suivante : quelle est la part de l'utilisation des terres dans la perte de la fertilité organique des sols du Bassin Supérieur de Magou (BSM) ? La réponse à cette préoccupation permettra, de façon directe, d'apporter des mesures correctives à la dégradation des sols du BSM pour une gestion durable des terres au profit des agriculteurs, des aménagistes et des décideurs et, indirectement, de contribuer à la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Spécifiquement, l'étude a pour but de répondre aux questions suivantes :

- ✓ En quoi les modes d'utilisation des terres et les systèmes de culture sont susceptibles d'expliquer la dégradation des terres dans le BSM?

- ✓ Quels sont selon les agriculteurs, les modes d'utilisation des terres qui dégradent les sols dans le bassin supérieur de Magou ?
- ✓ Comment varient la teneur et le stock de COS selon les modes d'utilisation des terres dans le Bassin Supérieur de Magou ?
- ✓ En quoi les modes d'utilisation des terres affectent la distribution du carbone organique dans les différentes fractions granulométriques du sol dans le BSM ?

1.1.2 Hypothèses de travail

L'hypothèse fondamentale de cette thèse prédit que les modes d'utilisation des terres affectent la teneur et le stock du COS puis sa distribution dans les différentes fractions granulométriques dans le BSM.

Pour répondre à ces préoccupations, les hypothèses secondaires testées sont les suivantes :

- ✓ H1 : Les caractéristiques des modes d'utilisation des terres et des systèmes de culture permettent de comprendre les facteurs probables de dégradation des terres dans le BSM.
- ✓ H2 : Les agriculteurs ont une bonne perception des effets des modes d'utilisation des terres sur la fertilité des sols dans le BSM.
- ✓ H3 : Les modes d'utilisation des terres, la profondeur et la topo-séquence influencent la teneur et le stock de COS dans le BSM.
- ✓ H4 : La mise en culture entraîne une augmentation de la teneur en carbone dans les fractions grossières des sols suivant les horizons et les niveaux de la topo-séquence.

1.1.3 Objectifs de recherche

L'objectif de l'étude est d'évaluer les influences des différents modes d'utilisation des terres sur le stock de carbone organique du sol dans le bassin supérieur de Magou.

De façon spécifique, il s'est agi de :

- ✓ caractériser les modes d'utilisation des terres et les systèmes de culture dans le bassin supérieur de Magou ;
- ✓ analyser les perceptions des agriculteurs sur la fertilité des sols dans le BSM ;
- ✓ évaluer la teneur et le stock de COS en fonction des modes d'utilisation des terres dans le BSM ;
- ✓ analyser la distribution du carbone dans les différentes fractions organiques du sol suivant les modes d'utilisation des terres dans le BSM.

1.2 Etat des connaissances

Cette partie fait le point des connaissances des travaux effectués sur les différents aspects du sujet.

1.2.1 Recherche documentaire

Plusieurs centres de documentation ont été parcourus pour faire l'état des connaissances sur le sujet afin d'apprécier les besoins scientifiques à combler et aussi mettre à jour une banque de données. Dans ces centres de documentations, divers types d'informations sont recueillis à travers des documents de natures variées. Il s'agit entre de l'Ecole Doctorale ''Espaces, Cultures et Développement'', du LABEE, du LACARTO, des centres de documentation de la FASHS, de la FSA, de l'INRAB, du MAEP, de la FAO, du CENATEL, de la DSA, de la DPA, de l'ex-CARDER Atacora, de l'INSAE, des Centres de Promotion Agricole de Tanguiéta, Cobly et de Matéri, etc. Dans ces centres et sur divers sites internet, à travers les livres, thèses, mémoires, rapports et articles, des informations générales à caractère méthodologique et des informations spécifiques ont été recueillies. En fonction des besoins, la documentation s'est poursuivie durant toutes les étapes de réalisation de l'étude.

1.2.2 Gaz à effet de serre et réchauffement climatique

Depuis environ trois décennies, les questions relatives aux changements climatiques sont de plus en plus préoccupantes aussi bien pour la communauté scientifique que pour la population. De nombreuses activités anthropiques ont contribué à accroître de façon sensible la quantité de GES dans l'atmosphère. L'effet de serre entraîne le réchauffement global de l'atmosphère terrestre. Les activités anthropiques ont grandement contribué à perturber le cycle naturel du carbone, si bien qu'une augmentation notable de la concentration de CO_2 atmosphérique a été remarquée (Arrouays et *al.*, 2002). Ces auteurs ont remarqué que, depuis 1960, la température moyenne de surface a augmenté de 0,6 ± 0,2 °C, la couverture neigeuse a diminué d'environ 10 % et la superficie des glaces de mer a chuté de 10 à 15 % dans l'hémisphère nord. Selon les mêmes auteurs, la décennie 1990 a connu le réchauffement le plus important du 20^{e} siècle et ce siècle a été le plus chaud depuis le dernier millénaire. Ils ont montré que les principaux GES contribuant au forçage radiatif sont le gaz carbonique ($C0_2$), les chlorofluorocarbones (CFC), le méthane (CH_4) et l'oxyde nitreux (N_20), car ces gaz participent respectivement à 55 ; 21 ; 17 et 7 % de l'effet de serre.
Dans les flux de carbone, des actions visant l'augmentation du temps de résidence du carbone dans la végétation et dans le sol sont donc nécessaires.

1.2.3 Cycle du carbone

Il y a sur la Terre une quantité finie mais extrêmement importante de carbone. Le carbone est présent dans les océans, les sols, les réserves de carbone fossile, la roche mère, l'atmosphère et la biomasse végétale. Il s'agit là de l'échange de carbone entre les quatre enveloppes de la terre (atmosphère, biosphère, hydrosphère et lithosphère) (Figue 1). Les principaux mécanismes de l'échange de carbone sont la photosynthèse, la respiration et l'oxydation. Un transfert a lieu entre les organismes vivants, l'atmosphère, la terre et l'eau. Au cours des millions d'années, le cycle du carbone a concentré de grandes quantités de carbone dans la

roche-mère, principalement sous forme de calcaire, et dans les combustibles fossiles (Arrouays et *al.*, 2002).

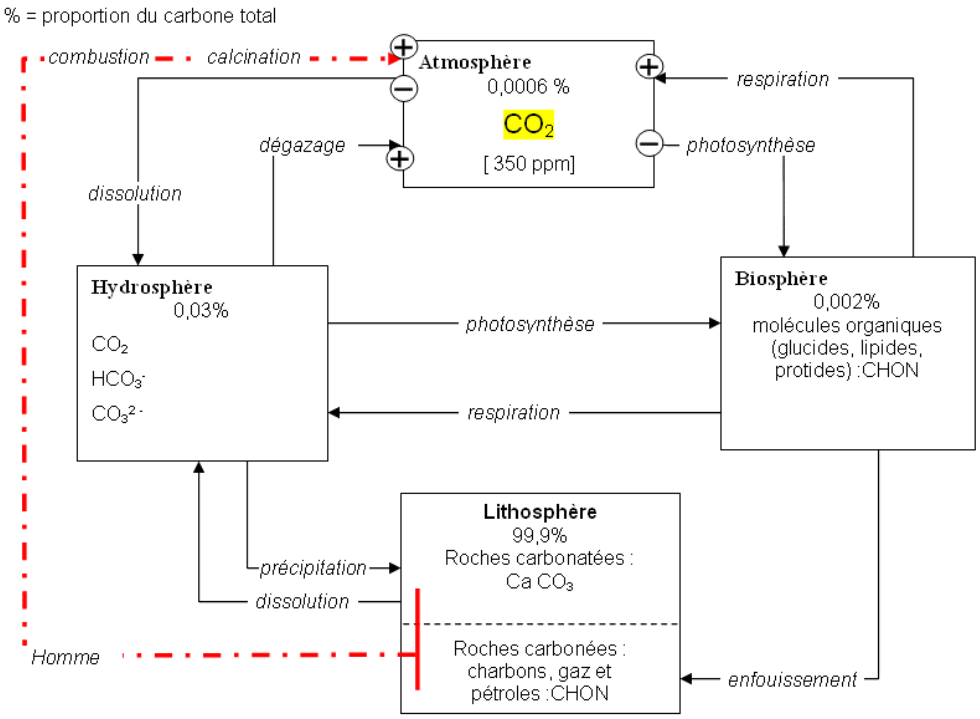


Figure 1 : Cycle du carbone entre les quatre enveloppes de la terre
Source : https://www.google.com consulté le 12 janvier 2018

Le taux d'échange de carbone entre les réservoirs est appelé flux. Ces réservoirs sont soit des sources de carbone soit des puits de carbone. Les puits de carbone absorbent le carbone d'une autre partie du cycle du carbone alors que les sources de carbone libèrent du carbone. Le carbone présent dans l'écosystème terrestre est activement réparti entre l'atmosphère, la géosphère (croûte terrestre, combustibles fossiles, hydrates de méthane), la pédosphère (sols et litière), la biosphère terrestre (végétation) et les océans et il se diffuse entre ces différentes phases pour former un cycle continu Gobat et *al.*, 2010).

Les avenues empruntées par les atomes de carbone tout au long de leur parcours au sein du cycle global sont extrêmement complexes, si bien qu'il peut s'écouler quelques heures, quelques jours ou encore plusieurs millions d'années avant qu'un même atome de carbone ait complété l'ensemble du cycle (UCAR, 2001). Les activités anthropiques ont contribué de façon importante à perturber le cycle

naturel du carbone et les équilibres des flux entre les différents réservoirs. Le niveau de CO_2 atmosphérique aurait augmenté de 31 % depuis 1750 et connaîtrait ces dernières décennies une croissance annuelle de 0,4 % (Arrouays et *al.*, 2002 ; Lai, 2004). La déforestation et l'expansion de l'agriculture constituent les principaux changements d'utilisation des terres pouvant causer l'augmentation de la concentration en CO_2 de l'atmosphère. Les changements d'utilisation des terres liés à l'agriculture comptent pour 14 % de l'augmentation du forçage radiatif global et la contribution du CO_2 au forçage radiatif représente 60 % (Cole et *al.*, 1996).

D'un point de vue global, le cycle du carbone est constitué, d'une part, d'avenues menant à son stockage pour des périodes plus ou moins longues (identifiées comme étant des puits de carbone) et, d'autre part, de voies d'agents déclencheurs menant à sa libération vers l'atmosphère sous forme de $C0_2$ (ciblées comme étant des sources de carbone) (UCAR, 2001). Lié à deux atomes d'oxygène à l'intérieur d'une molécule de dioxyde de carbone (CO_2), le carbone présent dans l'atmosphère est utilisé par les végétaux pour former des sucres et des polymères structuraux ou encore incorporé et stocké dans les océans. En fait l'énergie lumineuse est captée par la chlorophylle présente dans les parties photosynthétiques de la plante (comme les feuilles), et permet de convertir l'eau et le CO_2 de l'air en matière organique.

Lorsqu'il s'en trouve stocké dans la biomasse végétale aérienne et racinaire, le carbone est incorporé à l'intérieur de composés plus ou moins résistants à la dégradation microbienne. En effet, le carbone des tissus lignifiés sera stocké plus longtemps que celui des feuilles plus facilement dégradables (Martens, 2000b). À la mort d'un végétal et/ou de ses composantes, le carbone est incorporé dans les horizons de surface du sol grâce à l'action de la faune et de la flore du sol. Les macromolécules végétales sont dépolymérisées en molécules simples par différents exo-enzymes produits par les microorganismes du sol et ensuite absorbées par les bactéries et les champignons (Robin, 1994). Selon ce dernier,

dans la cellule, le carbone du substrat peut être oxydé en $C0_2$ dans les diverses chaînes métaboliques (minéralisation) ou encore utilisé pour la biosynthèse des différents éléments cellulaires (assimilation). Le carbone est alors stocké dans la biomasse fongique et microbienne du sol et pourra être relâché dans le sol à la mort des organismes. Lors des processus biochimiques et biophysiques de transformation des résidus végétaux et animaux dans le sol, le carbone des tissus humifiés et en voie d'humification est incorporé dans les tissus microbiens et dans la matière organique du sol (Stevenson, 1994). D'après les travaux de cet auteur, au cours de ce long processus, une grande partie du carbone sera retournée vers l'atmosphère sous forme de CO_2 à la suite des processus naturels d'oxydation de la matière organique et de respiration du sol et de la végétation. Néanmoins, il reconnaît qu'une petite quantité protégée de la dégradation hâtive constituera un stock de carbone organique stable dont le temps de résidence dans le sol peut atteindre plusieurs milliers d'années. Le carbone des résidus végétaux accumulés en conditions anaérobiques est soumis à une autre voie de transformation très lente, celle de la formation de la houille et des nappes pétrolifères. Le carbone est alors stocké sous forme de combustible fossile (UCAR, 2001). L'auteur a prouvé que, lorsque ce combustible est brûlé, le carbone retourne dans l'atmosphère sous forme de CO_2 relâché au cours du processus de combustion. Les travaux d'Azontondé et *al.* (2003) montrent que le carbone immobilisé dans les sols (sols et racines) représente 68,4 % du stock total de carbone séquestré dans la biomasse ligneuse aérienne et dans les sols de la zone d'intervention du PGFTR en République du Bénin ; sans pour autant occulter l'importance des arbres dans l'augmentation de la réserve en carbone.

Bernoux et Chevallier (2003) ont aussi montré que l'atmosphère échange en permanence du carbone avec la Biosphère. Les écosystèmes terrestres puisent du CO_2 de l'atmosphère, environ 1 à 3 Gt de carbone par an :

- grâce à la photosynthèse, la végétation capte sous forme de CO_2 environ 120 Gt de carbone par an de l'atmosphère.

- les plantes rendent à l'atmosphère la moitié de ce qu'elles y ont retiré *via* la respiration (émission de CO_2) et l'autre moitié y retourne presque entièrement *via* la respiration du sol (respiration racinaire et respiration résultant de l'activité des microorganismes et de la faune du sol).

Une partie du carbone atmosphérique puisé par les plantes est stockée dans les biomasses et le sol sous la forme de matière organique plus ou moins évoluée et stable (humus) : c'est la séquestration. Par ce processus, les écosystèmes terrestres constituent un puits freinant l'augmentation de la concentration en CO_2 de l'atmosphère. Le réchauffement climatique perturbe alors le cycle du carbone, en particulier la respiration des microorganismes du sol.

Il existe aussi dans les sols du carbone inorganique (carbonates) dont la distribution et la quantité influencent la fertilité des sols, leur érodabilité et leur capacité à retenir l'eau. Dans les régions sèches, celui-ci représente jusqu'à 68 % du stock global de carbone terrestre. L'impact du mode de gestion des sols, comme la mise en culture ou l'irrigation, sur les stocks de carbone inorganique et leur évolution à court terme, est peu connu.

Le carbone du sol est réparti entre différents réservoirs qui se distinguent par leur susceptibilité à la dégradation et leur niveau de décomposition. D'un point de vue conceptuel, le cycle du carbone dans le sol est constitué de trois réservoirs dont la dynamique respective est active, lente et passive. La fraction active (ou légère), constituée de la biomasse vivante, de matières organiques particulaires et de composés organiques labiles, représente une source d'éléments nutritifs disponibles pour les plantes et la biomasse microbienne, et elle est d'une importance particulière dans la gestion des sols (Stevenson et Cole, 1986). Pour ces deux auteurs, la fraction active peut agir à titre d'indicateur du changement du statut carboné du sol en réponse aux pratiques agronomiques.

La biotransformation du carbone dans le sol est un processus dynamique régi entre autres par la quantité et la qualité du matériel végétal se retrouvant au sol et par l'activité et la diversité biologique du sol. La microflore du sol se compose d'un

groupe complexe de microorganismes agissant principalement dans les mécanismes de minéralisation. Arrouays et *al*. (2002) proposent une représentation qualitative et quantitative du devenir du carbone organique des résidus végétaux incorporés dans le sol d'un agroécosystème français moyen. Le carbone provenant des tissus végétaux non protégés est rapidement décomposé. Le carbone incorporé dans la biomasse vivante du sol croît rapidement à la suite de l'incorporation des résidus dans le sol, mais il est vite dégradé et minéralisé. Les tissus végétaux non protégés et la biomasse microbienne représentent les formes de carbone les plus importantes retrouvées dans le sol peu après l'incorporation des résidus de culture. Leur temps de résidence dans le sol est plutôt court. Les composés humiques comptent pour une grande portion du carbone retrouvé dans le sol après la première année et au cours de la décennie, et même du siècle suivant l'incorporation des résidus végétaux. La portion de carbone stable est infime dans les années suivant l'incorporation, mais elle représente une fraction importante peu variable à long terme. Environ 20 à 30 % du carbone ajouté au sol y restera après un an et après 50 et 100 ans, la proportion du carbone initialement apporté retrouvée dans le sol sera respectivement de l'ordre de 10 à 15 % et de 5 à 10 % (Gobat et *al*., 2010). Les auteurs évaluent le temps de résidence moyen du carbone dans le sol à environ 10 ans et estiment que la proportion de carbone dont le temps de résidence est de l'ordre de 50 ans constitue l'essentiel du réservoir de cabone du sol. Plusieurs mécanismes de stabilisation sont impliqués dans la protection de la matière organique et la séquestration du carbone dans le sol. En général, trois mécanismes principaux sont ciblés, soit la protection physique liée à l'agrégation, la protection physico-chimique liée à l'adsorption aux surfaces spécifiques des minéraux et la protection biochimique liée à la nature récalcitrante intrinsèque des biomolécules carbonées (Stevenson, 1994).

1.2.4 Rôle du carbone dans la fertilité des sols

Bernoux et Chevallier (2003) ont montré quelques-unes des multiples fonctions du carbone du sol au service des sociétés et de l'environnement. En effet, selon ceux-ci, la matière organique du sol, et donc le carbone organique qui constitue 58 % de sa masse, joue un rôle fondamental dans le comportement global des sols et des agroécosystèmes qu'ils supportent : qualités physiques des sols, stimulation de l'activité biologique des sols, stockage et mise à disposition de l'eau et des nutriments pour les plantes, régulation des polluants. Ainsi, la teneur en carbone organique des sols est généralement considérée comme l'indicateur principal de la qualité des sols, à la fois pour leurs fonctions agricoles et environnementales.

Dans les sols des régions sèches, la teneur en carbone organique est naturellement faible, moins de 1 % de la masse du sol, alors qu'en zone tempérée elle atteint 1-2 % dans les sols cultivés et 4-5 % dans les sols sous prairie ou sous forêt. Une perte de carbone organique, ou de matière organique du sol (MOS), se traduit invariablement par une perte de qualité des sols et une altération des fonctions associées, créant alors un cercle vicieux : dégradation des sols, déclin de la productivité agronomique, insécurité alimentaire, malnutrition et famine. A l'opposé, augmenter la MOS améliore directement la qualité et la fertilité du sol contribuant ainsi à la résilience et la durabilité de l'agriculture et, de fait, à la sécurité alimentaire des sociétés tout en séquestrant du carbone.

1.2.5 Impacts du travail du sol sur la teneur en carbone organique des sols

Selon Arrouays et *al.* (2002), le travail du sol de conservation est défini comme tout mode de travail du sol et/ou d'implantation de culture qui permet de maintenir au moins 30 % de la surface du sol recouverte par les résidus de culture après le semis. Cette définition au sens large regroupe l'ensemble des techniques qui ont en commun la suppression du labour. Le travail du sol de conservation est une option de plus en plus reconnue pour les avantages agroenvironnementaux qui en découlent. Les systèmes de travail réduit du sol ou de non labour peuvent parfois

contribuer à augmenter la teneur en carbone organique des sols (Cole et *al*., 1996 ; Gregorich et *al.*, 2005). Plusieurs auteurs ont observé une hausse de la teneur en carbone des sols soumis à des pratiques de travail du sol de conservation comparativement à des pratiques traditionnelles telles que le labour annuel (Deen et Kataki, 2003 ; Lai, 2004 ; Mc Conkey et *al*., 2003). Si l'absence de labour permet de conserver des résidus de culture à la surface du sol et favorise le développement de l'activité biologique (Doran, 1980 ; Green et *al.*, 2007), elle induit l'agrégation et la stabilité structurale des horizons supérieurs (Beare *et al*., 1994 ; Six et *al*., 2000). En absence de labour, la surface du sol est protégée par les résidus de culture et contient davantage de matière organique ; le taux de destruction des micro agrégats y est beaucoup moindre et la protection physique du sol par les résidus contribue à prévenir la biodégradation de la matière organique (Balesdent et *al*., 2000). Selon Six et *al*. (2000), l'augmentation du carbone à la surface des sols en situation de non labour serait fonction du lien existant entre le renouvellement des macroagrégats, la formation des microagrégats et la stabilisation du carbone dans le sol. L'auteur estime qu'en sol non labouré, le renouvellement des macro agrégats est plus lent et qu'il y a alors davantage de micro agrégats incorporés dans des macro agrégats et de carbone organique stabilisé à l'intérieur des micro agrégats formés.

En situation de non labour, les conditions du milieu à la surface du sol favorisent le développement d'une importante biomasse fongique (Frey et *al*., 1999). Cela entraîne un enrichissement en résidus d'hyphes et contribue à hausser la teneur en carbone et le niveau de stabilité des agrégats à la surface des sols non labourés (Guggenberger et *al*., 1999). L'absence de perturbation physique en situation de non labour permet aux hyphes fongiques de croître en longueur, leur taille pouvant être deux fois plus importante qu'en sol labouré (Frey et *al*, 1999). Les communautés microbiennes qui dominent à la surface du sol ne sont pas les mêmes qu'en profondeur (Fierer et *al.*, 2003).

Cependant, l'enrichissement en carbone du sol entraîné par l'emploi de pratiques de conservation comme le non labour n'est pas toujours distribué de façon homogène dans le profil. Angers et *al*. (1997) mentionnent que sous le climat du Québec et de l'est du Canada, il semble y avoir moins de carbone organique stocké entre 20 et 40 cm dans les sols non labourés que dans ceux soumis au labour. Ce phénomène pourrait limiter les gains potentiels de carbone séquestré dans les sols non labourés lorsque le climat annuel moyen est frais et humide. Il pourrait en résulter une perte nette de carbone organique du sol après la conversion d'un sol labouré en sol non labouré, puisque les résidus ne sont alors plus enfouis (Vanden Bygaart et *al*., 2003). Wander et *al*. (1998) ont évalué l'impact du travail du sol sur la distribution verticale de la matière organique totale et particulaire de sols à texture fine et mal drainés de l'Illinois. Ils ont observé une diminution de la teneur en matière organique particulaire dans un loam limono-argileux non labouré et ont conclu que, dans ce sol, l'absence de labour a pu entraîner une baisse de la teneur en carbone organique.

Par ailleurs, Deen et Kataki (2003) ont démontré que l'absence de labour contribue à augmenter la concentration en carbone organique dans les couches superficielles du sol, mais non dans le profil en entier. C'est également ce que Yang et Wander (1999) ont remarqué. Leurs résultats montrent que l'utilisation du semis direct a entraîné l'augmentation de la teneur en carbone organique dans les 30 premiers cm du sol, mais qu'il n'y a pas eu d'accroissement des stocks de carbone organique dans l'ensemble du profil.

Dans le cadre d'une expérience d'une durée de 17 ans menée en France, Balesdent et *al*. (1990) ont démontré qu'en absence de labour, plus de 50 % du carbone provenant du maïs était retrouvé dans les 4 premiers cm du sol et seulement 20 % à plus de 25 cm de profondeur. Avec le labour, le carbone provenant du maïs était distribué de façon homogène dans le profil de sol témoignant ainsi d'une incorporation plus en profondeur en sol labouré. Pour ce qui est des sols soumis au travail superficiel, la distribution du carbone provenant du maïs se situait à mi-

chemin entre le labour et le non labour. Des résultats similaires sont rapportés par Angers et *al.* (1995) qui ont noté que le carbone provenant du maïs était distribué uniformément entre 0 et 24 cm dans les sols labourés à 18 cm de profondeur. Ils constatent aussi que sur les parcelles soumises à un travail de surface (réalisé avec un cultivateur à 7 cm de profondeur), 75 % du carbone provenant du maïs se trouvait dans les 8 premiers cm du sol et aucun cabone provenant du maïs n'a été retrouvé à plus de 16 cm de profondeur.

Dans l'est du Canada, certains auteurs ont observé que les gains de cabone dans les premiers centimètres du sol résultant de l'emploi du non labour sont contrebalancés par l'accumulation du carbone en profondeur à la suite de l'enfouissement des résidus de culture lors du labour (Angers et *al.*, 1997 ; Vanden Bygaart et Kay, 2004).

De récentes études réalisées en France confirment ces constats. En effet, les travaux de la Chambre Régionale d'Agriculture sur le carbone organique des sols cultivés de Poitou-Charentes (Vigot, 2012) montrent que lors de changements d'occupation du sol, les vitesses d'évolution des stocks peuvent être différentes. Par exemple, la mise en culture d'un sol initialement sous prairie ou forêt engendre une diminution du stock deux fois plus rapide qu'une augmentation du stock liée à une conversion inverse des terres. De même, le passage au non labour en continu permet une augmentation du stock généralement plus importante qu'un labour.

Cependant, il semblerait, d'après la même étude, que la profondeur de travail du sol ait plus d'effet que le type de travail du sol. De plus, une réduction du labour, en modifiant la concentration, peut entraîner une augmentation plus importante de la teneur que du stock sur la couche travaillée.

Dans le nord-ouest du Bénin, le taux de carbone baisse dans le temps. Dans cette partie du pays, il y a plus de six décennies (Willaine, 1956) ou plus de quatre décennies (Faure, 1977) dans l'horizon superficiel des sols, le taux de carbone organique était de 2,44 % et le taux d'azote total de 0,14 % ; alors qu'en 2016, les

teneurs en carbone organique et en azote des sols ont varié respectivement entre 0,3 et 1,90 % puis entre 0,02 et 0,08 % sur les plateaux (Azontondé et *al.*, 2016). Cette dégradation actuelle notée s'explique par l'action intégrée des systèmes agricoles et du relief du milieu (Kombiénou et *al*., 2015).

1.2.6 Effet de la pâture sur le stockage de carbone dans le sol

Le pâturage influe sur différentes parties du cycle du carbone au sein de certains écosystèmes comme les prairies et ces régulations sont fonction de l'intensité avec laquelle il est pratiqué (Derner et Schuman, 2007). Cependant, il existe toujours une grande incertitude sur l'influence des différents types de pâturage sur l'accumulation des MOS dans le sol. La réponse des MOS au pâturage est complexe étant donné que les herbivores influencent de nombreux aspects des écosystèmes tels que la structure des communautés de plantes, les propriétés du sol et le cycle des nutriments, rendant difficile la prédiction de la réponse des MOS aux changements de pâturage.

Plusieurs auteurs ont montré des résultats différents des effets du pâturage sur les MOS (Milchunas et Lauenroth, 1993 ; Derner et Schuman, 2007). Certaines de ces études ont montré une augmentation (Reeder et Schuman, 2002), aucun effet (Nosetto et *al.*, 2006) ou une diminution (Su et *al.*, 2005) des MOS sur des traitements pâturés, comparés à des traitements sans pâturage. Les travaux de Bardgett et Wardle (2003) sur l'impact des herbivores sur le cycle du carbone en prairie ont permis d'identifier les principaux mécanismes par lesquels les herbivores influencent les interactions sol-plantes : (i) altération de la quantité des litières qui sont allouées au sol, (ii) modification de la qualité des litières qui sont allouées au sol, (iii) changement de la composition fonctionnelle de la végétation. Dans une méta-analyse, McSherry et Richie (2013) ont testé l'interaction de six variables (type de sol, précipitations, type de graminées (C3 vs C4), intensité de pâturage, durée de l'étude, profondeur de prélèvement) sur l'impact des herbivores sur les MOS. Cette étude a montré qu'une augmentation des précipitations

moyennes annuelles de 600 mm diminuait de 24 % l'effet des herbivores sur les MOS contenues dans les sols ayant des textures fines, alors que sur les sols sableux, la même augmentation de précipitations produisait une augmentation de 22% de l'effet des herbivores sur les MOS. Ceci montre la complexité de la réponse des MOS aux interactions entre le milieu et les pratiques de gestion. De plus, une augmentation de l'intensité de pâturage augmentait les MOS de 7 % sur les écosystèmes prairiaux dominés par des plantes en C4 et diminuait de 18 % les MOS sur les écosystèmes prairiaux dominés par des plantes en C3. Ces résultats montrent que l'impact des herbivores sur les MOS est largement dépendant des conditions du milieu. L'effet de la pâture sur le fonctionnement des matières organiques des sols et sur le stockage du carbone n'est donc pas aisé à évaluer.

1.2.7 Autres facteurs influençant le stockage du carbone

De nombreux facteurs jouent un rôle dans la capacité des sols à retenir et à conserver le carbone organique. La gestion des apports d'éléments minéraux aux cultures influence l'évolution de la matière organique et du carbone organique dans le sol. La quantité de matière organique du sol est fonction, d'une part, de la quantité de biomasse restituée au sol (feuilles, tiges et racines) et, d'autre part, de la vitesse de décomposition de ces résidus (Gregorich et *al.*, 1996). Azontondé et *al*. (2003) ont estimé que le faible stock de carbone accumulé dans les sols de la forêt classée des Trois Rivières au Bénin serait dû à la transhumance, aux feux de végétation et aux cultures qui y sont pratiquées chaque année.

Outre les pratiques culturales, le type de sol et le climat influent sur la capacité de séquestration du carbone des agroécosystèmes (Angers et *al*., 1997). Le climat frais et humide de l'est du Canada contribue au fort potentiel de stockage de C organique des sols de cette région (Angers et *al.*, 1997). Le taux d'aération peut être limité au niveau de la couche de labour (Vanden Bygaart et *al.*, 2003), notamment dans les sols à plus forte teneur en argile. Les températures plus froides à certaines périodes de l'année restreignent l'activité microbienne, réduisant ainsi la vitesse de minéralisation de la matière organique. Le sol respire

moins activement et les quantités de CO_2 dégagées sont moins importantes qu'en climat plus chaud. Selon les résultats obtenus par Raich et Schlesinger (1992), une augmentation de la respiration du sol d'un facteur est constatée pour une hausse de la température moyenne annuelle d'environ 15 °C.

La texture et la minéralogie du sol influencent aussi de façon marquée le temps de résidence du carbone dans le sol. En raison de leurs surfaces spécifiques différentes, les minéraux argileux ont des capacités variées à absorber les substances humiques (Gobat et *al.*, 2010). Ainsi, l'attaque microbienne est donc réduite et décroît dans le sens allophanes (Arrouays et *al*., 2002). La présence de particules plus grossières (sables, graviers) dans les sols pourrait également jouer un rôle indirect en raison de son effet sur la porosité accessible à l'air et aux microorganismes (Koutika et *al*., 1997). En contrepartie, la présence de particules fines (argiles pédologiques et limons) agit positivement sur la protection de la matière organique par le biais des mécanismes d'agrégation et d'absorption (Hassink, 1997). Les travaux d'Atchada (2014) montrent que la teneur en matières organiques des sols autour des barrages hydro-agricoles de l'Atacora au Bénin est liée à la teneur en argile. Balesdent et *al*. (2000) recensent différents mécanismes de protection physique pouvant expliquer une réduction de la désintégration des agrégats du sol. Les auteurs mentionnent entre autres que l'adsorption de la matière organique à des surfaces solides et sa séquestration dans les micropores pourraient limiter l'accessibilité aux microorganismes, que la structure du sol pourrait contrôler les processus de décomposition par l'intermédiaire de l'action de prédation des microorganismes par la microfaune et que la présence de zones anaérobiques à l'intérieur des unités structurales pourrait contribuer à ralentir les taux de décomposition. Les racines et hyphes racinaires peuvent mailler les particules de sol entre elles et sécréter des composés organiques qui lient les particules de sols et agissent positivement sur l'agrégation et la séquestration du carbone (Bronick et Lai, 2004).

De nombreux autres facteurs influencent la dynamique du cycle du carbone et la séquestration du carbone dans le sol, notamment le pH, la teneur en cations et en éléments nutritifs, la faune et la flore du sol (Gobat et *al*., 2010), la nature des engrais organiques épandus (Wright et Hons, 2005) et la composition biochimique des résidus végétaux (Martens, 2000a). De plus, la séquence culturale peut affecter la régulation du cycle du carbone. Huggins et *al*. (2007) ont démontré que la présence du soja dans une rotation accélère le taux de décomposition du carbone organique dans le sol et peut avoir un effet négatif sur la stabilité des agrégats, l'accumulation et la stabilisation du carbone dans le sol. De plus, ces auteurs soutiennent que la séquence culturale et son interaction avec le mode de travail du sol influencent le potentiel de stockage du carbone du sol. L'augmentation de la stabilité des agrégats et la séquestration du carbone dans le sol sont ainsi directement liées à la composition chimique des résidus de culture (Martens, 2000b). Selon Lai (2004), la biodiversité du sol peut influencer positivement la teneur en C organique du sol, le développement de la structure et les mécanismes de séquestration du carbone. Toutefois, les activités de fragmentation et de brassage de la matière organique par les vers de terre ont été décrites à la fois comme augmentant ou diminuant la vitesse de minéralisation de la matière organique du sol (Arrouays et *al*., 2002).

La position topographique agit aussi sur le stock de carbone. Dans le nord-ouest du Bénin, les teneurs en matière organique et en azote des sols des plateaux varient respectivement entre 0,51 et 1,90 % puis entre 0,02 et 0,08 % sur les plateaux alors que dans les sols des versants des montagnes des mêmes localités, ces teneurs sont beaucoup plus élevées variant entre 2,24 et 9,32 % pour les teneurs en matière organique et entre 0,07 et 0,11 % de taux d’azote (Kombiénou et *al*., 2015).

1.3 Clarification des concepts

La clarification des concepts est indispensable à la compréhension du texte. Elle est effectuée à la lumière de la littérature scientifique. Excepté les concepts clarifiés à partir de plusieurs auteurs, les définitions proposées ici sont celles considérées dans le cadre de notre recherche.

- **Agriculteur**

A l'instar de ses nombreux sens, le mot agriculteur désigne une personne dont l'activité, exercée le plus souvent de façon indépendante, a pour objet principal la culture du sol en vue de la production des plantes utiles à l'homme et à l'élevage des animaux, et accessoirement l'élevage des animaux (Rémy, 1987).

- **Bassin-versant**

Le bassin-versant est un espace géographique alimentant un cours d'eau et drainé par lui. Le bassin-versant a pour axe le cours principal et pour limite la ligne de partage des eaux le séparant des bassins-versants adjacents. Son action hydrologique dépend de son étendue, de sa topographie, de ses sols et de leur couverture végétale, de sa structure géologique, de l'organisation du réseau hydrographique qui le draine et du climat qui l'affecte (George, 1996).

Biologie du sol

La biologie du sol est une science dont le but est précisément d'une part de connaître les différents êtres vivants, leur mode de vie et les conditions favorables à leur activité et d'autre part d'analyser les différentes actions de ces organismes sur les constituants du sol, sur les plantes et les interactions existant entre les différentes communautés microbiennes. Elle vise également un but pratique dans la mesure où la connaissance des processus biochimiques permet une meilleure gestion de la fertilité des sols. (Gobat et *al.*, 2010).

- **Carbone organique du sol**

Le carbone organique du sol est le principal constituant des matières organiques du sol (environ 58 % de celles-ci) dont la teneur correspond à une concentration souvent exprimée en g/kg et qui représente un indicateur de qualité du sol (Lai, 2004).

- **Cycle de carbone**

On appelle cycle du carbone le déplacement du carbone, sous ses diverses formes, entre l'atmosphère, la surface et l'intérieur de la Terre (Lai, 2004).

- **Fertilité du sol**

La fertilité d'un sol est l'aptitude de ce sol à produire des récoltes en fonction de ses qualités intrinsèques et des techniques culturales utilisées (Mémento de l'agronome, 1980).

- **Granulométrie**

C'est l'étude de la répartition et de la fréquence des éléments en fonction de leur taille à l'intérieur d'une formation sédimentaire. Elle est aussi une opération destinée à séparer diverses fractions texturales d'un sol et en mesurer les proportions respectives. (George, 1996).

- **Minéralisation**

Elle est la transformation, résultant de l'activité biologique, d'éléments immobilisés dans le sol sous forme organique en substances minérales utilisables par les végétaux ou libérés sous forme gazeuse (George, 1996).

- **Mode d'utilisation des terres**

Un mode d'utilisation des terres est un type d'utilisation des terres défini de façon plus détaillée en fonction d'un ensemble de caractéristiques techniques situées dans un contexte physique, économique et social donné (Poitevin,1958).

- **Occupation du sol**

L'occupation du sol est définie comme la couverture biophysique de la surface des terres émergées (FAO, 1998). C'est l'utilisation de l'espace à des fins productives (occupation agricole, pastorale, industrielle) ou, dans le cadre de la répartition des implantations d'activités, de services et de résidences, dans une agglomération urbaine, l'organisation de l'espace (George, 1996).

- **Pédogenèse**

La pédogenèse est l'ensemble des processus physiques, chimiques et biologiques qui président à la genèse et à l'évolution du sol et qui concernent aussi bien l'altération de la roche mère que les transformations à l'intérieur du profil

- **Pratique culturale**

Selon les cultures, la pratique culturale peut inclure les pratiques suivantes:

- préparation de la terre, y compris défrichement;
- façons culturales (nombre de labours par exemple);
- travaux de plantation, notamment pépinières, repiquages, époque de plantation;
- applications d'engrais: périodes et méthodes d'application;
- sarclages: périodes, méthodes;
- mesures de protection des cultures, par exemple pulvérisations;
- récolte: pour les cultures pérennes, fréquence et époque;
- transformation.

Comme pour les intrants matériels, il importe de mentionner certaines façons culturales (période de plantation, sarclage, mesures de protection) pour l'estimation des rendements (FAO, 1988).

- **Rapport C/N**

Le rapport C/N ou rapport massique carbone sur azote est un indicateur qui permet de juger du degré d'évolution de la matière organique, c'est-à-dire de son aptitude à se décomposer plus ou moins rapidement dans le sol. C'est un indicateur du

potentiel humique des résidus organiques classiques (résidus végétaux et déchets animaux), c'est-à-dire de la proportion d'humus stable qui se forme dans le sol après décomposition de la matière organique. Il est admis que, plus le rapport C/N d'un produit est élevé, plus il se dégrade lentement dans le sol et plus il fournit de l'humus stable (Robin, 1997).

- **Séquestration du carbone**

La séquestration du carbone est l'absorption du $C0_2$ atmosphérique par les plantes et le stockage ou la fixation du carbone dans le sol sous forme de matière organique (Lai, 2004).

- **Sol**

Le terme sol est très polysémique. En pédologie, le sol est, selon Girard et *al*. (2011), un volume qui s'étend depuis la surface de la Terre jusqu'à une profondeur marquée par l'apparition d'une roche dure ou meuble, peu altérée ou peu marquée par la pédogenèse. L'épaisseur du sol peut varier de quelques centimètres à quelques dizaines de mètres, ou plus. Il comporte le plus souvent plusieurs horizons correspondant à une organisation des constituants organiques et/ou minéraux. Il est le lieu d'une intense activité biologique (racines, faune et microorganismes).

Pour cette thèse, le sol est perçu comme une formation naturelle de surface à structure meuble, d'épaisseur variable, résultant de la transformation de la roche mère sous-jacente sous l'influence de divers processus physiques, chimiques et biologiques (Demolon, 1932).

- **Structure**

La structure d'un sol est le mode d'agencement des agrégats du sol à un moment donné (George, 1996).

- **Système d'utilisation du sol**

Selon Poitevin (1958), le système d'utilisation du sol est un système de classification des modes d'utilisation du sol, qui consiste à un groupement des combinaisons sur toute la surface agricole utile d'une exploitation.

- **Système de culture, système agricole**

La notion de système cultural varie selon les spécialités. En Agronomie, un système de culture est l'ensemble des modalités techniques mises en œuvre sur des parcelles cultivées de manière identique **(**Sebillotte, 1990**).** C'est aussi le mode ou schéma de gestion en termes d'occupation des terres par les cultures pour la production végétale.

En géographie, le système cultural est la façon dont l'agriculteur tire parti de ses terres : choix des plantes cultivées, assolements (Meynier, 1958). Il apparaît comme un assemblage de moyens de production à savoir les instruiments, les machines, les engrais et la main-d'œuvre (George, 1996). Pour cet auteur, le système de culture est inséparable des conditions sociales et foncières dans lesquelles il s'exerce. En fait, l'expression recouvre toutes les formes d'utilisation du sol et la manière d'assurer cette utilisation. C'est pourquoi le même auteur propose la dénomination système agricole pour indiquer qu'il s'agit de l'ensemble des productions animales et végétales.

Le sens géographique de la notion est celui considéré dans cette thèse.

- **Texture**

La texture est la composition granulométrique du sol, définie par les proportions relatives de ses constituants minéraux classés par catégorie de grosseur, après destruction des agrégats (George, 1996).

- **Utilisation des terres**

L'utilisation des terres désigne les activités effectuées sur les terres composant l'exploitation, en vue d'obtenir des produits et/ou des avantages. Elle se distingue

du couvert végétal, qui décrit les caractéristiques physiques de la terre, telles que prairie ou forêt (Morsli et *al.*, 2004).

Toutefois, les formations naturelles (forêt et savane) feront partie des modes d'utilisation des terres dans cette thèse, d'abord en raison de leur forte anthropisation (pâturage, exploitation de bois, …) ensuite pour des besoins de comparaison.

Conclusion

Il est trivial, à l'issue de cette revue de littérature, que les interactions entre le climat, les perturbations naturelles, la texture, la minéralogie, le type de sol, l'humidité, le type de végétation, les actions anthropiques, les types de nutiments et la topographie agissent sur la dynamique du carbone et que le rôle de ce dernier dans la fertilité des sols et la réduction des GES passe par le renforcement de la fonction puits de cabone du sol. La plupart des auteurs étudient les facteurs intervenant dans les flux de cabone de façon thématique. L'approche intégratrice à une échelle géographique a pour mérite d'analyser de manière croisée les paramètres (modes d'utilisation des terres, profondeurs, topo-séquence) afin de mieux apprécier la problématique. Ceci passe d'abord par la connaissance des caractéristiques du milieu d'étude.

CHAPITRE II : CADRE GEOGRAPHIQUE

L'état des connaissances sur la problématique a permis de présenter le milieu d'étude à travers les différents facteurs nécessaires à la compréhension des paramètres qui influencent la fertilité des sols du bassin supérieur de Magou. Ainsi, le présent chapitre présente brièvement, dans un premier temps, les données biophysiques du secteur d'étude notamment la situation géographique, les facteurs climatiques, la morpho-pédologie l'hydro-géologie, la faune et la flore puis, dans un second temps, les traits socio-économiques.

2.1 Milieu biophysique

2.1.1 Situation géographique

Le bassin de Magou est le principal sous bassin de la rivière Pendjari dans le nord-ouest de la République du Bénin. Il est situé dans le bassin béninois de la Volta et s'étend sur les communes de Tanguiéta, de Matéri, de Cobly et de Boukombé (Figure 2). La partie supérieure de ce sous bassin se situe entre 10˚21'10'' et 10˚44'50'' de latitude nord et entre 0°59'38'' et 1°16'57'' de longitude est. Cette partie couvre, à l'exutoire de Tiélé, 828,69 km^2.

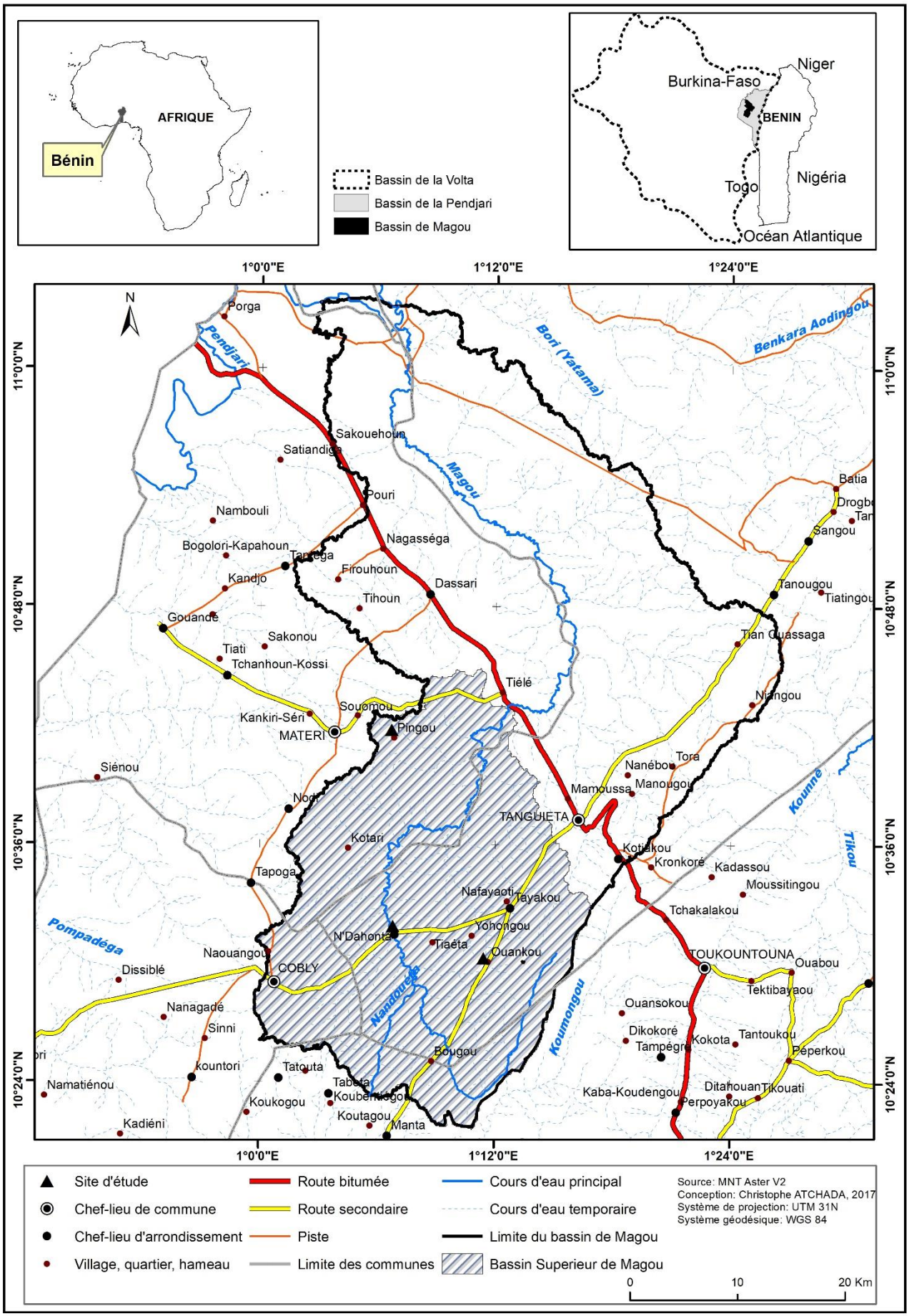


Figure 2 : Situation géographique du bassin supérieur de Magou

2.1.2 Facteurs climatiques

Le climat de la zone d'étude est de type soudanien. La zone est comprise dans un ensemble influencé par la configuration du relief ; ce qui lui confère un méso climat de montagne appelé climat atacorien dont les données caractéristiques sont enregistrées à la station de Natitingou (Adam et Boko, 1993). Les facteurs climatiques du milieu (vents, température, insolation, pluviométrie et évapotranspiration) influencent le stockage de carbone.

2.1.2.1 Vents

Les vents jouent un rôle important dans le climat et dans l'érosion des sols. La région de l'Atacora est caractérisée par deux types de vents dominants : l'alizé maritime humide appelé mousson et l'alizé continental froid et sec appelé harmattan. Le premier vent de direction sud-ouest venant de l'océan souffle dans le milieu d'étude de juin à octobre et le second venant du Sahara y souffle de novembre à mai. Leur zone de contact appelée Front Intertropical (FIT) est le siège des perturbations atmosphériques qui provoquent les précipitations (Adam et Boko, 1993). La vitesse moyenne des vents dans le BSM est de 2,77 m/s mais elle peut atteindre 3,40 m/s en avril (Météo Bénin, 2017). Pendant l'harmattan (mi-novembre à mi-février), l'évaporation est forte et est en moyenne de 42,66 mm (Météo Bénin, 2017) et l'humidité relative moyenne est inférieure à 50 % (Tenté, 2005) avec des vents impétueux parfois chargés de poussière ; la visibilité est en ce moment réduite. L'action du vent est principalement néfaste pendant la saison sèche et lors des grands vents qui précèdent les pluies du début de la saison pluvieuse lorsque le sol est particulièrement nu. Ces vents constituent l'un des facteurs déterminants des états de surface par l'érosion éolienne en zone aride et semi-aride particulièrement (Thiombiano, 2000).

2.1.2.2 Température et insolation

La température est très importante dans la formation et la dégradation d'un sol et aussi dans la séquestration du carbone. Dans les sols, la matière organique est plus

rapidement minéralisée quand la température augmente. On constate à partir de la figure 3 une hausse sensible des températures moyennes annuelles entre 1988 et 2017 dans la région de Natitingou.

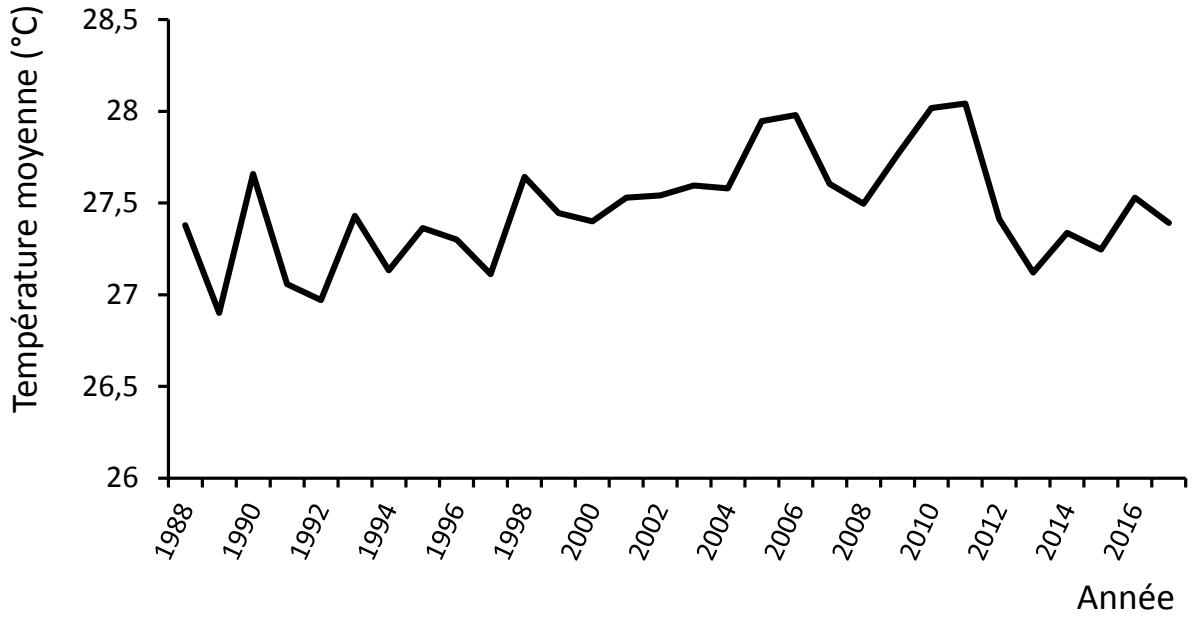


Figure 3 : Variation interannuelle des températures moyennes à la station synoptique de Natitingou

Source : Météo Bénin, 1988 à 2017

Au cours de ces trois dernières décennies, la moyenne annuelle pour la station de Natitingou est de 21,17 °C (mini) et de 33,76 °C (maxi) (Météo Bénin, 2017). La température est élevée tout au long de l'année (Figue 4). La période la plus chaude va de mars à mai avec des maxima de l'ordre de 38 °C et la période la plus fraîche va de décembre à février en raison de l'harmattan avec des températures pouvant baisser jusqu'en dessous de 19 °C. Toutefois, au regard des amplitudes thermiques journalières élevées (15 °C) pendant la période de l'harmattan, c'est le mois d'août qui est le mois le plus froid, avec la plus faible température moyenne journalière de l'année (25 °C).

La durée de l'insolation suit un rythme bimodal. La saison sèche entraîne l'exacerbation de l'insolation avec une moyenne de 8 à 9 h par jour contre 4 à 7 h par jour pendant la saison pluvieuse (Météo Bénin, 2017). De ce fait, les sols

connaissent vite un stress hydrique peu après la fin des pluies avec une forte évaporation. Les fortes températures activent également l'activité microbienne et favorisent ainsi la dégradation de la matière organique, réduisant les chances de son accumulation au bénéfice de la fertilité du sol.

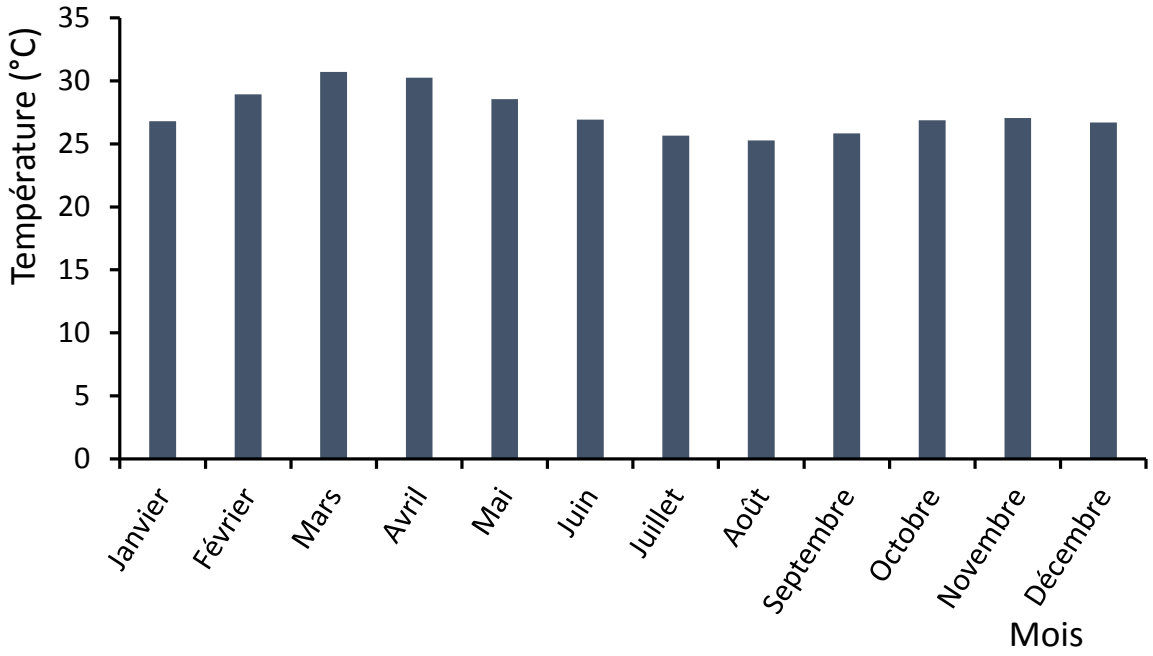


Figure 4 : Variation des températures moyennes mensuelles à la station synoptique de Natitingou entre 1988 et 2017

Source : Météo Bénin, 1988 à 2017

2.1.2.3 Précipitations et évapotranspiration

- **Précipitations**

En milieu tropical, les saisons sont déterminées par les précipitations. Ces dernières influencent l'humidité du sol indispensable à la séquestration du carbone via la décomposition de la matière organique qui conditionne la fertilité des sols. Les données pluviométriques du BSM se rapprochent de celles de la station de Natitingou. Elles varient d'une localité à une autre et d'une année à une autre avec une alternance de périodes sèches et de périodes humides de 1988 à 2017 (Figure 5).

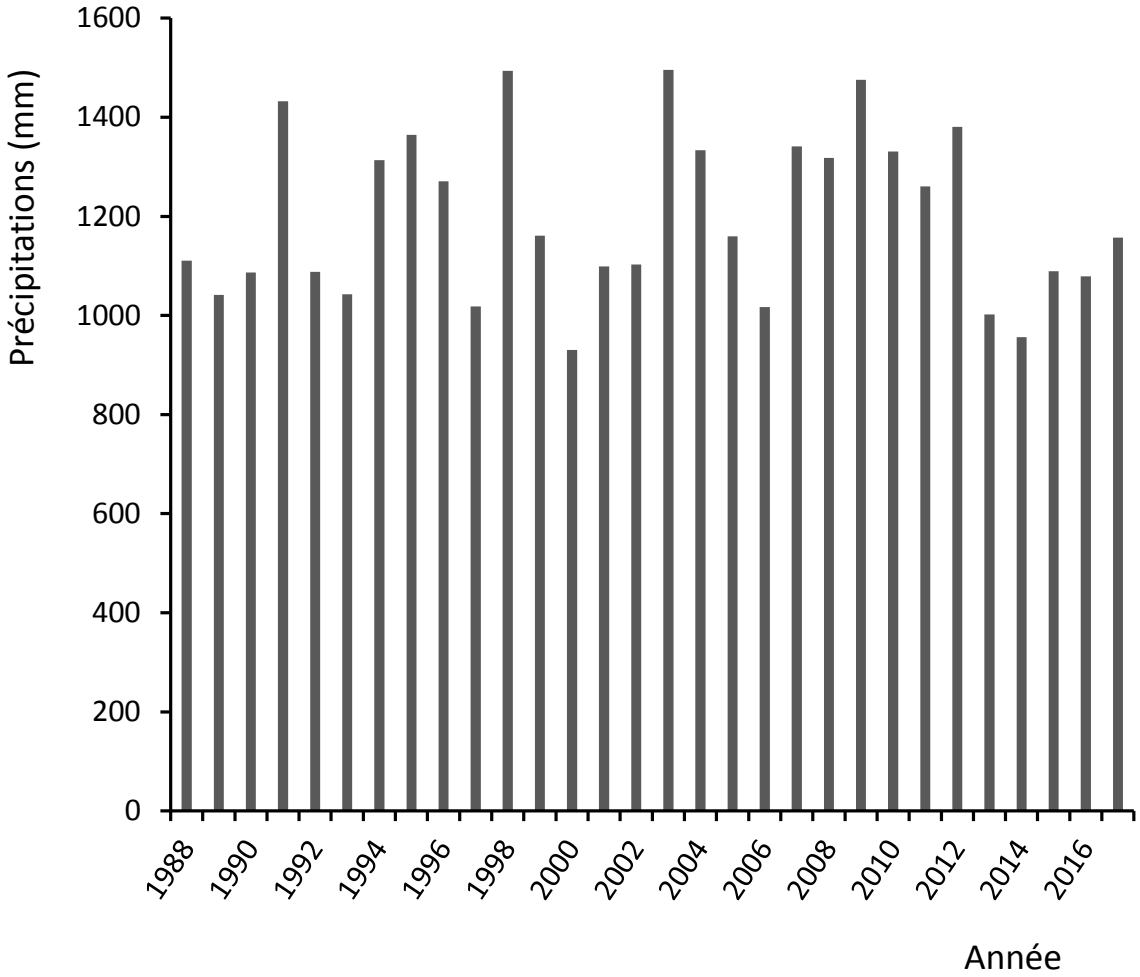


Figure 5 : Variation pluviométrique interannuelle à la station synoptique de Natitingou

Source : Météo Bénin, 1988 à 2017

Dans le BSM, les totaux pluviométriques annuels sont en moyenne de 1019 mm pour 48 jours de pluies en moyenne (Météo Bénin, 2017). Mais ces précipitations sont inégalement réparties sur l'année et sont de plus en plus irrégulières avec les changements climatiques caractérisés par une variabilité interannuelle des saisons et la non régularité des évènements pluvieux.

- **Evapotranspiration**

L'évapotranspiration est la somme de la transpiration du couvert végétal (à travers les stomates des plantes) et de l'évaporation des sols. Elle intervient dans l'humidité du sol et dans le cycle du carbone. On désigne comme évapotranspiration réelle (ETR) la valeur de ce flux à un instant donné ou de sa

moyenne sur une période donnée, pour une station donnée. Lorsque la disponibilité en eau n'est pas limitative, ce flux tend vers une limite appelée évapotranspiration potentielle (ETP).

L'observation du diagramme climatique de Franquin (Figure 6) élaborée pour la station de Natitingou sur la période 1988 à 2017 permet de constater que :

- la pluviométrie est inférieure à ½ ETP pour la période allant de novembre à la mi- avril ;
- la pluviométrie est supérieure à l'ETP pour la période allant de fin mai à début octobre. Durant tout le reste du mois d'octobre la pluviométrie est supérieure à ½ ETP mais inférieure à l'ETP. Au cours de ce mois c'est l'humidité du sol qui permet aux cultures de boucler leur cycle.

Ainsi on peut distinguer les périodes ci-après :

- La période sèche (AB et EF) : du mois de novembre jusqu'à la mi-avril.
- La période pré-humide (BC) : c'est-à-dire de la mi-avril jusqu'à la mi-mai.
- La période humide (CD) : qui va de mi-mai jusqu'à la deuxième décade du mois d'octobre. C'est donc celle de la végétation active. Elle couvre 4 à 5 mois.
- La période post-humide (DE) : qui va de la troisième décade du mois d'octobre jusqu'au début du mois de novembre.

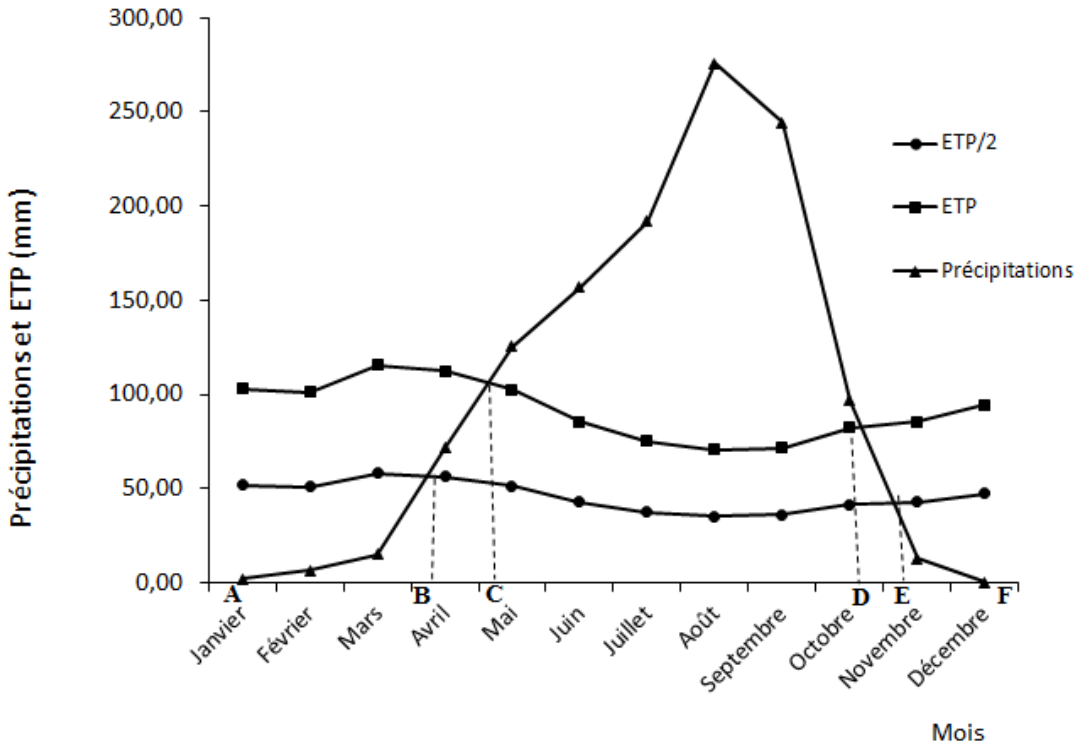


Figure 6 : Diagramme climatique de Natitingou (Modèle Franquin, 1969)
Source : Météo Bénin, 1988 à 2017

La figure 6 montre que les plus fortes quantités d'eau sont enregistrées au cours des mois d'août et de septembre. Ces précipitations tombent au cours de cette période sous forme d'averses orageuses avec une moyenne mensuelle de 211 mm souvent en août, mois le plus arrosé ; tandis que les mois les plus secs couvrent novembre à mars, avec décembre comme le mois critique qui enregistre à peine 9 mm en moyenne.

Cependant les effets des changements climatiques poussent les populations à ne pas respecter rigoureusement le calendrier cultural défini à partir du diagramme climatique de Franquin. Ainsi, il se constate ces dernières années dans le département de l'Atacora en général et dans le BSM en particulier que les périodes de semis des cultures ne se limitent pas à la fin du mois de mai mais se prolongent en juillet pour les semis tardifs de coton et même d'autres cultures. Ces mois occupent la période pré - humide et le début de la période humide du diagramme climatique de Franquin (Figure 6). Les températures élevées constatées et la vitesse importante du vent ont pour conséquence une intense évaporation qui se

traduit par une réduction des stocks d'eau dans le sol et une inhibition de la minéralisation de la matière organique.

2.1.3 Morpho-pédologie

2.1.3.1. Relief

Le relief intervient dans l'érosion, le transport et le dépôt des sédiments et de la matière organique. La géomorphologie du bassin de Magou est influencée par la longue chaîne montagneuse de l'Atacora à l'est (Affaton, 1990). Cette dernière borde la dépression de l'Oti, encore appelée plaine du Gourma. Dans le BSM, les modelés sont constitués de quelques collines, d'une succession de vallons et de vallées de formes irrégulières souvent dissymétriques à l'image des profils AA', BB' et CC' de la figure 7

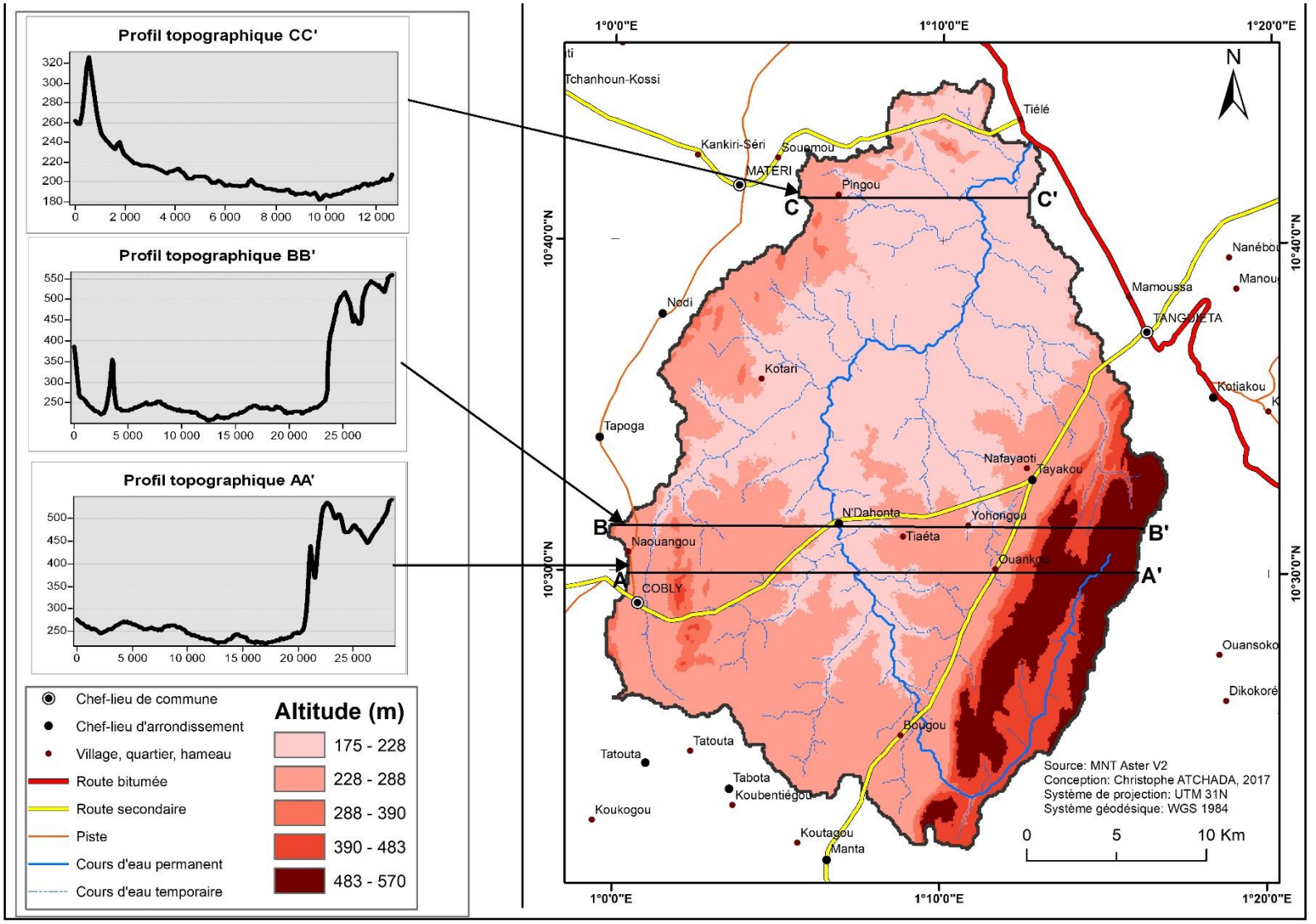


Figure 7 : Altitudes du bassin supérieur de Magou

La figure 7 donne d'autres détails sur les caractéristiques du relief. Ainsi, l'altitude diminue progressivement d'en moyenne 350 m du sommet des falaises de quartzite dans le sud à moins de 250 m dans le nord. De l'est vers l'ouest jusqu'à la longitude 1°11'est, un piedmont à faible pente (1,3 % en moyenne) d'altitude 200 à 250 m couvre quelques villages comme Tayakou, Ouankou et Kotchékongou. Entre 1°11' et 1°4' est dans le sud et entre 1°11' et 1°9'est dans le nord, une zone de petites collines parfois à forte pente d'altitudes variant entre 300 et 450 m couvre les locatités de Bougou à Kétiénou et de Boutouhoun-Pingou. Cette zone accidentée constitue une des sources d'affluents temporaires de Magou. A l'ouest de ces collines se trouve une autre zone de piedmont d'altitude moyenne de 200 m. Elle concerne les villages situés entre Cobly et Pingou en passant par Kotari. Dans cette zone peu accidentée, en pente douce (2 % en moyenne), les cours d'eau échancrent peu profondément les surfaces, mais leurs lits majeurs, temporaires forment de larges bas-fonds occupés par des sols hydromorphes plus ou moins colluviaux (Faure, 1977).

Toutefois, à la latitude de N'Dahonta, une succession de vallées relativement encaissées favorise l'écoulement des eaux de l'ouest vers l'est avant d'être captées par le cours principal de Magou comme le montre le profil BB' de la figure 7. La pente moyenne est faible (1 %) et l'altitude moyenne de cette dépression ne dépasse guère 220 m. Selon le modelé du relief et la topo-séquence, les taux de matière organique dans le sol diffèrent (Atchada, 2014 ; Kombiénou, 2016).

2.1.3.2 Sols

Les sols constituent la partie superficielle de l'écorce terrestre exploitée par la vie animale et végétale. Ils sont composés d'éléments minéraux et d'éléments organiques. Ils nourrissent et supportent la végétation (Azontondé, 1991). Les sols jouent un rôle important dans l'entretien et la dynamique du milieu à travers leurs caractéristiques physiques et chimiques d'une part et les mutations qui peuvent les affecter d'autre part. Les principales caractéristiques des sols du bassin supérieur de Magou ont été établies par Faure (1977). Ces sols présentent dans l'ensemble des caractéristiques qui ne sont pas très favorables à l'agriculture et on peut les regrouper en huit catégories (Figure 8).

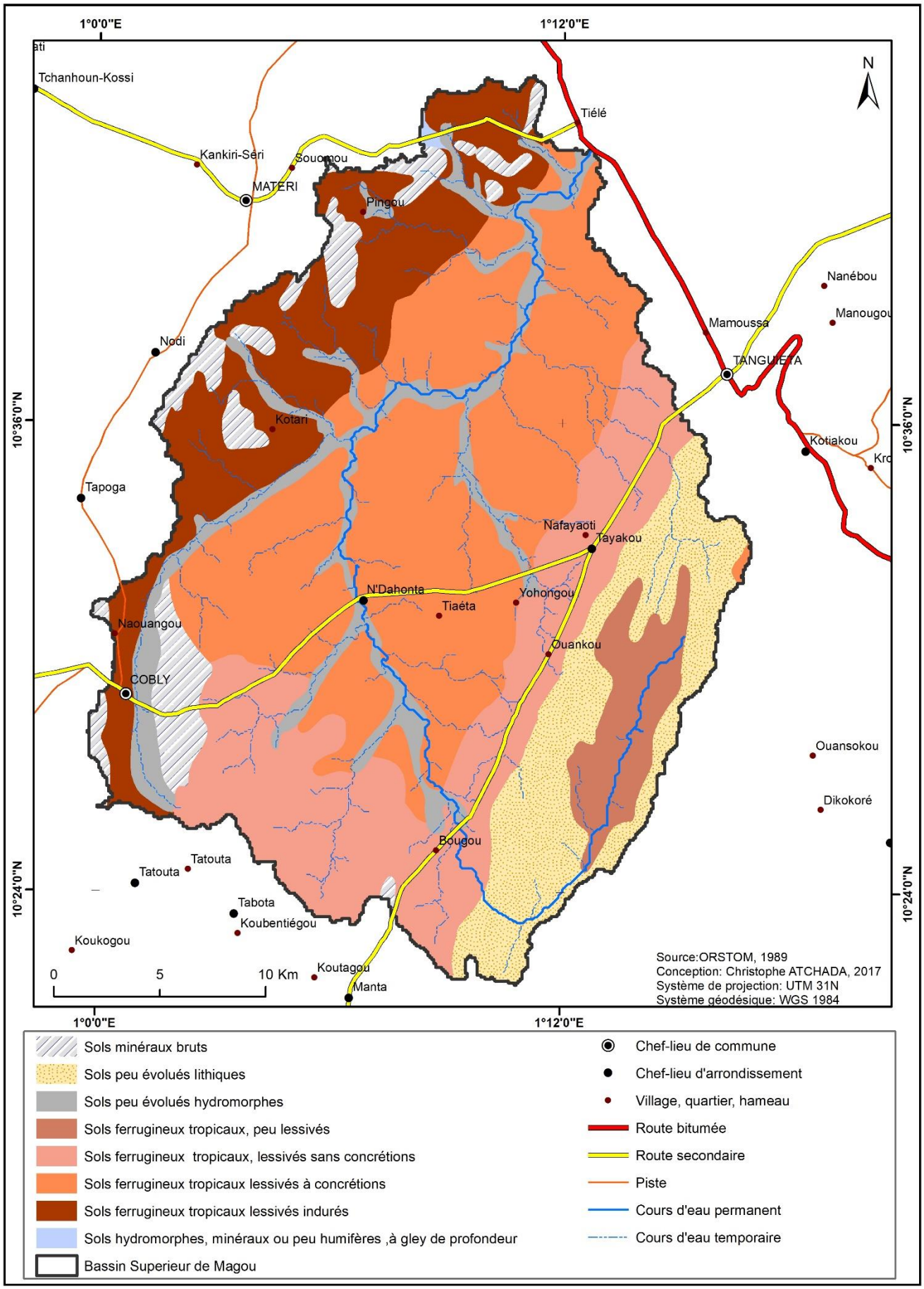


Figure 8 : Pédologie du bassin supérieur de Magou

- **les sols minéraux bruts**

Ce sont des sols d'origine non climatique d'érosion lithiques sur roche affleurante ou subaffleurante. Peu abondants, ils sont dans l'ouest du bassin et couvrent 47,272 km^2, soit 5 % de la superficie du BSM (Figure 8). Ces sols présentent des caractères essentiellement défavorables pour l'agriculture : faible épaisseur, texture légère, forte pierrosité, réserves minérales et hydriques faibles, forte érodibilité. Ces sols sont inutilisables pour l'agriculture en raison de leur faible teneur en matière organique.

- **les sols peu évolués lithiques**

D'origine non climatique d'érosion lithique sur quartzite et micaschiste atacoriens, ces sols couvrent l'est du bassin sur une superficie de 96,826 km^2, soit 11 % de la superficie totale (Figure 8). Ils ont des caractéristiques proches de celles des sols minéraux, donc impropres à l'agriculture car les matières organiques y sont aussi rares.

- **les sols peu évolués hydromorphes**

D'origine non climatique d'apport hydromorphe sur matériau alluvio-colluvial limono-argileux, ces sols sont localisés au fond des vallées et dans les lits de cours d'eau. Ils font 72,816 km^2, soit 8 % de la superficie totale du BSM (Figure 8). Les activités agricoles y sont possibles car riches en matières organiques.

- **les sols ferrugineux tropicaux peu lessivés en argile, lessivés en sesquioxydes**

Ces sols sont développés sur roches variées (quartzite et micaschiste atacoriens) plus ou moins pourvues en minéraux basiques. Leur possibilité d'exploitation dépend surtout de la profondeur d'apparition des horizons tachetés parfois indurés qui, en créant une discontinuité, limitent la pénétration racinaire et le drainage interne. Ils couvrent 37,575 km^2 dans l'ouest du BSM, soit 4 % de la superficie totale (Figure 8).

- **les sols ferrugineux lessivés sans concrétions**

Ces sols pauvres en minéraux basiques sont développés sur micaschiste et schiste quartzeux du Buem ou sur matériau colluvial issu de quartzite et micaschiste atacoriens. Leur possibilité d'utilisation dépend de leur position topographique, en ce qui concerne le drainage et surtout l'érodibilité, ainsi que leurs teneurs en éléments rocheux grossiers. Ils ont une bonne profondeur utile, ils n'ont pas de discontinuité texturale ; on note une absence d'éléments grossiers et un drainage correct sur une grande épaisseur. Par contre, ils ont des réserves minérales et hydriques faibles, une acidité forte et une saturation réduite, ce qui limite leur exploitation. Ils s'étendent sur 170,978 km^2, ce qui fait 20 % de la superficie du bassin (Figure 8).

- **les sols ferrugineux lessivés à concrétions sur roche**

Ces sols sont développés sur schiste quartzeux du Buem ou sur matériau kaolinique issu de quartzite et micaschiste atacoriens. Cet ensemble de sols présente simultanément un important appauvrissement en éléments fins et un fort concrétionnement. Ces sols sont bien représentés sur roches libérant des quantités moyennes de sesquioxydes. Leur possibilité d'utilisation est fonction de l'importance des taux d'éléments grossiers, et de leur répartition dans le profil, de la compacité et des possibilités de drainage interne des horizons B. Ces types de sols sont les plus repandus dans le secteur d'étude et couvrent 280 km^2; soit 34 % de la superficie totale du BSM (Figure 8).

- **les sols ferrugineux lessivés indurés sur roche**

Ces sols sont liés à des roches relativement riches en éléments métalliques et/ou à des positions topographiques particulières : parties inférieures de versants sur le socle, glacis de piedmont et surface aplanies dans la plaine de la Pendjari. Leurs possibilités d'utilisation sont très limitées (liées essentiellement à la profondeur de niveau induré). Ils présentent surtout des caractères défavorables : appauvrissement en éléments fins souvent intense, propriétés chimiques très médiocres au-dessus du niveau induré ; faible profondeur utile, structure peu

développée, fragilité, engorgement temporaire fréquent en saison des pluies par diminution brutale du drainage dans l'horizon induré, érodibilité conduisant à l'affleurement du niveau induré. Ils occupent 122,358 km^2 ; soit 17 % environ de la superficie totale (Figure 8). Ils ne sont pas propices à l'agriculture.

- **les sols hydromorphes minéraux ou peu humifères à gley de profondeur**

Ce sont des sols qui se développent sur matériau colluvial argilo-sableux issu de jaspe. Logés dans le nord-ouest du BSM, ils ont des réserves minérales et hydriques importantes, une bonne saturation et une absence d'éléments grossiers ; par contre leur caractère très massif, leur perméabilité réduite et leur risque de submersion les rendent très difficiles à travailler. Avec 9,9529 km^2, ils ne couvrent que 1 % du BSM (Figure 8).

2.1.4 Hydro-géologie

2.1.4.1 Géologie

La compréhension de la structure géologique est d'une importance particulière en ce qui concerne l'étude typologique du matériel lithique qui prend en compte la nature de la matière première qui intervient dans la pédogenèse et dans l'évolution des sols.

La structure géologique du bassin de Magou doit être placée dans le contexte général du bassin de la Volta qui regroupe le nord-ouest du Bénin, le nord du Togo, le sud-est du Burkina Faso et le sud-ouest du Niger. L'étude structurale de cette région réalisée par Affaton (1990) montre d'est en ouest trois grandes unités structurales : le socle précambrien, la chaîne dahoméenne et les formations de la Pendjari.

Le bassin de la Pendjari comprend deux groupes litho-stratigraphiques qui sont :

- Le groupe Dapangon-Bambouaka qui comprend des grès-quartzites, des shales, des grès et silistones et des grès quartzites feldspathiques ou kaoliniques rougeâtres ;

- Le groupe de la Pendjari (équivalent de la série de l'Oti) qui débute localement par une tillite, surmontant un plancher strié, associé à des calcaires, des slexites et parfois des phosphates. On y rencontre également une formation flyschoïde verdâtre de shales, de grès, de silistones et de grauwackes (Azontondé et *al*., 2016).

S'agissant des formations de la Pendjari, on rencontre des roches sédimentaires de l'ordovicien représentées par des schistes en plaquette de l'étage voltaïen. Ce sont des schistes argileux, très lités de couleur jaune verdâtre, pauvres en quartz se débitant en plaquettes de 1 à 2 cm (Faure, 1977). On y rencontre également les formations du super groupe de la Pendjari qui comportent à la base une triade constituée par des tillites/mixites, des dolomies à barytines et des silexites (Affaton, 1990).

2.1.4.2 Hydrologie

Le comportement hydrologique conditionne le drainage qui, par ricochet, influence la séquestration du carbone. Le réseau hydrographique du bassin supérieur de Magou est composé de petits cours d'eau temporaires dont Nandouéta, le principal affluent. Ces affluents se jettent dans la Pendjari par l'intermédiaire de la rivière Magou qui mesure 72 km de la source à Tiélé. Tous ces cours d'eau ont un régime pluvial irrégulier et tarissent à partir du mois de Janvier. Mais ce tarissement laisse par endroits quelques mares qui, avec les bas-fonds, constituent des atouts pour l'élevage, l'agriculture de contre saison et autres besoins. A l'instar des autres sous-bassins du bassin béninois de la Volta, d'après les travaux d'Amoussou et *al*. (2015), le comportement hydrologique du bassin supérieur de Magou est caractérisé par une persistance de la sécheresse depuis les années 1970, avec une baisse pluviométrique de l'ordre de 10 %, qui a amplifié une baisse d'écoulement de l'ordre de 30 à 40 %. Le tarissement rapide des cours d'eau (30 à 90 jours après la fin de la saison pluvieuse) et la sévérité des étiages sont évocateurs de la sécheresse hydrologique qui influe considérablement sur la disponibilité en eaux superficielle et souterraine. Le débit moyen de la rivière à

Tiélé (3,78 m^3/s) et le coefficient de tarissement (0,066 j^{-1}) confirment cette baisse d'écoulement selon Amoussou et *al.* (2015).

2.1.5 Flore et faune

Les stocks de COS sont conditionnés par la végétation et la faune. Le tapis végétal du bassin supérieur de Magou est très varié et présente plusieurs types de formations d'après la carte d'occupation du sol de 2017. La végétation est composée de quelques forêts claires et savanes boisées (1,6 %), de forêts galeries (1 %) le long de la rivière Magou et ses affluents et dans une large mesure des savanes arborées et arbustives (43,41 %). Cette végétation naturelle de plus en plus convertie en champs, jachères et habitations (48 %) (Figure 9) et parfois plantations est continuellement assujettie au déboisement et au surpâturage, facteurs qui hypothèquent dans certaines localités sa capacité de régénération et de protection du sol. Toutefois, certaines espèces végétales bénéficient d'une protection particulière des populations en raison de leur utilité économique, alimentaire, médicinale ou symbolique. C'est l'exemple du néré ou *Parkia biglobosa* (Jacq.) R. Br. Ex G. Benth., du karité (*Vitellaria paradoxa* Gaertn.f.), du caïlcédrat ou *Khaya senegalensis* (Dsr.) A. Juss., du rônier (*Borassus aethiopum* Mart.), du baobab (*Adansonia digitata* L.) et du faux fromager (*Blighia sapida* Koenig) (Tchégnon, 2006).

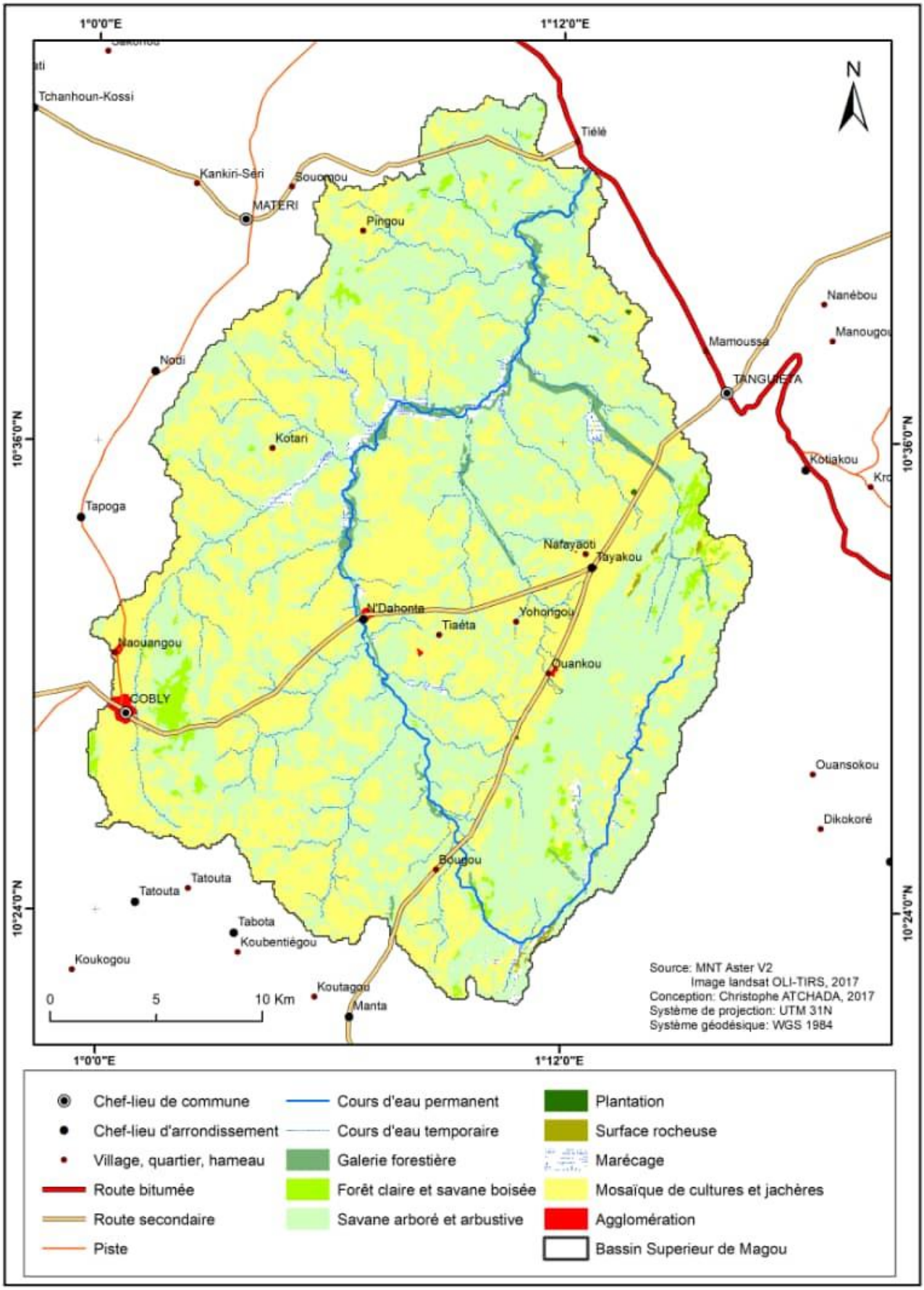


Figure 9 : Occupation du sol du bassin supérieur de Magou

La faune est constituée de rongeurs, d'oiseaux, de reptiles dans les terroirs villageois. Mais elle est influencée par les migrations hasardeuses de certains grands animaux de la grande faune africaine à l'exemple des carnivores (guépard ou *Acinonyx jubatus* Schreber, lycaon ou *Lycaon pictus* Linnaeus, hyène tachetée ou *Crocuta crocuta* Erxleben , chacal doré ou *Canis aureus* Linnaeus, chacal à flancs rayés ou *Canis adustus* Sundevall, léopard ou *Panhera pardus* Linnaeus, …) et des grands herbivores (éléphant ou *Loxodonta africana* Cuvier , hippotrague rouan ou *Hippotragus equinus* Desmarest , cobe de Buffon ou *Kobus Kob* Erxleben, cobe Defassa ou *Kobus ellipsiprymnus* Ogilby, bubale ou *Alcelaphus buselaphus* Günther, buffle d'Afrique ou *Syncerus caffer* Sparrman , …) du parc de la Pendjari.

2.2 Traits humains

2.2.1 Données socio-démographiques

On note dans le Bassin supérieur de Magou une diversité de groupes socioculturels dont les plus importants sont les Natimba, les Berba et les Peulh. Ceux-ci cohabitent et œuvrent pour le développement des 21villages qui exploitent réellement le secteur d'étude. Il s'agit de : Bougou, Dondongou, Finta, Kotari, Kotchékongou, Kouayoti, Koutchoutchoungou, Nafayaoti, Nantagata, N'Dahonta, Nigneri, Nontingou, Ouankou, Pingou, Sammouangou, Tahongou, Tayacou, Tanhinkou, Tiaéta, Yehongou et Yeyedi. Naouangou et Cobly ont leurs superficies agricoles hors du BSM.

D'après le $RGPH_4$, la population totale des villages exploitant le bassin supérieur de Magou est de 30 028 habitants dont 14 792 hommes et 15 236 femmes ; le taux d'accroissement démographique est de 3,06 % et la densité de population est d'environ 37 h/km^2 (INSAE, 2016). Cette faible densité de population n'est quand même pas sans influences sur les sols en raison de l'utilisation qui en est faite.

2.2.2 Facteurs socio-économiques

La principale activité économique du milieu est l'agriculture suivie de l'élevage.

2.2.2.1 Agriculture

Dans le BSM où les localités sont essentiellement rurales (62,8 % de la population totale d'après le $RGPH_4$), la disponibilité de terre par habitant est de 2,76 hectares en moyenne. Dans cette zone où les indices de pauvreté monétaire et de pauvreté extrême sont respectivement 39,7 % et 77 % (INSAE, 2013), les populations rurales satisfont l'essentiel de leurs besoins alimentaires et énergétiques grâce à l'agriculture et aux ressources forestières. Les principales cultures pratiquées sont : les cultures annuelles comme le maïs (*Zea mays*), le sorgho (*Sorghum bicolor*), le petit mil (*Setaria italica*), le fonio (*Digitaria exilis*), le voandzou (*Vigna subterranea*), l'igname (*Dioscorea spp*), le coton (*Gossypium arboreum*), le tabac (*Nicotiana tabacum)* et quelques rares plantations. A l'opposé de l'augmentation des superficies agricoles, les rendements de certaines principales cultures ont sensiblement baissé ces deux dernières décennies. La figure 10 indique la baisse des rendements des trois premières cultures (maïs, sorgho et petit mil) en dépit des efforts d'utilisation d'engrais chimiques. Les techniques de mise en valeur de la terre sont variées et les différentes pratiques agricoles dénudent la surface du sol puis l'exposent à l'érosion.

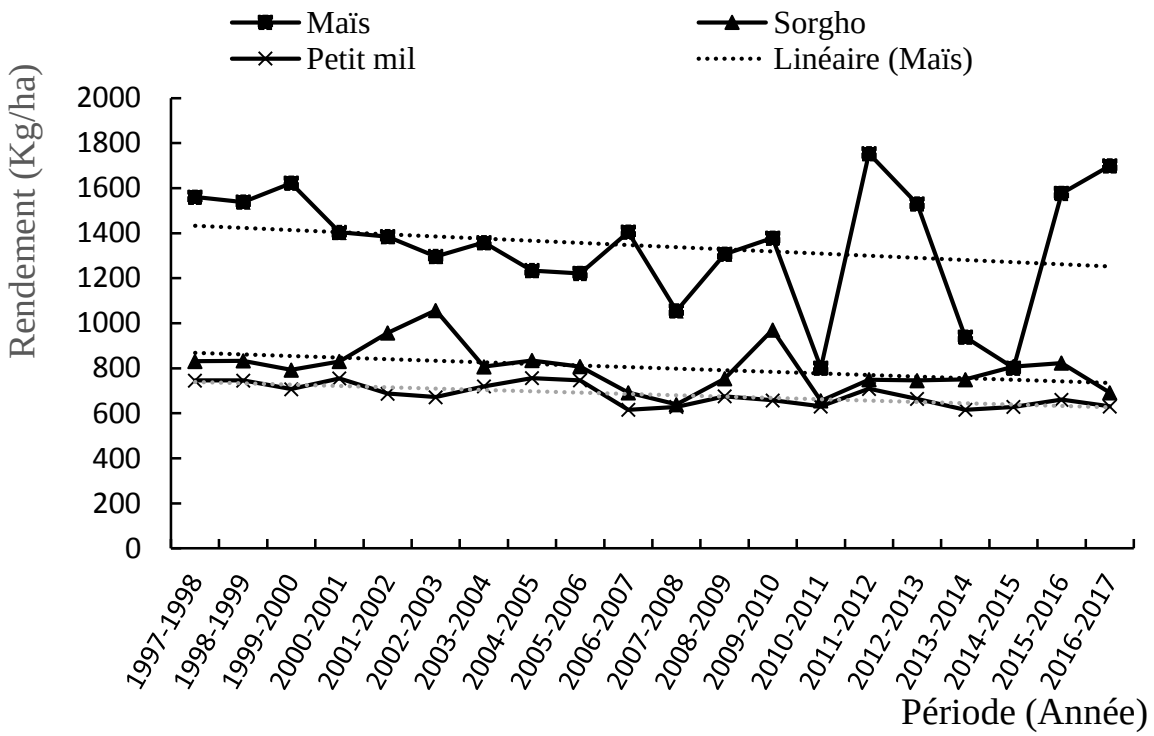


Figure 10 : Evolution des rendements du maïs, du sorgho et du petit mil de 1997 à 2017 dans le bassin supérieur de Magou
Source : DSA, 2017

2.2.2.2 Elevage

L'élevage occupe une place non négligeable dans l'économie du BSM. En général, on rencontre deux modes d'élevage à savoir sédentaire et transhumant. Les espèces animales élevées sont : les bovins, les ovins, les caprins, les porcins et les volailles. En 2017, le cheptel bovin du bassin supérieur de Magou est estimé à 13 731 têtes, les ovins à 5 826 têtes, les caprins à 8 337 têtes, les porcins à 2 394 têtes et les volailles à 71 354 têtes (MAEP, 2018). A ces effectifs s'ajoutent ceux des troupeaux transhumants. La transhumance est nationale ou transfrontalière avec l'arrivée périodique des troupeaux burkinabè et nigériens dans la zone pendant la saison sèche. Des cinq (05) axes retenus dans le statut officiel de la transhumance dans l'espace CEDEAO (Djohy, 2010), la zone de Tanguiéta qui fait partie intégrante du bassin supérieur de Magou est concernée par deux de ces axes. Il s'agit de l'axe 1 de transhumance CEDEAO (Fada N'Gourma – Pama – Porga – vers Togo ou Tanguiéta – Natitingou – Djougou –Bassila) et de l'axe 2 (Sebba – Kantchari – Diapaga – Namounou - Pagou – Porga – vers Togo ou

Tanguiéta – Natitingou – Djougou – Bassila). La sous-zone agro-pastorale 1B du Bénin regroupant les communes de Matéri, Tanguiéta, Cobly et Boukombé constitue la zone d'entrée des transhumants Burkinabè et Nigériens mais elle est pauvre en pâturages (MAEP, 2011) ; d'où l'importance de la transhumance et de ses effets dans le milieu d'étude. Ce dernier reçoit chaque année des troupeaux surtout bovins en transit et dont l'effectif total varie entre 8000 et 12 000 têtes de décembre à mai ; soit 6 mois (MAEP, 2014). Dans le bassin supérieur de Magou, les aires pâturables à plein temps font 642,67 km^2 de la superficie totale (soit 77,55 %) et après les récoltes, ces aires font 800,67 km^2 de la même superficie (soit 96,62 %) d'après les travaux de terrain.

La transhumance provient surtout de l'augmentation des pressions exercées sur les ressources (foncier, eau, pâturage) et de l'absence d'une règlementation adaptée pour une utilisation optimale et apaisée des ressources pastorales. Les mares de la rivière Magou constituent l'essentiel du potentiel en eau d'abreuvement des animaux du secteur d'étude.

La délimitation des parcours pour le pâturage et des couloirs d'accès aux points d'eau est de plus en plus difficile avec l'extension des superficies cultivées pendant l'hivernage. A ces difficultés s'ajoutent le tarissement de la rivière Magou en saison sèche et l'obstruction des couloirs d'accès aux points d'eau par des cultures. Cette situation engendre de nombreux conflits entre éleveurs d'une part et entre éleveurs et agriculteurs d'autre part.

Dans le cas des petits ruminants, l'élevage est sédentaire et l'alimentation des animaux s'organise autour des jachères et des résidus de récoltes mais aussi autour des sous-produits agro-alimentaires (drèches de bière locale, son de riz, etc).

Conclusion

Les caractéristiques physiques et socioéconomiques du bassin supérieur de Magou présentent d'importants aspects impropres à la fertilité des sols ou favorables à la dégradation des terres. Dans l'optique d'une prise en compte de

ces facteurs en vue d'une gestion efficiente des terres, une bonne méthodologie s'impose pour étudier les effets des pratiques endogènes dévastatrices des sols. Les étapes de cette méthodologie sont décrites dans le troisième chapitre.

CHAPITRE III : APPROCHE METHODOLOGIQUE

L'appréciation de la vulnérabilité de la zone d'étude, à travers ses caractéristiques biophysiques et socioéconomiques, a permis de définir le matériel et la démarche méthodologique nécessaires à la recherche. Cette méthodologie regroupe principalement le choix des sites, la collecte des données, l'analyse des échantillons et le traitement des résultats. Le troisième chapitre donne par objectif les détails sur chacune de ces étapes.

3.1 Méthodes de caractérisation des modes d'utilisation des terres et des systèmes de culture.

3.1.1 Choix des sites

Trois sites ont été retenus, en fonction des trois principaux types de sols exploités par les agriculteurs en termes de superficie et de représentativité concernant la diversité des modes d'utilisation des terres, de façon à couvrir géographiquement le bassin supérieur de Magou. Les superficies des unités d'occupations des différents sites sont obtenues par les images satellitaires SPOT 6 de 2017. Ainsi, le site de Ouankou (sud-est du BSM) couvre 25,65 ha sur un sol ferrugineux tropical lessivé sans concrétion, le site de N'Dahonta (Centre du BSM) couvre 38,26 ha sur un sol ferrugineux tropical lessivé à concrétion et le site de Pingou (nord-ouest du BSM) couvre 18,72 ha sur un sol ferrugineux tropical lessivé induré. Quatre modes d'utilisation des terres ont été retenus par site afin d'évaluer l'effet des perturbations anthropiques sur les stocks de carbone organique du sol. Il s'agit des champs, des plantations, des jachères et des formations naturelles. Ces dernières servent de témoins par rapport aux autres MUT plus anthropisés. Le pâturage se retrouve dans chacun de ces modes d'utilisation des terres car, même les champs sont pâturés après les récoltes. Les MUT qui sont retenus sont ceux dont les teneurs et stocks de carbone peuvent être discriminés et spatialisés.

3.1.2 Méthodes de collecte des données

La collecte des données s'est faite en deux étapes à savoir la pré-enquête et l'enquête proprement dite.

3.1.2.1 Pré-enquête

Une pré-enquête a été faite pour recenser les différents modes d'utilisation des terres dans le BSM et ceux d'entre ces modes susceptibles de dégrader les sols. Une enquête informelle conduite en focus group a été réalisée dans les hameaux de la zone d'étude avec des effectifs variant de 6 à 12 personnes. Sept groupes ont été constitués dans sept hameaux différents. Les questions étaient ouvertes, permettant d'enregistrer le maximum de réponses sur les perceptions. Ce travail préliminaire de 8 jours a été effectué du 20 au 27 août 2016 avec certaines personnes ressources de la localité telles que les Techniciens Spécialisés en Production Végétale (TSPV), les Responsables de Centres de Promotion Agricole (RCPA), les Chefs de Village (CV), les Chefs d'Arrondissement (CA) et quelques agriculteurs chevronnés. Des sensibilisations ont été faites par des crieurs publics, les CV et les leaders d'opinion afin de recenser les agriculteurs sélectionnés pour cette phase. L'échantillon de chaque focus group est constitué de toutes les catégories d'agriculteurs (planteurs, producteurs de céréales, producteurs de tubercules, producteurs de légumineuses, maraîchers, producteurs d'oléagineux, producteurs de fibres, éleveurs), de tous les statuts socio-économiques (démunis, moyens, nantis), des différents niveaux d'instruction (lettrés, semi-lettrés, illettrés), de deux tranches d'âge (adultes : 35 à 60 ans et vieux 61 à 65 ans) et de sexe (femmes et hommes). Une estimation du revenu annuel par habitant en FCFA a permis de catégoriser les statuts socio-économiques. L'échelle est prise par rapport au meilleur producteur de chacun des différents hameaux. Les lettrés sont ceux qui maîtrisent au moins passablement la langue française (lecture, parler et écrit), les semi-lettrés sont ceux qui parlent le français mais qui ont de difficultés à l'écrit et en lecture) et les illettrés sont ceux qui ne savent ni parler, ni lire et ni écrire le français. Les jeunes (moins de 35 ans) sont exclus pour immaturité pour

les renseignements sur l'historique des pratiques agricoles. Les personnes âgées de plus 65 ans ne sont pas pris en compte pour inaptitude physique et fragilité de la mémoire. Cette étape a permis de déterminer les principaux indicateurs de l'appauvrissement des sols. Une synthèse globale en a été faite pour constituer le contenu du questionnaire de l'enquête formelle. Aux deux niveaux des enquêtes, le choix porte sur des agriculteurs n'ayant pas séjourné plus de 12 mois consécutifs hors du secteur d'étude depuis au moins deux décennies.

3.1.2.2 Enquête formelle

La taille de l'échantillon considéré est n =200. Elle a été déterminée en utilisant l'approximation normale de la loi binomiale (Dagnelie, 1998) :

$$\mathbf{n = U^2 1 - \alpha/2 \frac{p(1-p)}{\alpha^2}}$$

Dans cette formule, p est la proportion d'agriculteurs dans la zone ;

U1− α /2 est la valeur de la loi normale liée à la valeur de probabilité 1− ∝/2 avec α = 5 % soit 1,96 ; et d est la marge d'erreur de l'estimation qui est fixée à 5 %.

D'après les données de l'INSAE (2016),

- 30 028 individus vivent dans les 21villages exploitant le secteur d'étude ;
- 4 895 individus (soit 16,3 %) ont un âge compris entre 35 et 65 ans ;
- 4 802 individus (soit 98,1 % des actifs concernés) sont agriculteurs ;
- P est déterminé ici par la formule n/N (n = 4 802 et N = 30 028) et est égal à 0,16

Les 200 agriculteurs, pris au hasard sur leurs parcelles, ont été enquêtés sur les trois sites suivant le poids démographique à raison de 43 exploitants à Ouankou, 50 à N'Dahonta et 107 à Pingou. Les enquêtes ont duré 24 jours (21/08/2017 au 01/09/2017 et du 06 au 17/09/2017). Des données sur les systèmes de culture les sept dernières années (âge des MUT) sont recueillies auprès des exploitants des parcelles sur lesquelles se trouvent les sites d'échantillonnage. Ces données concernent les rotations culturales, le travail du sol (labour profond, labour peu profond, semi direct), la gestion des résidus de récolte et les fertilisants (quantité,

type et fréquence d'apport) (Gourrat, 2012). Les données sur le mode d'accès à la terre, les outils agricoles et les sources de revenu ont été également collectées.

Une description qualitative des modes d'utilisation des terres et des pratiques agricoles de chaque site a été faite.

3.1.3 Méthodes de traitement des données

Après codification des réponses, les fiches d'enquêtes ont été dépouillées. Une base de données Excel a été constituée. La fréquence relative de chaque paramètre du système cultural (Mode d'accès à la terre, rotations culturales, travail du sol, outils agricoles, fertilisants, sources de revenu) a été calculée. Un traitement graphique a suivi pour mieux observer la différenciation des différents paramètres.

3.2 Méthodes d'analyse des perceptions des agriculteurs sur la fertilité des sols

Pour analyser les perceptions des agriculteurs sur la fertilité des sols dans le bassin supérieur de Magou, deux étapes fondamentales ont été suivies : la collecte des données et leur analyse.

3.2.1 Méthodes de collecte des données

La collecte des données s'est faite à partir d'une enquête par questionnnaire. La taille de l'échantillon est 200. Elle a été obtenue par la formule de Dagnelie (1998). Entre août et septembre 2017, ces agriculteurs, pris au hasard sur leurs parcelles, ont été enquêtés sur les trois sites (Ouankoun, N'Dahonta et Pingou) suivant le poids démographique. L'enquête a duré 24 jours (confer objectif spécifique n°1). Les données recueillies concernent, dans un premier temps, les difficultés rencontrées par les agriculteurs. Dans un second temps, elles concernent les indicateurs, causes et conséquences de l'appauvrissement des sols ainsi que les stratégies d'adaptation en dernier ressort.

3.2.2 Caractéristiques socio-démographiques des enquêtés

Les principales caractéristiques des agriculteurs considérés dans l'étude comprennent notamment les caractéristiques démographiques et sociales (Tableau I).

Tableau I: Caractéristiques socio-démographiques des enquêtés

Variables	Modalités	Fréquences		
		Ouankou	N'Dahonta	Pingou
Sexe	Masculin	37 (86,05)	33 (66)	92 (85,98)
	Féminin	6 (13,95)	17 (34)	15 (14,02)
Age	Adulte	28 (65,12)	47 (94)	104 (97,20)
	Vieux	15 (34,88)	3 (6)	3 (2,80)
Statut social	Démuni	19 (44,19)	28 (56)	35 (32,71)
	Moyen	19 (44,19)	5 (10)	64 (59,81)
	Nanti	5 (11,63)	17 (34)	8 (7,48)
Niveau d'instruction	Lettré	5 (11,62)	12 (24)	34 (31,78)
	Semi-lettré	20 (46,51)	18 (36)	22 (20,56)
	Illettré	18 (41,86)	29 (58)	42 (39,25)
Activité secondaire	Elevage	25 (58,14)	29 (58)	56 (52,34)
	Produits de plantes sauvages	10 (23,26)	10 (20)	34 (31,78)
	Artisanat	4 (9,30)	5 (10)	9 (8,41)
	Petit commerce	4 (9,30)	6 (12)	8 (7,48)

X(Y) : X = Fréquence absolue et Y = Fréquence relative ; Moyen = personne à revenu moyen

Source : Travaux de terrain, septembre 2017

Le groupe socio-culturel et la catégorie socio-professionnelle ne sont pas pris en compte en raison du caractère homogène de l'échantillon. En effet, par site, la totalité des agriculteurs enquêtés appartiennent au même groupe socio-culturel et ont comme principale activité l'agriculture à laquelle ils associent généralement des activités secondaires et d'appoint (cueillette, chasse, …). Comme activités secondaires il est noté l'élevage (58,14 % à Ouankou, 58 % à N'Dahonta et 52,34 % à Pingou), l'exploitation des produits de plantes sauvages (23,26 % à Ouankou, 20 % à N'Dahonta et 31,78 % à Pingou), l'artisanat (9,30 % à Ouankou, 10 % à N'Dahonta et 8,41 % à Pingou) et le petit commerce (9,30 % à Ouankou, 12 % à N'Dahonta et 7,48 % à Pingou). Le genre masculin domine dans chacune des trois localités ; respectivement 86 %, 66 % et 86 % dans les villages de Ouankou,

N'Dahonta et Pingou. Les adultes sont les plus représentés et l'âge moyen des enquêtés est respectivement 51 ans, 47 ans et 46 ans pour Ouankou, N'Dahonta et Pingou. A Ouankou, les enquêtés sont majoritairement des démunis et des gens à revenus moyens alors qu'à N'Dahonta, les personnes démunies dominent nettement. A Pingou, les personnes à revenus moyens sont les plus représentées. Dans l'ensemble, les agriculteurs enquêtés sont majoritairement illettrés à l'exception de Ouankou où il y a un peu plus de semi-lettrés.

3.2.3 Analyse des données socio-économiques

Après codification des réponses, les fiches d'enquêtes ont été dépouillées. Une base de données Excel a été constituée. Les données ont été analysées à l'aide du logiciel R (version 3.2.2.). Des statistiques descriptives comme les moyennes et les fréquences ont été calculées. Le test d'indépendance Khi-2 a été effectué afin de déterminer la spécificité de la perception des agriculteurs et de leurs déterminants sur le bassin versant. Pour identifier les déterminants socio-démographiques qui affectent la perception des agriculteurs, il a été choisi d'utiliser le modèle logistique polytonique ordinale (Logit), au regard de la nature binaire de chacune des variables à expliquer.

Le modèle se présente comme suit :

Y = f (x, e) avec Y= variable dépendante (perception des agriculteurs sur une difficulté, un indicateur d'appauvrissement, une cause, un impact et sur l'adoption d'une stratégie d'adaptation) ; X= matrice des variables susceptibles d'expliquer la variation de Y et e = erreur logistique de la distribution.

L'analyse des résultats de ce modèle porte essentiellement sur les points suivants :

Qualité du modèle

La qualité du modèle a été appréciée en utilisant la vraisemblance du modèle qui suit une loi de Khi-deux. Le modèle est dit globalement significatif lorsque la valeur de la vraisemblance est supérieure à celle du Khi-deux au même degré de liberté et à un seuil donné (1 %, 5 % ou 10 %). Précisément, le modèle est dit bon

lorsque la probabilité du ratio de vraisemblance est inférieure au seuil de signification choisi.

Signes de coefficients estimés

La valeur numérique des coefficients estimés n'a vraiment pas d'intérêt en soi. Par contre, les signes de ces coefficients sont importants. Ils indiquent si la vérification associée influence la probabilité à la hausse ou à la baisse. Autrement dit, ces signes indiquent dans quel sens la variation de la variable explicative influence la variation de la variable expliquée. A chaque signe des coefficients est associée une significativité qui revêt une grande importance. Elle est donnée par une probabilité qui indique dans quel intervalle de confiance le signe peut être utile. Cette probabilité peut être de 90 %, 95 % ou 99 %.

Pour les indicateurs d'appauvrissement du sol, une Analyse Factorielle des Correspondances a été faite. Le nombre d'axes à retenir a été déterminé par l'analyse de pourcentages cumulés du tableau de décomposition des valeurs d'inerties et de Chi-carré. Il y a meilleure précision dans l'interprétation des résultats lorsque le pourcentage cumulé dépasse 50 %. Pour qu'un point-ligne (respectivement un point-colonne) soit retenu comme ayant une bonne contribution dans la formation d'un axe, il faut que la contribution k du point soit supérieure à 1/nombre (1/10=0,10 pour les points-lignes et 1/15=0,06 pour les points-colonnes). Les coordonnées (coord) sont utilisées pour déterminer la nature de cette contribution (positive ou négative).

3.3 Méthodes d'évaluation de la teneur et du stock de COS en fonction des modes d'utilisation des terres

Pour évaluer la teneur et le stock de COS en fonction des modes d'utilisation des terres dans le bassin supérieur de Magou, des profils pédologiques ont été d'abord réalisés. Ensuite, des échantillons de sols ont été prélevés et analysés. Enfin, des traitements statistiques ont suivi avant la spatialisation des stocks de carbone organique des sols.

3.3.1 Réalisation des profils pédologiques

Suivant le modèle de l'ORSTOM (Maignien, 1980), neuf (9) profils ont été réalisés à raison de trois fosses par site. Un sondage à la tarière a permis de réaliser de façon raisonnée ces fosses rectangulaires, de 150 cm de long sur 75 cm de large et 100 à 200 cm de profondeur, d'orientation est-ouest. La profondeur a été fonction de l'épaisseur du sol. Dans certains cas où la roche mère est très proche de la surface du sol, la profondeur du profil a été inférieure à 200 cm. La position topographique, les modes d'utilisation des terres, les superficies, l'altitude et les coordonnées géographiques sont relevées. La face côté soleil est en escalier permettant de descendre dans la fosse tandis que celle opposée au soleil (mieux éclairée) appelée face de description est bien taillée verticalement. A l'aide d'un couteau les différents horizons de chaque profil ont été délimités. Dans le cas d'espèce, en l'absence d'analyses physico-chimiques, les horizons ont été distingués les uns des autres par la couleur, la texture, la structure, la porosité, l'épaisseur, la consistance, l'humidité, les matières organiques, la faune et les racines. Chaque profil a été ensuite décrit sur la base du code Munsell en ce qui concerne les couleurs (Oyama et Takehara, 1967).

3.3.2 Technique d'échantillonnage et de prélèvement

Le nombre d'échantillons collectés par mode d'utilisation a été déterminé par la formule de Dagnelie (1998) et Glèlè Kakaï et *al*. (2016).

$N = [t_{1-\alpha/2} \times (CV/d)]^2$

CV = coefficient de variation du paramètre. Le CV a été déterminé suite à un échantillonnage et analyse préliminaire ; d = marge d'erreur d'estimation du paramètre à estimer; $5 \leq d \leq 15$ %. Pour cette étude, on a utilisé une marge d'erreur de 10 % ; $t_{1-\alpha/2}$ est la valeur de la statistique t de la distribution de Student pour un risque alpha de 0,05 ; $t_{1-\alpha/2} \approx 2$.

En appliquant cette formule, 36 carottes de sol ont été prélevées sur une profondeur de 30 cm. L'opération est répétée sur 3 sites dans le bassin versant,

soit un total de 108 échantillons (Tableau II). Les estimations des stocks de carbone organique dans les sols tropicaux concernent beaucoup plus la couche 0-30 cm, considérée comme une couche de référence par le GIEC (IPCC, 2003).

Tableau II: Détail du nombre d'échantillons prélevés.

Modes d'utilisation des terres	Coefficient de variation	Nombre d'échantillons prélevés
Champ	0,15	9
Plantation	0,14	9
Formation naturelle	0,16	9
Jachère	0,15	9
Total		36

Source : Christophe ATCHADA, 2017

Les échantillons pris à la tarière hollandaise par mode d'utilisation des terres (formation naturelle, plantation, jachère et champ), par topo-séquence (haut de pente, mi-pente et bas de pente) sont faits suivant trois profondeurs (0- 10 cm, 10-20 cm et 20-30 cm). Les figures 11, 12 et 13 montrent les profils agroécologiques des transects de prélèvement.

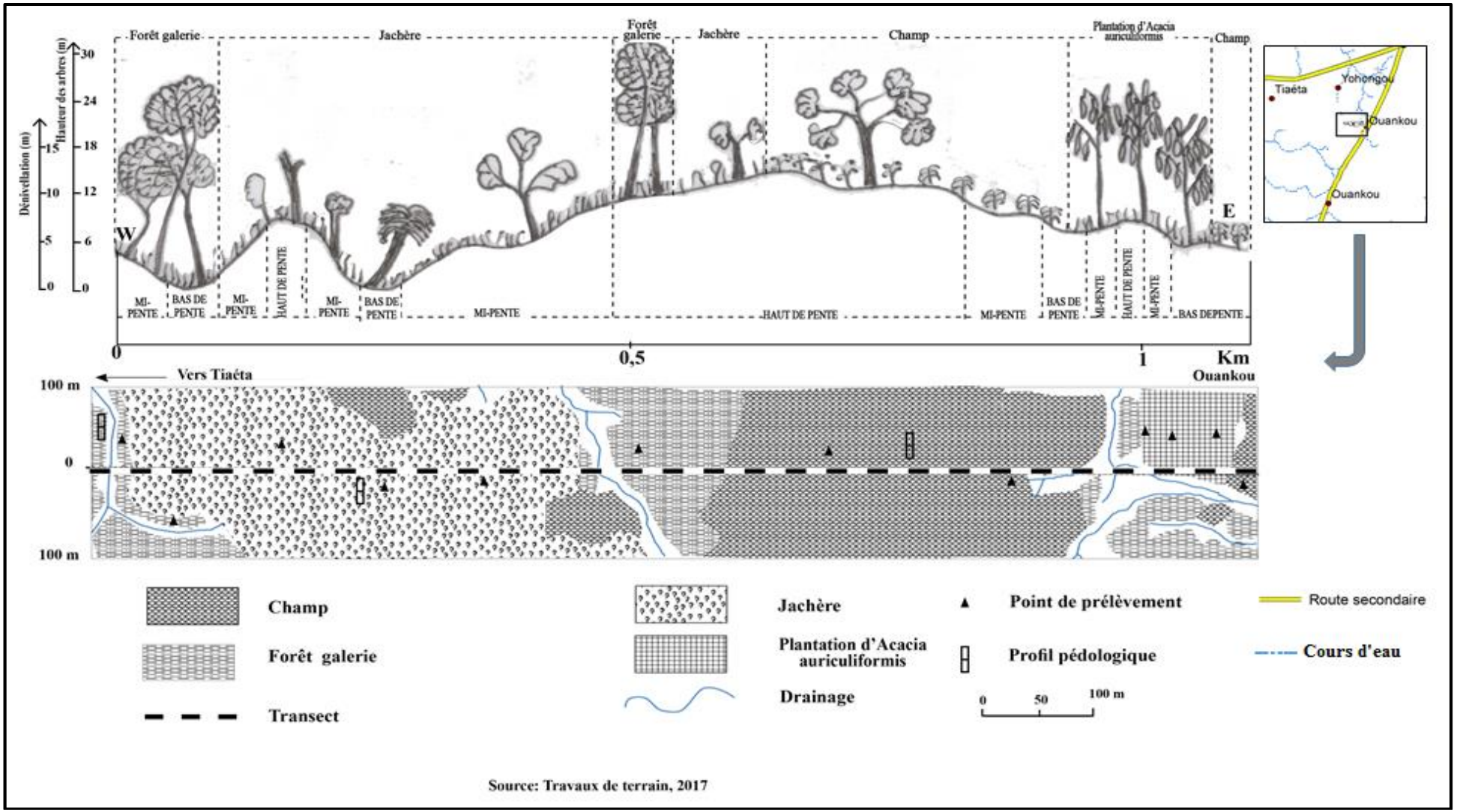


Figure 11 : Profil agroécologique du transect de prélèvement de Ouankou

Source : Travaux de terrain, 2017

La figure 11 montre sur plus d'1 km, d'est à l'ouest des champs en bas de pente, une plantation d'*Acacia auriculiformis* en bas de pente, à mi-pente puis en haut de pente, des champs en bas de pente, à mi-pente puis en haut de pente, une jachère en haut de pente, une forêt galerie, une jachère sur les trois niveaux de la topo-séquence et une forêt galerie en bas de pente puis à mi-pente. Dans cette forêt galerie, la hauteur des arbres dépasse 25 m.

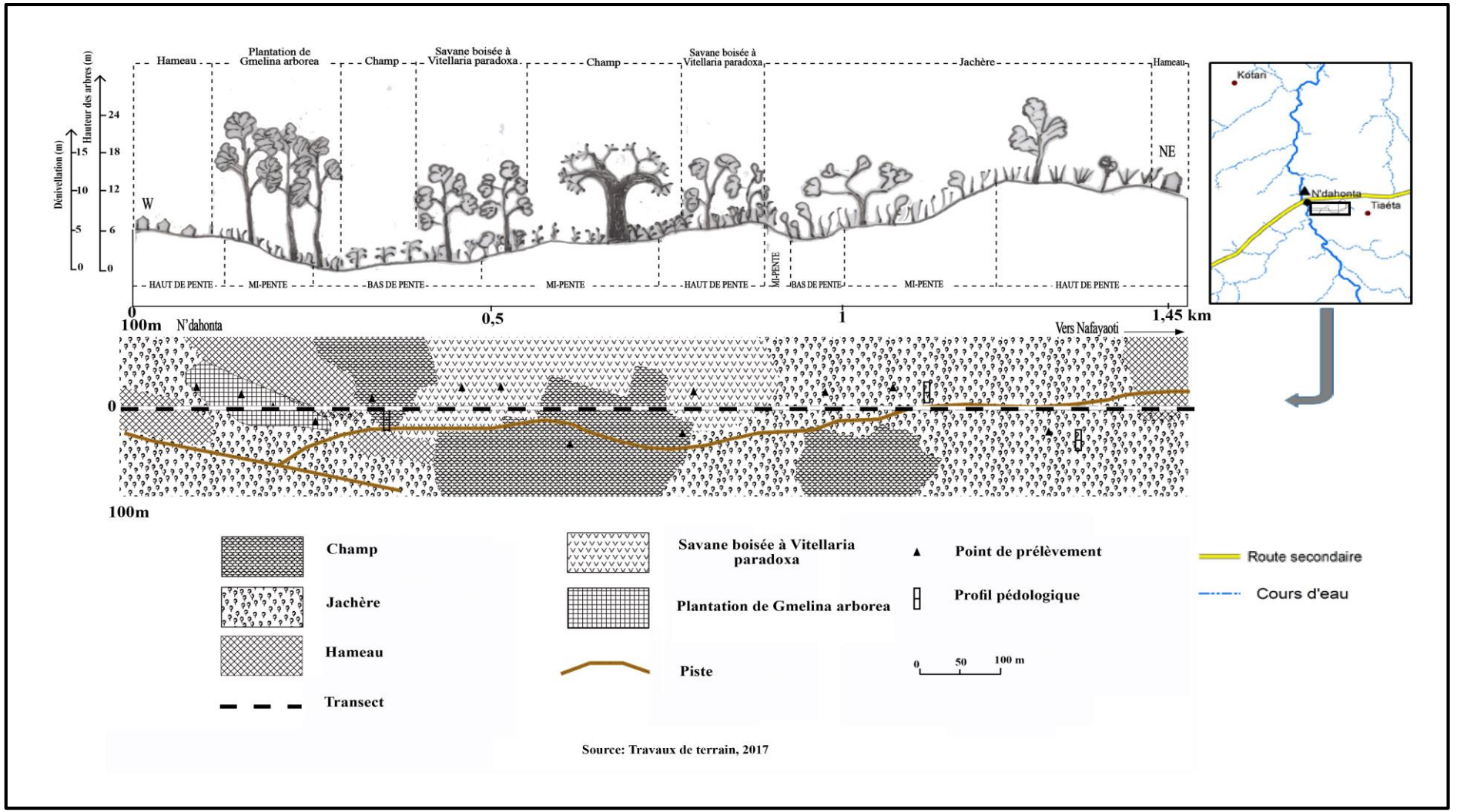


Figure 12 : Profil agroécologique du transect de prélèvement de N'Dahonta

Source : Travaux de terrain, 2017

Sur la figure 12, sur plus de 1,5 km, il est constaté d'est à l'ouest un hameau en haut de pente, une jachère en haut, mi-pente puis en bas de pente, une savane boisée à *Vitellaria paradoxa* en haut de pente, des champs à mi-pente, une savane boisée à *Vitellaria paradoxa* en bas de pente, des champs en bas de pente, une plantation de *Gmelina arborea* à mi-pente et un hameau en haut de pente.

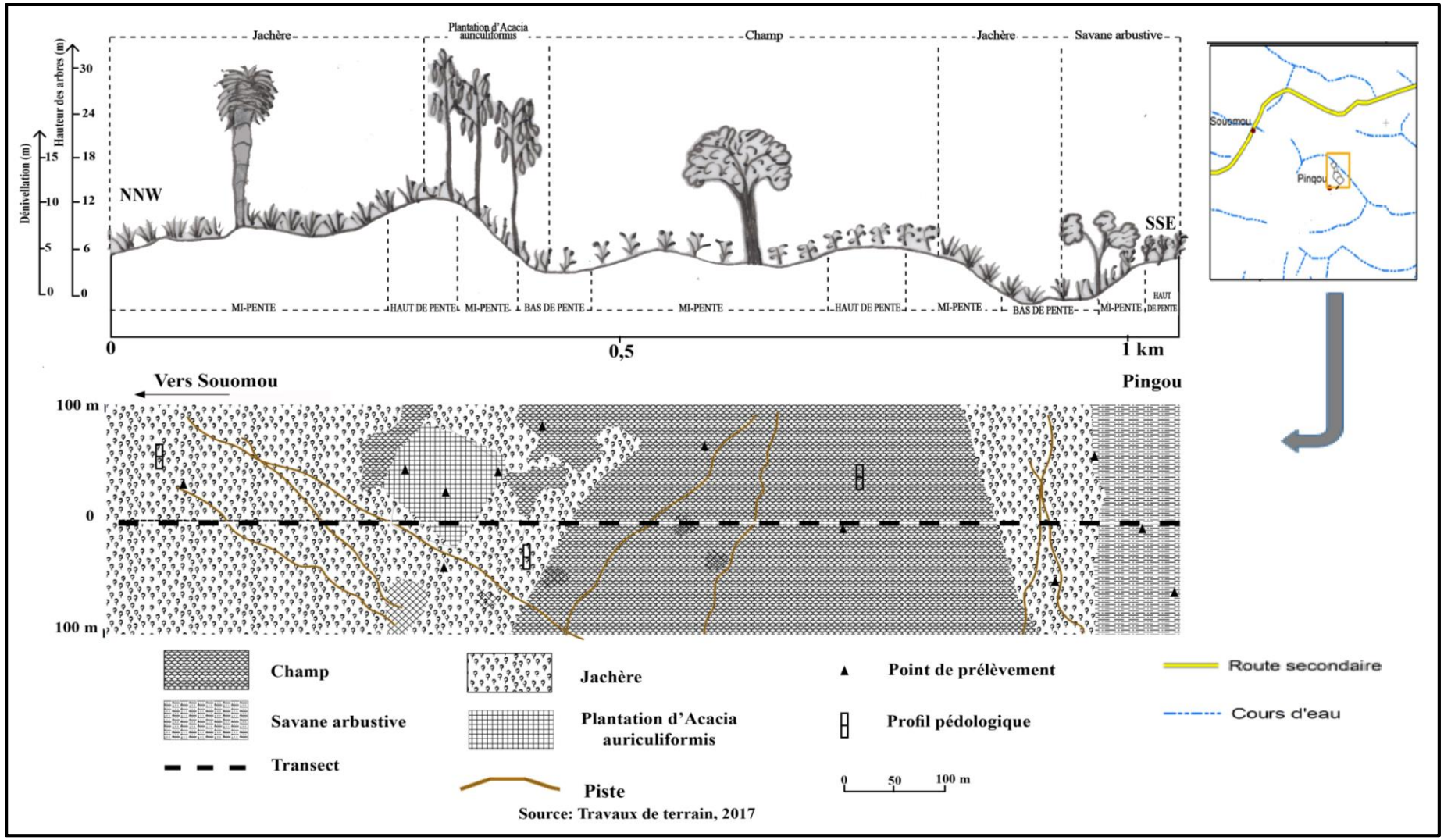


Figure 13 : Profil agroécologique du transect de prélèvement de Pingou

Source : Travaux de terrain, 2017

Quant à la figure 13, sur plus de 1 km, elle indique suivant une trajectoire sud-est/nord-ouest une savane arbustive en haut, mi et bas de pente, une jachère en bas et mi-pente, des champs en haut, mi et bas de pente, une plantation d'*Acacia auriculiformis* en bas, mi et haut de pente et une jachère en haut et mi-pente.

Afin de limiter les effets des utilisations antérieures des terres, il a été choisi des modes âgées de plus de 3 ans. En effet, au bout de trois ans d'installation d'une culture, on commence à percevoir des différences au niveau des stocks de carbone (Turenne, 1976 ; Chevallier, 2000). Mais dans la pratique, les champs, les plantations et les jachères sont âgées d'en moyenne 7 ans. Quant aux formations naturelles, elles sont âgées de plus de 7 ans.

Un échantillon de chaque prélèvement homogénéisé a été emballé dans un sachet étiqueté et envoyé au Laboratoire des Sciences du Sol, Eaux et Environnement de l'Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB).

3.3.3 Méthodes d'analyse des échantillons de sols

Après préparation des échantillons de sols, la granulométrie a été déterminée par la méthode internationale à la pipette Robinson. Les résultats d'analyses granulométriques obtenus sont aux valeurs du triangle de texture de Jamagne et Betremieux pour la détermination de la classe texturale. Le tableau III renseigne sur les classes granulométriques considérées.

La méthode du triangle textural a permis de déterminer facilement les principales classes texturales.

Tableau III : Classes granulométriques considérées

Classe de fraction	Diamètre (µm)
Argile	< 2
Limon fin	2 - 20
Limon grossier	20 - 50
Sable fin	50 - 200
Sable grossier	200 - 2000

Source : AFNOR, 1996

3.3.4 Méthodes de calcul des stocks de carbone organique du sol

3.3.4.1 Teneur en carbone organique

Le carbone organique a été déterminé par la méthode de Walkley et Black (1934) modifiée par Tekalign et *al*. (1991) et qui consiste en une digestion du sol avec le dichromate de potassium (1N) en milieu acide sulfurique concentré (Akplo et *al*., 2017).

3.3.4.2 Densité apparente

La mesure de la densité apparente a été faite en prélevant une portion de sol non tassé grâce à un cylindre de densité calibrée de volume connu dont on a pesé la masse après dessiccation à 105°C à l'étuve. La densité apparente (DA) a été calculée par le rapport du poids sec sur le volume du cylindre. DA = p/V avec p : poids sec du sol en g ; V (volume en cm^3) = 3,14 x h x r^2; h = hauteur de l'échantillonnage et r = rayon de la base du cylindre.

3.3.4.3 Stock de carbone organique du sol

La méthode utilisée pour calculer les stocks de carbone du sol consiste à mesurer la teneur en carbone organique total à différentes profondeurs du sol et à transformer ces données, en prenant en compte la densité apparente et la pierrosité ou charge en éléments grossiers du sol (Saïdou et *al.*, 2012 ; Bello et *al.*, 2017). Dans un premier temps, il a été déterminé le stock de carbone organique sur chaque profondeur par la formule du GIEC que voici :

$$\mathbf{COS_{Profondeur} = ([COS] \times DA \times P \times (1-frag) \times 10)}$$

Ces valeurs de stock ont été utilisées pour évaluer la variation du stock de COS suivant la profondeur. Ensuite, le stock de carbone organique a été déterminé sur la profondeur 0-30 cm par la formule suivante :

$$COS = \sum_{Profondeur=1}^{Profondeur=n} (COS_{profondeur})$$

Avec : **COS** = stock de carbone organique des sols représentatifs du type de formation végétale et du sol étudié à un point donné (exprimée en tonne C/ha);

$COS_{Profondeur}$ = teneur en carbone organique pour une profondeur donnée du sol (tonne C/ha) ; **[COS]** = concentration du carbone organique dans une masse de sol donnée, obtenue par analyses au laboratoire (g C kg/sol) ; **DA** = Densité Apparente (tonne de sol/m^3) ; **P** = profondeur de l'horizon ou épaisseur de la couche du sol (m) ; **frag** = pourcentage de volume de fragments grossiers/100 ; **n** = 30 cm.

3.3.5 Analyse statistique de la variabilité des stocks de carbone organique du sol

Les analyses statistiques ont été effectuées avec le logiciel R version 3.2.2. Après vérification des conditions de normalité et d'égalité des variances, les données concernant le stock de carbone ont été soumises à une analyse de variance (ANOVA) à trois voies suivant la procédure GLM pour vérifier d'éventuelles différences statistiques. De ce fait, les effets testés sont ceux du mode d'utilisation des terres, de la topo-séquence, de la profondeur ainsi que les effets de leurs combinaisons. L'effet des modes d'utilisation des terres et de la topo-séquence ainsi que leur combinaison ont été testés sur le stock de carbone organique calculé sur la profondeur de 0-30 cm. L'effet de la profondeur a été testé sur des sections de 10 cm (0-10 cm ; 10-20 cm et 20-30 cm). La séparation des moyennes a été faite en utilisant le test de Student Newman Keuls (SNK). Le seuil de significativité utilisé est de 5 %. Une corrélation de Pearson a été réalisée pour apprécier la relation entre les différentes fractions granulométriques (Argile, Limon, Sable) et la teneur en carbone organique du sol.

3.3.6 Méthode de spatialisation des stocks de carbone organique du sol

Les modes d'utilisation des terres ont été cartographiés à partir des données GPS. Les coordonnées géographiques des points de prélèvement d'échantillons de sols ont été déchargées à l'aide du logiciel MapSource. Pour spatialiser les stocks de carbone organique du sol, l'outil IDW (Inverse Distance Weighted) du logiciel ArcGIS 10.4 a été utilisé.

3.4 Méthodes d'analyse de la distribution du carbone dans les différentes fractions organiques du sol

Pour analyser la distribution du carbone dans les différentes fractions organiques du sol suivant les modes d'utilisation des terres dans le bassin supérieur de Magou, 108 échantillons de sols (36 par site), prélevés suivant la méthode décrite pour l'objectif 3, ont fait l'objet d'une analyse au Laboratoire de Microbiologie des Sols et d'Ecologie Microbienne de la Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université d'Abomey-Calavi avant leur traitement statistique.

3.4.1 Méthodes d'analyse des échantillons

Le principe du fractionnement utilisé est celui de Feller et *al.* (1979) pour les sols tropicaux très pauvres en humus et à texture très grossière. Les fractions granulométriques considérées ont été choisies conformément aux travaux de Pallo et *al*. (2006) et Akplo et *al*. (2017). Il s'agit de la fraction organique liée au sable grossier (200 à 2000 µm), de la fraction organique liée au sable fin (50 à 200 µm) et la fraction liée à l'argile et au limon ou organo- minérale (0 à 50 µm). Après tamisage humide à l'eau de robinet, les fractions organiques ont été récupérées et séchées à l'étuve, à une température de 65°C durant 48 heures. La teneur en carbone organique de ces fractions a été déterminée par la méthode de Walkley et Black (1934) modifiée par Tekalign et *al*. (1991).

L'enrichissement en carbone (EC) de chaque fraction a été calculé par la formule de Christensen (2001).

EC = (C fraction (%) /(C (%) du sol non fractionné) x 100

L'azote total est déterminé par la méthode de Kjeldahl (1883). A la suite de la minéralisation avec l'acide sulfurique concentré (H_2SO_4), la distillation est faite en présence de la soude (NaOH) et le dosage de l'azote ammoniacal par H_2SO_4 à 0,1 N. Cette méthode a été utilisée par Kouelo et *al*. (2015). En effet, 20 g de sol tamisé à 2 mm ont été pesés et introduits dans un flacon plastique de 1 litre de contenance dans lequel on ajoute 200 ml d'eau et 0,5 g d'hexaméthaphosphate de sodium (1N). Le mélange a été agité par retournements à l'agitateur rotatif

pendant 60 minutes. Le contenu a subi un tamisage humide sur une colonne de trois tamis superposés à l'eau de robinet, pendant environ 10 minutes. Le tamisage successif à l'eau a permis de séparer les fractions organiques par classe de taille. Les fractions ont été récupérées dans des boîtes séchées à l'étuve à 65° C pendant 72 heures.

3.4.2 Traitement statistique

Les données sur les stocks de COS ont été soumises à une analyse de variance. Celles concernant le rapport C/N et les fractions organiques du sol ont fait l'objet d'une analyse de régression multiple par mode d'utilisation des terres. Le rapport C/N a été considéré comme la variable réponse (y) et les fractions organiques du sol ont été considérées comme des variables explicatives. Les conditions de normalité, d'homogénéité, d'indépendance des résidus et de linéarité du modèle ont été respectivement vérifiées en utilisant le test de Shapiro-Wilk, le test de Breusch-Pagan et le test de Durbin-Waston. La significativité globale du modèle a été vérifiée par une analyse de variance. La significativité des coefficients de régression, quant à elle a été vérifiée en utilisant le test t de Student.

Conclusion

L'approche méthodologique adoptée a permis de combiner les travaux de terrain, notamment l'enquête socio-économique et les prélèvements d'échantillons de sols avec les travaux de laboratoire et les tests statistiques. Cette démarche utilisée a abouti aux résultats présentés dans la deuxième partie.

DEUXIEME PARTIE : *RESULTATS*

CHAPITRE IV : CARACTERISATION DES MODES D'UTILISATION DES TERRES ET DES SYSTEMES DE CULTURE DANS LE BASSIN SUPERIEUR DE MAGOU

Dans le bassin supérieur de la rivière Magou, les terres sont utilisées suivant différents modes avec des systèmes de culture propres au milieu. Concernant les modes d'utilisation des terres, il s'agit des champs, des plantations, des jachères, des formations naturelles et des pâturages. Ces derniers se révèlent comme un mode d'utilisation des terres transversal aux quatre autres qui permettent de discriminer les teneurs et stocks de COS suivant une approche cartographique. Dans ce quatrième chapitre, il sera d'abord question de la caractérisation des modes d'utilisation des terres et ensuite de celle des techniques et systèmes de cultures.

4.1 Modes d'utilisation des terres

4.1.1 Dynamique d'occupation des terres entre 2002 et 2017

Le tableau IV présente la matrice de transition des unités d'occupation des terres entre 2002 et 2017 du secteur d'étude.

Tableau IV : Superficies des unités d'occupation des terres entre 2002 et 2017 dans le bassin supérieur de Magou

Unités en 2002	Unités en 2017								Super. totale en 2002
	FG	FCSB	SASa	PL	MCJ	MRC	SR	AGG	
FG	7,64	0	0	0,71	5,29	0	0	0	**13,64**
FCSB	0	12,86	5,93	0	3,26	0	0	0	**22,05**
SASa	0	0,19	353,77	10,34	153,33	0	0	5,21	**522,85**
PL	0	0	0	3,95	0,12	0	0	0	**4,07**
MCJ	0	0	0	7,98	234,72	0	0	3,14	**245,84**
MRC	0	0	0	0	0,15	0,39	0	0	**0,54**
SR	0	0	0	0	0	0	17,56	0	**17,56**
AGG	0	0	0	0		0	0	2,12	**2,12**
Super. totale en 2017	**7,64**	**13,05**	**359,71**	**22,27**	**392,30**	**5,68**	**17,56**	**10,47**	**828,67**

FG : forêt galerie, FCSB : forêt claire et savane boisée, SASa : savane arborée et savane arbustive, PL : plantations, MCJ : mosaïque de culture et jachère, MRC : marécage, SR : surface rocheuse, AGG : agglomération. superficie restée inchangée entre 2002 et 2017

Source : Images SPOT de 2017

De l'analyse du tableau IV, il ressort que les formations végétales naturelles ont connu de changements notables entre 2002 et 2017. En ce qui concerne les galeries forestières, elles ont perdu 0,71 km² et 5,29 km² de leur superficie au profit des plantations et des mosaïques de champs et jachères avec une stabilité de 7,64 km². Pour les forêts claires et savanes boisées, la superficie restée inchangée est de 12,86 km². Une partie de la superficie des forêts claires et savanes boisées est convertie en savanes arborées et arbustives (5,93 km²) et en mosaïques de champs et jachères (3,26 km²). Les savanes arborées et arbustives ont gagné 0,19 km² de leur superficie en se convertissant en forêt claire et savane boisée, 10,34 km² et 153,33 km² sont converties respectivement en plantations et en mosaïques de champs et jachères puis 5,21 % en agglomération. Les plantations et les marécages se sont convertis en mosaïques de champs et jachères ; soient 0,12 km² et 0,15 km² respectivement pour des stabilités de 3,95 km² et 0,39 km².

Il se dégage de ces constats que les ressources naturelles se dégradent à la faveur de leur utilisation par les habitants du bassin. Ainsi, de l'état de formation naturelle, ces ressources se sont transformées en plantations, en jachères et en champs.

4.1.2 Formations naturelles

Les formations naturelles sont des forêts galeries (7,64 Km^2), des forêts claires et savanes boisées (13,05 Km^2) et des savanes arborées et arbustives (359,71 Km^2). Elles sont sans doute plus âgées que les autres modes d'utilisation des terres et représentent 46 % de la superficie du BSM. Certaines forêts trouvent leur raison d'être de par leur caractère sacré ou impropre à l'agriculture. Les forêts sont pour la plupart développées sur des sols tropicaux lessivés sans/à concrétions et les savanes boisées sont composés surtout de *Parkia biglobosa* et de *Vitellaria paradoxa* (Photo 1) sur des sols tropicaux lessivés à concrétions. A Pingou, il s'agit de savanes arbustives sur des sols très rocailleux avec affleurements

rocheux et totalement inadaptés à l'agriculture. Dans les savanes arbustives, il y a la présence des espèces comme *Parkia biglobosa* et *Vitellaria paradoxa.* Les savanes arborées abritent des espèces, très remarquables par leur hauteur, dont *Adansonia digitata* et *Borassus aethiopum* surtout à Pingou. Toutefois, ces savanes font l'objet d'une exploitation incontrôlée (bois, charbon, cueillette …) et sont annuellement soumises aux feux de végétation et constamment assujetties au surpâturage.



Photo 1: Photo d'une savane boisée à *Vitellaria paradoxa* à N'Dahonta, Août 2017

Du centre vers la droite de la photo 1, il se distingue aisément quelques individus de *Vitellaria paradoxa.*

4.1.3 Jachères

Les jachères couvrent 240 km^2 (Tableau IV), soit 29 % de la superficie du BSM. Elles sont âgées d'en moyenne 7 ans (Photo 2) et se composent de savanes herbeuses à *Andropogon spp.* Les terres concernées par ces jachères ont des sols tropicaux lessivés sans concrétions. Les jachères sont aussi surexploitées (pâturage, exploitation de bois, carbonisation, cueillette, …) et sont de manière cyclique soumises aux feux de végétation.



Photo 2 *:* Photo d'une jachere à *Andropogon gayanus* à Ouankou, Août 2017

Au premier plan sur la photo 1, se distingue *Andropogon gayanus* sous forme herbacée.

4.1.4 Plantations

Composées d'*Acacia auriculiformis,* de *Gmelina arborea* et parfois d*'Anacardium occidentale*, les plantations couvrent 22,27 km^2 (Tableau IV), soit 2,69 % de la superficie du BSM. Celles retenues sont composées d'*Acacia auriculiformis* et de *Gmelina arborea*. Elles sont âgées d'en moyenne 7 ans (Photos 3 et 4) en succession à des champs permanents sur plus de 5 ans. Même si les plantations sont relativement protégées, elles sont clandestinement pâturées et quelques fois exploitées pour divers besoins.



Photo 3 : Photo d'une plantation de *Gmelina arborea à* N'Dahonta, Août 2017

Sur la photo 3, la plantation de *Gmelina arborea* est bien visible en strate supérieure.



Photo 4 : Photo d'une Plantation d'*Acacia auriculiformis* à Pingou, Août 2017

La plantation d'*Acacia auriculiformis* visibles sur la photo 4 indique apparemment des plans de différents âges où les plus âgés sont à gauche et les plus jeunes à droites. Il s'agit à droite des rejets après coupe.

4.1.5 Champs

Labourés pour la plupart à la houe, à la charrue ou aux tracteurs dans le meilleur des cas, les champs sont ensemencés en maïs (*Zea mays L.,)*, en coton (*Gossypium arboreum L.*), en sorgho (*Sorghum bicolor* L. Moench), en petits mil (*Setaria italica* L. P. Beauv.), en igname (*Dioscorea alata L.*) et autres en rotation ou en association avec ou sans usage d'engrais minéraux (Photos 5 et 6). Les superficies emblavées s'élèvent à 158 km^2, soit 19 % de la superficie totale du BSM (DSA, 2017). Les champs abritent aussi certaines essences forestières (*Parkia biglobosa, Vitellaria paradoxa, Adansonia digitata, ...*) protégées par les agriculteurs en raison de leur importance économique (graines de moutarde, beurre, jus/sirop). Les champs subissent périodiquement, après les récoltes, les assauts répétés des bétails sédentaires et transhumants.



Photo 5 : Photo d'un champ de maïs (*Zea mays*) à N'Dahonta, Août 2017

Au premier plan sur la photo 5 le champ de maïs se distingue et en arrière plan des espèces ligneuses dont *Parkia biglobosa* sont visibles.



Photo 6 : Photo d'un champ de coton (*Gossypium arboreum*) à Pingou, Septembre 2017

Sur la photo 6, le champ de coton est très remarquable au premier plan. Toutefois il se distingue d'autres espèces comme *Borassus aethiopum* visibles en arrière plan.

4.2 Techniques et systèmes de culture

4.2.1 Modes d'accès à la terre

Dans le bassin supérieur de Magou, les agriculteurs accèdent à la terre par plusieurs modes. Il s'agit de l'héritage, de l'emprunt, du don, de l'achat et parfois d'autres modes (Figure 14).

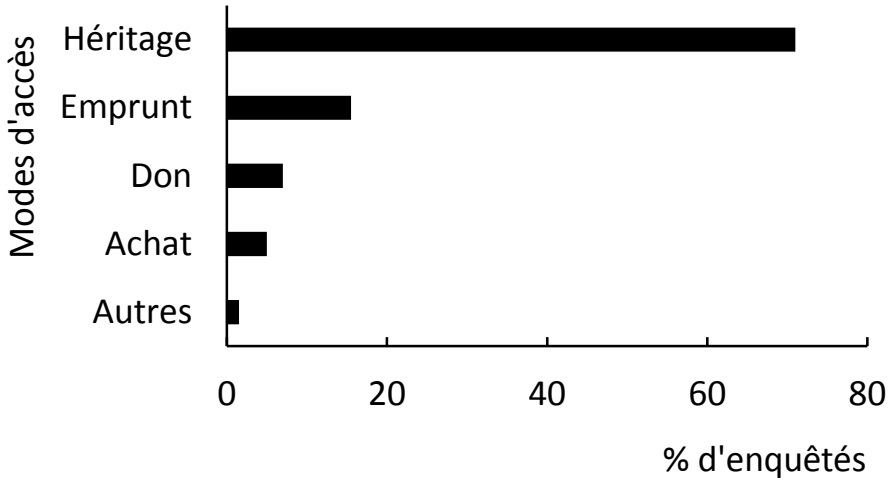


Figure 14 : Modes d'accès à la terre dans le bassin supérieur de Magou
Source : Résultats d'enquêtes, septembre 2017

De l'analyse de la figure 14, l'héritage est le mode d'accès le plus répandu (71 % des agriculteurs). Ce mode est suivi de l'emprunt (15,5 % des agriculteurs), du don (7 %) et de l'achat (5 %). Les autres modes comme le métayage et la location sont rares (1,5 %).

4.2.2 Système cultural

La figure 15 présente les systèmes de culture adoptés par les agriculteurs dans le bassin supérieur de Magou au cours des sept dernières années.

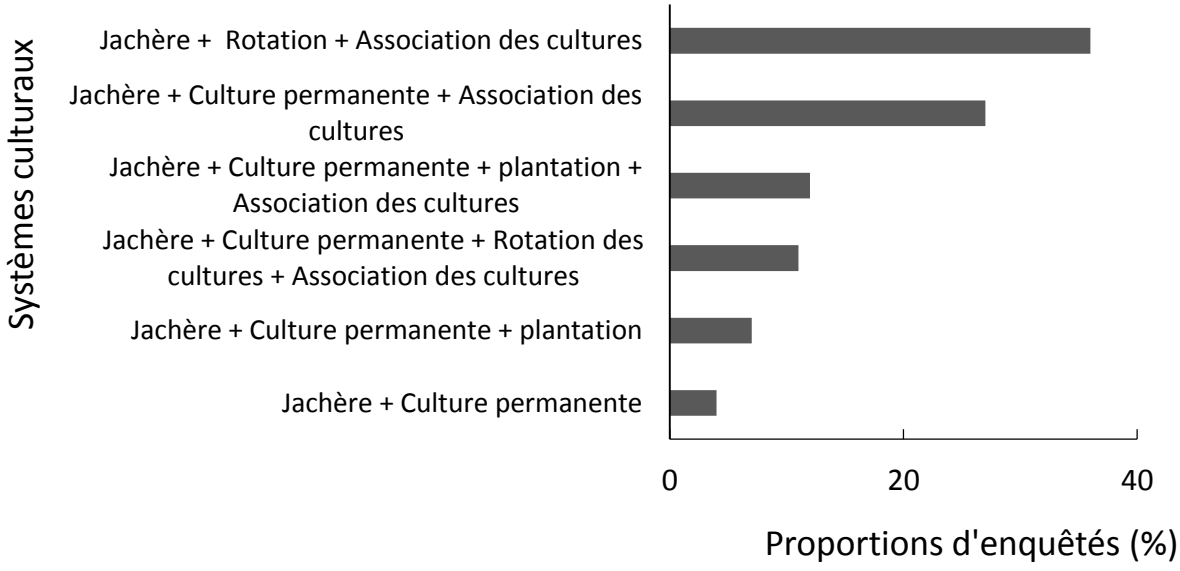


Figure 15: Systèmes culturaux adoptés dans le bassin supérieur de Magou

Source : Résultats d'enquêtes, septembre 2017

De l'analyse de la figure 15, il ressort que dans le bassin supérieur de Magou, les agriculteurs pratiquent la rotation-assolement, la jachère, la technique de culture permanente, les plantations et la technique d'association des cultures. Dans tous les cas, la jachère est combinée aux cultures en rotation ou non. Certains adoptent et ceci de manière combinée les pratiques de jachère, d'assolement-rotation et d'association de cultures (36 % des enquêtés). D'autres restent sur le même terrain de façon permanente tout en associant les cultures (27 %). Dans quelques cas il y a des plantations (12 %).

4.2.3 Travail du sol

Diverses techniques sont utilisées pour travailler la terre dans le bassin supérieur de Magou (Figure 16).

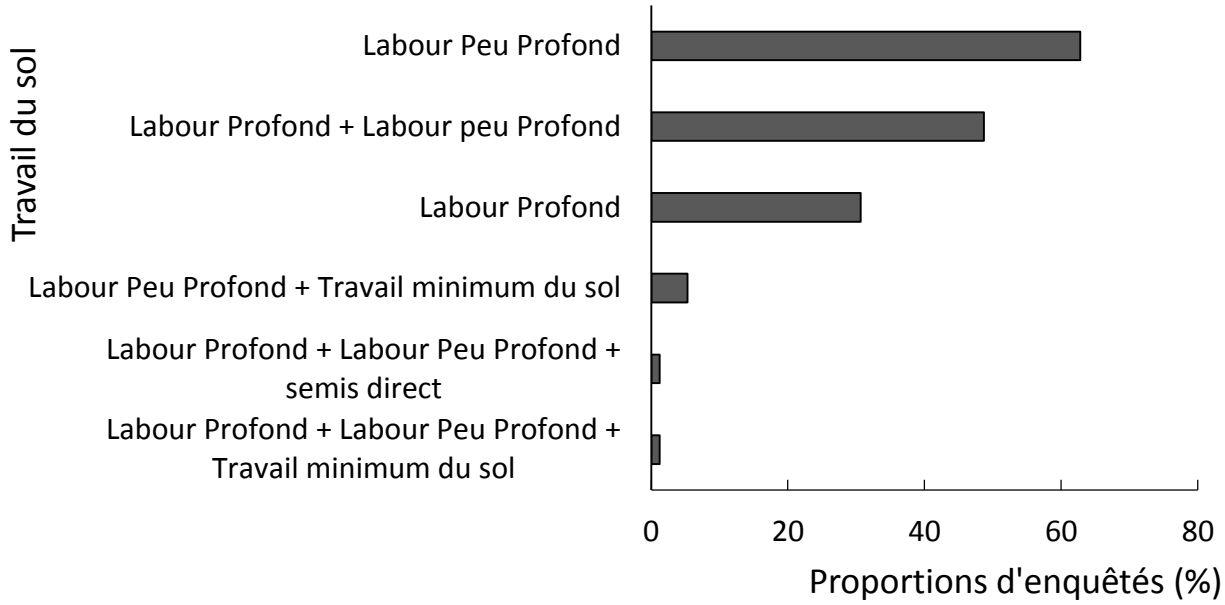


Figure 16 : Technique du travail du sol dans le bassin supérieur de Magou

Source : Résultats d'enquêtes, septembre 2017

De l'analyse de la figure 16, les techniques culturales dans le BSM sont : le labour profond, le labour peu profond, le travail minimum du sol et les semis directs. De toutes ces techniques, le labour peu profond est le plus dominant car 62,80 % des enquêtés le pratiquent exclusivement et 48,71 % l'associent au labour profond (Figure 16). Pour 30,67 % des agriculteurs, le labour profond est la première

technique utilisée. Environ 5 % des enquêtés associent le labour peu profond au travail minimum du sol. Dans la plupart des cas, les techniques sont associées l'une à l'autre.

4.2.4 Outils agricoles

Pour travailler la terre, les outils utilisés sont variés allant de la houe au tracteur en passant par la charrue (Figure 17).

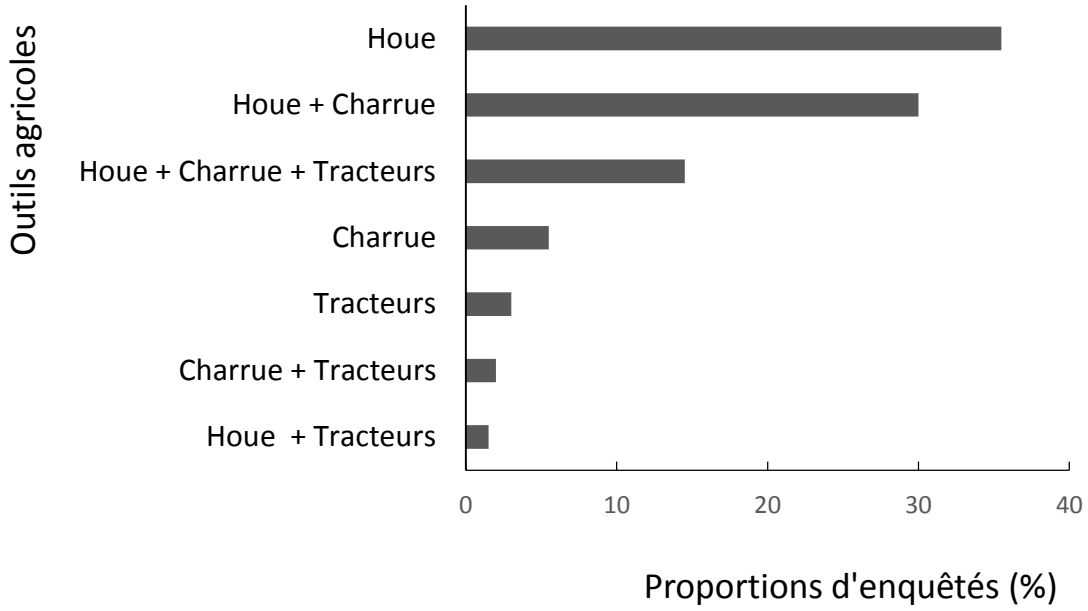


Figure 17 : Outils agricoles dans le bassin supérieur de Magou

Source : Résultats d'enquêtes, septembre 2017

De tous les outils utilisés, la houe est l'instrument par excellence du travail de la terre dans le BSM (35,50 %). La houe est associée à la charrue dans 30 % des cas et ces deux outils sont associés aux tracteurs à hauteur de 14,5 %. Moins de 6 % des agriculteurs ont la charrue comme seul outil de labour et 3 % des enquêtés peuvent labourer leurs champs exclusivement à l'aide de tracteurs. Pour l'essentiel, la houe est complétée par la charrue et/ou le tracteur selon les agriculteurs et les localités.

4.2.5 Gestion de la fertilité du sol

Les techniques de gestion de la fertilité du sol dans le bassin superieur de Magou sont présentées sur la figure 18.

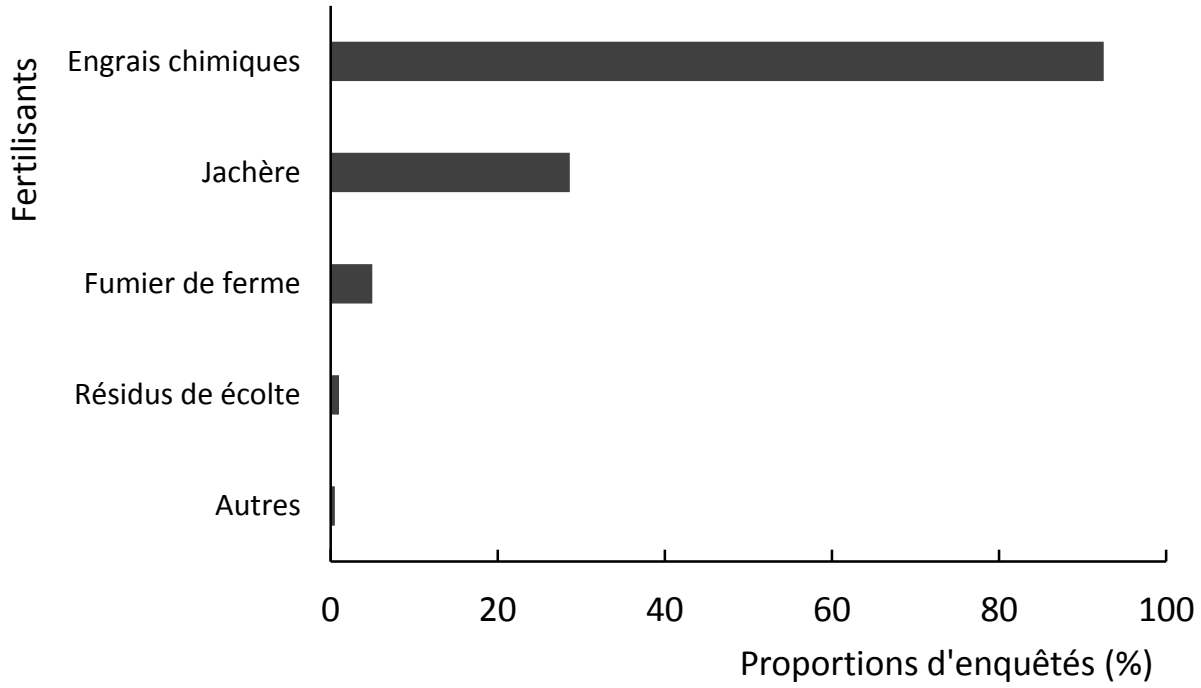


Figure 18 : Technique de gestion de la fertilité du sol dans le Bassin Supérieur de Magou

Source : Résultats d'enquêtes, septembre 2017

La figure 18 montre que 92,5 % des agriculteurs enquêtés utilisent les engrais chimiques pour gérer la fertilité du sol. La jachère est utilisée par 28,61 % des agriculteurs enquêtés. Elle est suivie de l'usage des fumiers de ferme (5 %). Les résidus de récoltes et autres techniques de gestion de la fertilité du sol (plantes légumineuses et agro-foresterie) sont très faiblement utilisés et concernent dans l'ensemble moins de 2 % des agriculteurs.

4.3 Importance des activités agricoles dans l'économie du bassin supérieur de Magou

Les résultats des enquêtes réalisées montrent que dans le bassin supérieur de Magou les agriculteurs tirent la quasi-totalité de leur revenu financier de la terre et que l'agriculture est la première activité suivie de l'élevage (Figure 19).

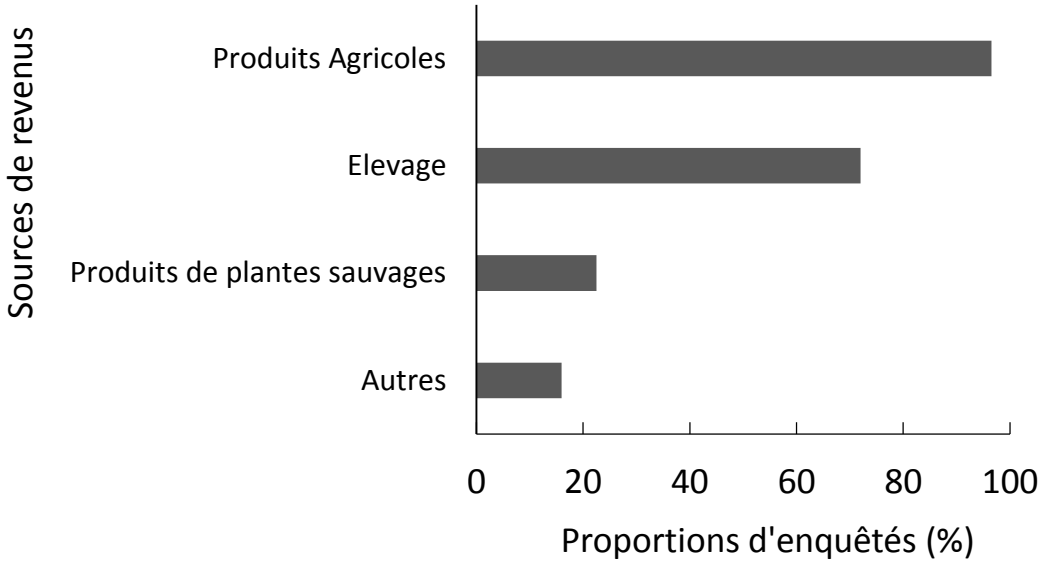


Figure 19 : Sources de revenus des agriculteurs du Bassin Supérieur de Magou

Source : Résultats d'enquêtes, septembre 2017

De l'analyse de la figure 19, il est constaté que 96,5 % ; 72 % et 22,5 % des agriculteurs enquêtés ont pour sources de revenus financiers respectivement la vente de produits agricoles (cultures vivrières ; cultures de rente), d'élevage (volailles, caprins, ovins, bovins, …) et des produits ligneux ou non ligneux tirés de la végétation naturelle. En dehors de ces principales sources de revenus, d'autres activités secondaires (artisanat, petit commerce, …) ou d'appoint (chasse, pêche, …) permettent aux agriculteurs de gérer leur quotidien.

Conclusion

Les modes d'utilisation des terres, l'outillage agricole, les techniques de travail du sol, les systèmes de culture et les modes de gestion de la fertilité des sols sont des indicateurs à prendre en compte dans l'analyse des facteurs de dégradation

des sols dans le bassin supérieur de Magou, un milieu où les activités agricoles occupent une place prépondérante dans l'économie. La perception des agriculteurs sur l'impact négatif des activités anthropiques sur la fertilité des sols sera déterminante pour la mise en œuvre des stratégies de conservation des ressources naturelles du BSM.

CHAPITRE V : PERCEPTIONS LOCALES SUR LA FERTILITE DES SOLS DANS LE BASSIN SUPERIEUR DE MAGOU

La gestion durable des terres dans un système d'agriculture traditionnelle s'appuie sur les connaissances endogènes. L'analyse des perceptions des agriculteurs sur l'appauvrissement des terres et leurs effets dans le bassin supérieur de Magou est donc devenue une préoccupation majeure. Ce chapitre décrit la structure des enquêtés, analyse les perceptions des agriculteurs sur les principales difficultés qu'ils rencontrent, les indicateurs et les causes d'appauvrissement des sols, puis les impacts de l'appauvrissement des sols et les stratégies d'adaptation.

5.1. Principales difficultés rencontrées par les agriculteurs

Les principales difficultés rencontrées par les agriculteurs du BSM sont présentées sur la figure 20 et dans le tableau V.

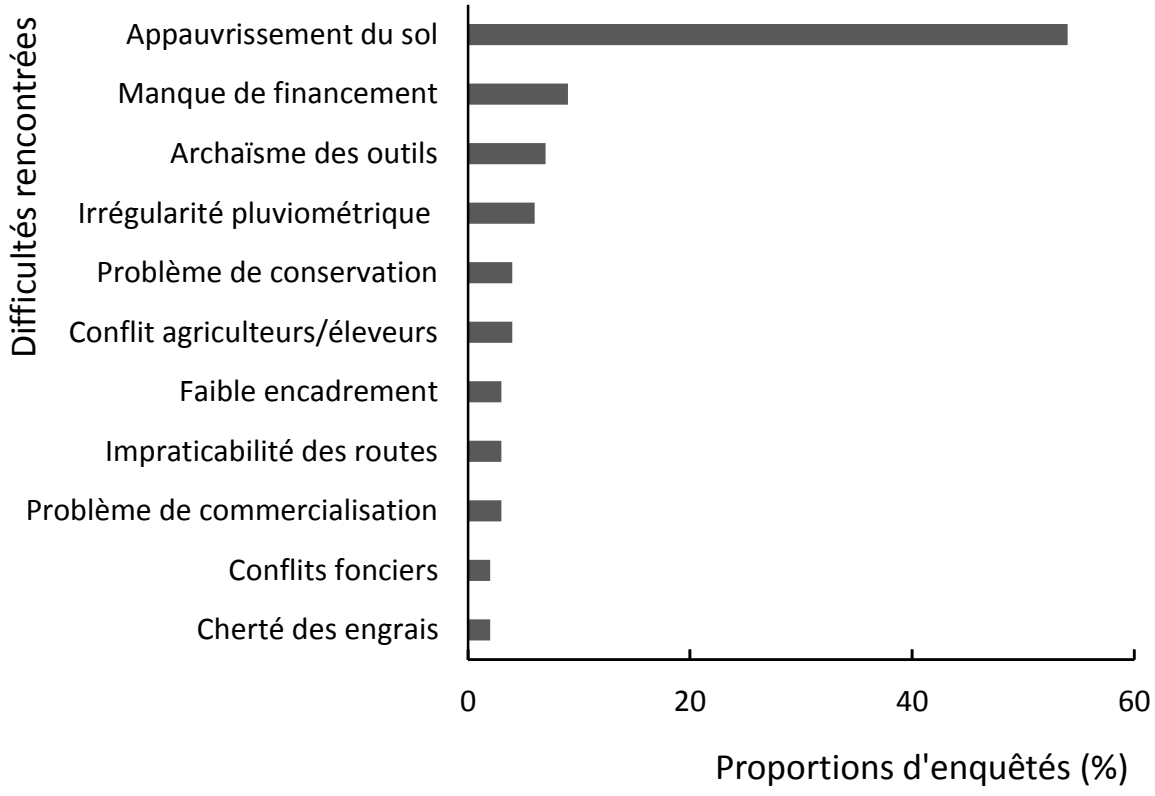


Figure 20 : Principales difficultés rencontrées par les agriculteurs dans le bassin supérieur de Magou

Source : Résultats d'enquêtes, septembre 2017

La figure 20 montre que, dans le bassin supérieur de Magou, le principal problème que rencontrent les agriculteurs enquêtés est l'appauvrissement des sols (54 % des enquêtés). Outre ce problème éminemment crucial, dix (10) autres difficultés ont été relevées par les agriculteurs enquêtés par ordre d'importance dans le BSM. Il s'agit du manque de financement, du caractère archaïque de l'outillage agricole, de l'irrégularité des pluies, des problèmes de conservation des produits agricoles, des conflits entre agriculteurs et éleveurs, du faible encadrement technique des agriculteurs, de l'impraticabilité des routes, des problèmes de commercialisation des produits agricoles, des conflits fonciers et du coût élevé des engrais chimiques.

Tableau V : Effet de l'âge, du statut social et du niveau d'instruction sur la perception des agriculteurs sur les difficultés rencontrées

	Problèmes de commer cialisation	Manque de financement	Conflits agriculteurs et éleveurs	Appauvris sement	Impraticabilité des pistes	Irrégularité pluviométrique	Outils archaïques	Faible encadrement	Conflits fonciers	Problèmes conservation
	Estimate	Estimate	Estimate	Estimate	Estimate	Estimate	Estimate	Estimate	Estimate	Estimate
(Intercept)	-1,3415**	-0,53576ns	-0,96269**	0,151ns	-1,0177**	-0,8527*	0,2783ns	-1,1403**	-2,8676***	-1,1545**
Adulte	0,2982ns	-0,5007ns	-0,6838ns	-0,34884ns	0,7509ns	-0,171724ns	-1,3278*	-0,63891ns	-0,2685ns	-0,2957ns
Vieux	-0,2982ns	0,5007ns	0,68376ns	0,3488ns	-0,7509ns	0,1717ns	1,3278*	0,6389ns	0,2685ns	0,2957ns
Féminin	0,0689ns	-0,5136ns	0,2611ns	0,29574ns	0,2018ns	-0,651102ns	0,4767ns	-0,14865ns	-1,3404ns	0,0372ns
Masculin	-0,0689ns	0,51358ns	-0,26108ns	-0,2957ns	-0,2018ns	0,6511ns	-0,4767ns	0,1486ns	1,3404ns	-0,0372ns
Démuni	1,1275ns	0,7316ns	0,3633ns	-1,36405*	0,4658ns	0,420411ns	1,0244*	-0,34375ns	0,1644ns	0,3112ns
Moyen	-0,2955ns	-0,08257ns	0,06995ns	0,5866*	-0,2254ns	-0,3913ns	-0,2894ns	0,2515ns	-0,2819ns	0,3736ns
Nanti	-1,1275ns	-0,73162ns	-0,36326ns	1,3641*	-0,4658ns	-0,4204ns	-1,0244*	0,3438ns	-0,1644ns	-0,3112ns
Illettré	-1,031ns	0,4595ns	-0,5675ns	0,90195*	0,7786ns	-0,197249ns	-0,2435ns	0,80714ns	-0,122ns	0,2741ns
Lettré	0,227ns	-0,21048ns	-0,25641ns	-0,8517*	0,1889ns	0,1886ns	0,4102ns	-0,9768ns	-0,1079ns	-0,1154ns
Semi-lettré	1,031*	-0,45945ns	0,56751ns	-0,902*	-0,7786ns	0,1972ns	0,2435ns	-0,8071ns	0,122ns	-0,2741ns
Elevage	0,0801ns	0,75091ns	-15,719ns	-16,424ns	0,56816ns	-0,005012ns	-0,5238ns	-0,09726ns	0,0801ns	0,75091ns
Produits de plantes sauvages	-0,6369ns	-0,0242ns	-0,5405ns	-0,0757ns	0,53572ns	0,243418ns	0,1778ns	0,69096ns	-0,6369ns	-0,0242ns
Artisanat	-0,0056ns	-0,8478ns	0,6468ns	0,96858ns	0,16394ns	0,872999ns	0,5698ns	-0,12426ns	-0,0056ns	-0,8478ns
Petit commerce	0,13981ns	0,10574ns	-1,0573ns	-0,5693ns	-0,02563ns	0,052998ns	0,8329ns	-0,21971ns	0,13981ns	0,10574ns

ns : non significatif au seuil de 5% (p>0,05) ; * significatif au seuil de 5% (p<0,05) ; ** : hautement significatif au seuil de 1% (p<0,01) ; *** : très hautement significatif au seuil de 1‰ ((p<0,001) ; Moyen = personne à revenu moyen

Source : Résultats d'enquêtes, septembre 2017

La perception des agriculteurs sur les difficultés rencontrées dépend significativement de l'âge (χ^2= 27,47 ; p=0,0012) ; du statut social (χ^2= 162,87 ; p<0,0001) et du niveau d'instruction de l'enquêté (χ^2= 89,92 ; p<0,0001). Selon les illettrés, les nantis et les personnes à revenus moyens, l'appauvrissement du sol rend difficiles les activités agricoles contrairement aux lettrés, semi-lettrés et démunis pour qui cela n'est pas un problème majeur. Pour les vieux et les démunis, le caractère archaïque des outils agricoles constitue une sérieuse difficulté qui limite la production agricole alors que les adultes et nantis le banalisent. Par ailleurs pour les semi-lettrés, les problèmes de commercialisation constituent les difficultés majeures qui inhibent la production agricole (Tableau V).

5.2. Indicateurs et causes d'appauvrissement des sols

5.2.1 Indicateurs d'appauvrissement des sols

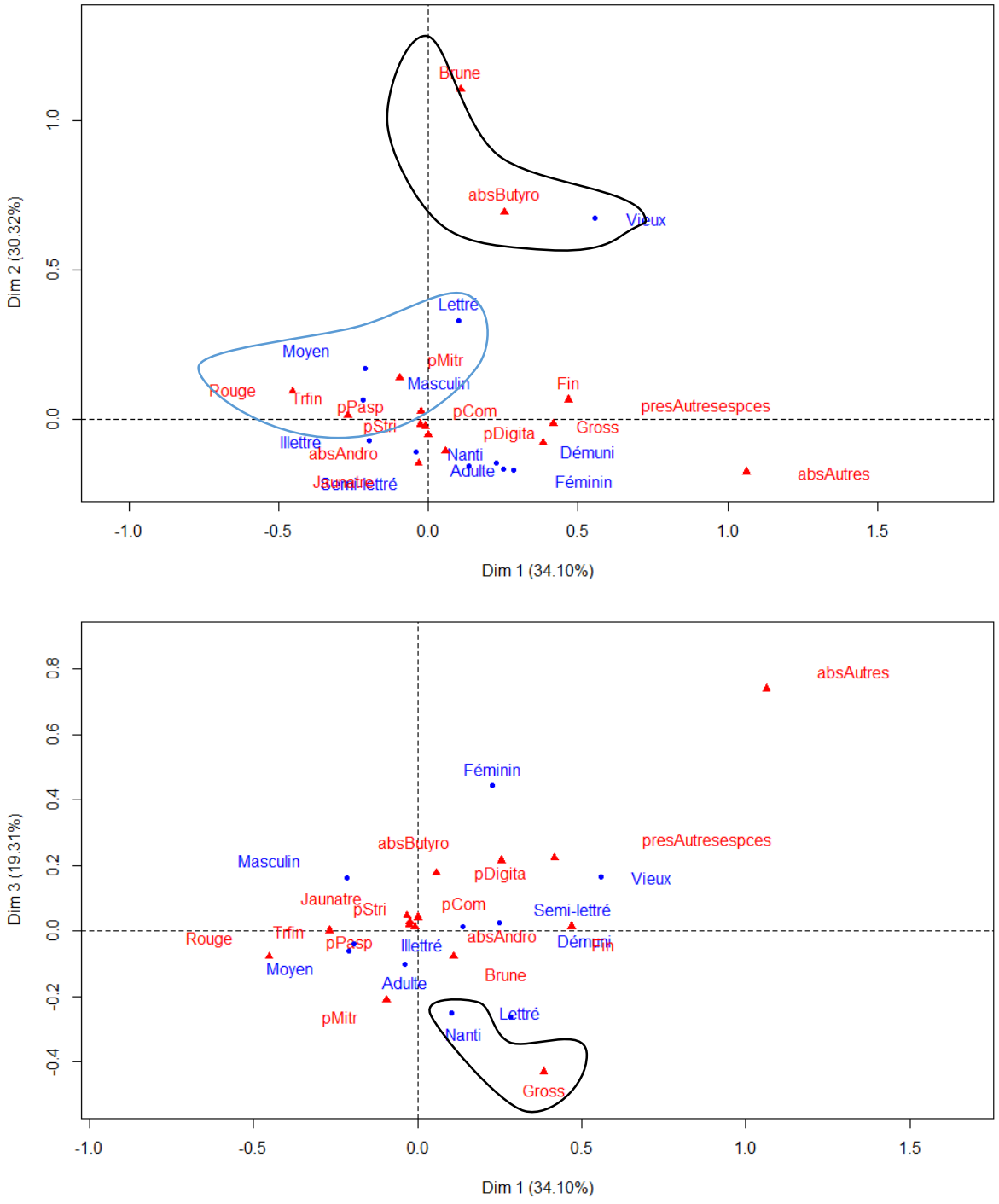
Les indicateurs d'appauvrissement des sols dans le BSM sont présentés sur la figure 21.

La décomposition des inerties de Chi-carré sur les indicateurs de l'appauvrissement du sol montre que les deux premières composantes expriment 64,42 % (>50 %) des informations. Ce qui est suffisant pour garantir la fiabilité d'interprétation des résultats. Mais, avec ces deux premières composantes, il y a des variables qui ne sont pas représentées. Alors, les trois premières composantes qui expriment 83,73 % des informations ont été considérées dans l'interprétation des résultats.

S'agissant de la contribution partielle de chaque point-ligne (caractéristiques socio-démographiques) dans la formation des 3 axes, on constate que les personnes démunies, les personnes à niveau de vie moyen et les personnes illettrées sont représentées sur le premier axe. Les vielles personnes, les personnes lettrées, les hommes et les semi-lettrés sont représentés sur le deuxième axe. Les femmes, les adultes et les personnes nanties sont représentés sur le troisième axe.

Les contributions partielles de chaque point-colonne (indicateurs d'appauvrissement du sol) dans la formation des 3 axes indiquent que texture fine,

texture très fine, couleur rouge, présence ou absence de certaines espèces végétales sont représentées sur le premier axe. Les variables couleur brune, absence de *Vitellaria paradoxa*, couleur jaunâtre et présence de *Striga hermonthica* (Delile) Benth., sont fortement représentées sur le deuxième axe et la variable texture grossière est fortement représentée sur l'axe 3. Les autres indicateurs d'appauvrissement du sol que sont la présence de *Commelina bengalensis* L., de *Mitracarpus hirtus* (L.) DC., de *Digitaria horizontalis* Willd, de *Paspalum scrobiculatum* L., et l'absence d'*Andropogon gayanus* Kunth ne sont représentés sur aucun des trois axes considérés (valeur de contribution inférieure à 0,06). Mais en considérant la valeur de contribution la plus élevée, la présence de *Commelina bengalensis*, la présence de *Mitracarpus hirtus* et l'absence d'*Andropogon gayanus* sont représentées sur l'axe 3 alors que la présence de *Paspalum scrobiculatum* est représentée sur l'axe 1.



Brune= *couleur brune ;* ***Jaunatre***= *couleur jaune ;* ***Rouge***= *couleur rouge ;* ***Trfin***= *texture très fine ;* ***Fin***= *texture fine ;* ***Gross***= *texture grossière;* ***pStri***= *présence de Striga hermonthica;* ***pCom***= *présence de Commelina bengalensis;* ***pMitr***= *présence de Mitracarpus hirtus;* ***pDigita***= *présence de Digitara horizontalis;* ***pPasp***= *présence de Paspalum scrobiculatum ;* ***presAutresespces***= *présence d'autres espèces végétales ;* ***absAndro***= *absence de Andropogon gayanus ;* ***absButyro***= *absence Vitellaria paradoxa;* ***absAutres*** *= absence autres espèces végétales ; Moyen = personne à revenu moyen*

Figure 21 : Indicateurs d'appauvrissement du sol suivant les caractéristiques sociodémographiques

Source : Résultats d'enquêtes, septembre 2017

Le croisement entre les caractéristiques socio-démographiques et les indicateurs d'appauvrissement du sol (Figure 21) montre que pour les individus démunis et les individus à revenu moyen et dans une moindre mesure les illettrés, un sol est appauvri lorsqu'il a une texture fine ou très fine et une couleur rouge. Les vieux, les lettrés et les semi-lettrés et les hommes pensent qu'un sol appauvri a une couleur brune ou jaunâtre. Selon ces derniers, l'absence de *Vitellaria paradoxa* et la présence de *Striga hermonthica* indiquent l'appauvrissement du sol. Les femmes, les adultes et les nantis jugent qu'un sol est appauvri lorsqu'il présente une texture grossière, lorsqu'il y a présence de certaines espèces végétales telles que *Commelina bengalensis*, *Digitara horizontalis*, *Mitracarpus hirtus* et lorsqu'il y a absence d'*Andropogon gayanus*

5.2.2 Causes de l'appauvrissement des sols

Selon les agriculteurs enquêtés, les causes de l'appauvrissement des sols dans le bassin supérieur de Magou peuvent se regrouper en huit points. La figure 22 décrit ces causes.

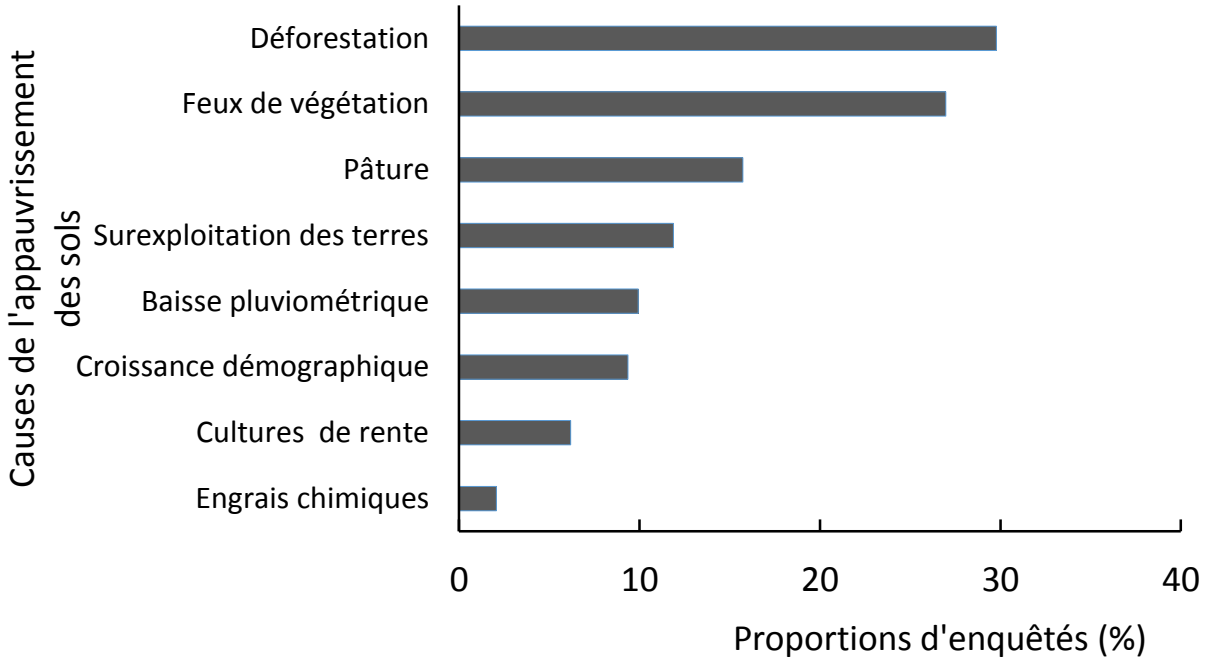


Figure 22 : Causes de l'appauvrissement du sol dans le bassin supérieur de Magou

Source : Résultats d'enquêtes, septembre 2017

Les agriculteurs interrogés pensent majoritairement que les trois premières causes de l'appauvrissement des sols sont respectivement la déforestation (30 %), les feux de végétation (27 %) et la pâture (16 %) (Figure 22). Au total, ces trois causes ont été évoquées par 73 % des enquêtés. D'autres facteurs ont été évoqués par les agriculteurs comme causes de la dégradation des sols. Il s'agit de la surexploitation des terres (12 %), de la baisse de la pluviométrie (10 %), de la forte croissance démographique (9 %), des cultures de rente (6 %) et de l'utilisation abusive des engrais chimiques (2 %).

La perception des enquêtés sur les causes de la dégradation du sol dépend significativement de l'âge de l'enquêté (χ^2= 40,63 ; p<0,0001), du sexe (χ^2= 15,31 ; p=0.0179), de son statut social (χ^2= 113,52 ; p<0,0001) et de son niveau d'instruction (χ^2= 105,96 ; p<0,0001). Le tableau VI présente les résultats de la régression logistique réalisée sur les données.

Tableau VI : Effet de l'âge, du sexe, du statut social et du niveau d'instruction sur la perception des agriculteurs des causes de l'appauvrissement du sol dans le bassin supérieur de Magou

	Surexploitation des terres	**Forte Croissance démographique**	**Déforestation**	**Feux de végétation**	**Pâture**	**Culture de rente**	**Engrais chimique**	**Baisse de la pluviométrie**
	Estimate	Estimate	Estimate	Estimate	Estimate	Estimate	Estimate	Estimate
(Intercept)	-1,2502**	-1,7421***	0,8828*	0,8076*	-0,3148ns	-1,120255**	-2,8959***	-0,63667ns
Adulte	0,0801ns	0,75091ns	-15,719ns	-16,424ns	0,56816ns	-0,005012ns	-0,5238ns	-0,09726ns
Vieux	0,1343**	-1,0111ns	15,4354ns	16,4636ns	-1,0512ns	0,018334ns	0,605*	-0,0884ns
Féminin	-0,6369ns	-0,0242ns	-0,5405ns	-0,0757ns	0,53572ns	0,243418ns	0,1778ns	0,69096ns
Masculin	0,6417ns	0,8831ns	0,1795ns	0,3954ns	-0,2833ns	-0,62202ns	-0,1105ns	-0,96108*
Démuni	-0,0056ns	-0,8478ns	0,6468ns	0,96858ns	0,16394ns	0,872999ns	0,5698ns	-0,12426ns
Moyen	0,6226ns	-0,3971ns	0,5579ns	-1,1009*	0,533ns	0,2471ns	0,2918ns	0,05321ns
Nanti	0,5653ns	0,5619ns	-0,211ns	0,9794***	0,2133ns	-0,880288ns	0,2261ns	0,50065ns
Illettré	0,13981ns	0,10574ns	-1,0573ns	-0,5693ns	-0,02563ns	0,052998ns	0,8329ns	-0,21971ns
Lettré	-0,5656ns	-0,2865ns	-0,3356ns	1,1307*	-0,4075ns	-0,204295ns	0,2783ns	0,79979ns
Semi-lettré	-0,3545ns	0,3815ns	0,881ns	1,2522*	0,4423ns	-0,001736ns	-0,7316ns	0,12387ns
Elevage	0,0689ns	-0,5136ns	0,2611ns	0,29574ns	0,2018ns	-0,651102ns	0,4767ns	-0,14865ns
Produits de plantes sauvages	-0,26108ns	-0,2957ns	-0,2018ns	0,6511ns	-0,4767ns	0,1486ns	1,3404ns	-0,0372ns
Artisanat	0,2982ns	-0,5007ns	-0,6838ns	-0,3488ns	0,7509ns	-0,171724ns	-0,3278ns	-0,63891ns
Petit commerce	-1,031ns	0,4595ns	-0,5675ns	0,15195ns	0,7786ns	-0,197249ns	-0,2435ns	0,80714ns

ns : non significatif au seuil de 5% (P au seuil de 5% (p<0,05) ; ** : hautement significatif au seuil de 1% (p<0,01) ; *** : très hautement significatif au seuil de 1‰ ((p<0,001)
Moyen = Personne à revenu moyen

Source : Résultats d'enquêtes, septembre 2017

De l'analyse des résultats, il ressort que pour les nantis, les lettrés et semi-lettrés, le feu de végétation détermine significativement ($p<0,05$) l'appauvrissement du sol, à l'opposé des agriculteurs à revenus moyens qui pensent le contraire. Les hommes estiment que la baisse de la pluviométrie n'est pas la principale cause de l'appauvrissement du sol. Selon les vieux, la surexploitation des terres et l'utilisation des engrais chimiques sont les déterminants de l'appauvrissement du sol dans le BSM.

5.3. Impacts de l'appauvrissement des sols et stratégies d'adaptation

5.3.1 Impacts de l'appauvrissement des sols

La figure 23 et le tableau VII montrent les impacts de l'appauvrissement des sols dans le BSM.

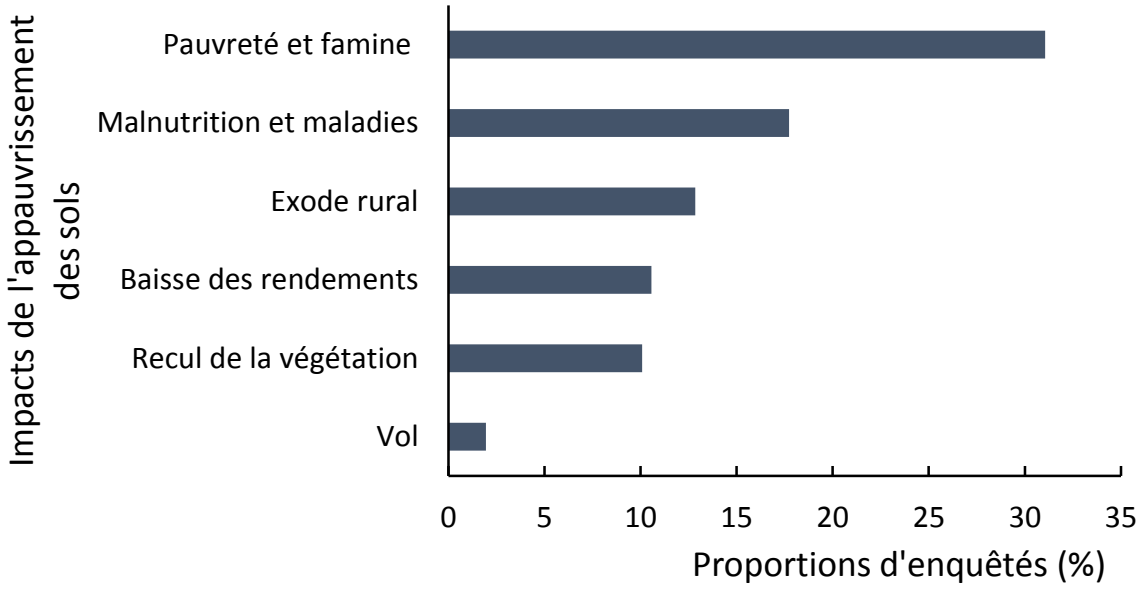


Figure 23 : Impacts de l'appauvrissement des sols dans le bassin supérieur de Magou

Source : Résultats d'enquêtes, septembre 2017

Les enquêtés distinguent six (6) impacts de l'appauvrissement des sols dans le BSM. Il s'agit en premier lieu des impacts socio-économiques comme la pauvreté et la famine (31 %), la malnutrition et les maladies nutritionnelles (18 %), l'exode rural (13 %), la baisse des rendements (11 %), le vol (2 %) et aussi des impacts environnementaux, notamment le recul du couvert végétal (10 %) (Figure 23).

Tableau VII : Effets de l'âge, du statut social, du niveau d'instruction et de l'activité secondaire sur la perception des agriculteurs des impacts de l'appauvrissement des sols

	Baisse des rendements	**Pauvreté et famine**	**Exode rural**	**Malnutrition et maladie**	**Vol**	**Recul de la végétation**
	Estimate	Estimate	Estimate	Estimate	Estimate	Estimate
(Intercept)	-0,52981ns	-1,7421***	-0,02049ns	-0,02149ns	-3,0826***	-0,808403*
Adulte	1,8872*	0,75091ns	0,60509ns	-1,2761ns	15,4764ns	0,65586ns
Vieux	-2,0906ns	-1,0111ns	-0,58636ns	1,07937ns	-15,3857ns	-0,358077ns
Féminin	0,6258ns	-0,02422ns	0,48806ns	-0,4335ns	-0,3414ns	-0,69969ns
Masculin	-0,06854ns	0,8831ns	-0,12596ns	-0,08238ns	-0,156ns	-0,211404ns
Démuni	-0,619ns	-0,8478ns	-0,01643ns	1,4593ns	-0,7317ns	0,19618ns
Moyen	-0,27017ns	-0,3971ns	-1,259**	0,58291**	-1,5121ns	0,303952ns
Nanti	0,24758ns	0,5619ns	-0,13235ns	-0,62052ns	-0,6318ns	0,073958ns
Illettré	-0,073ns	0,10574ns	-0,33305ns	-0,1043ns	0,3002ns	-0,65075ns
Lettré	-0,37011ns	-0,2865**	0,51341**	0,0339ns	1,9027*	0,104774ns
Semi-lettré	0,25988ns	0,3815ns	0,40213ns	-0,01824ns	1,6412ns	-0,001632ns
Elevage	0,30089ns	-0,9947*	0,947ns	0,09341ns	0,1412ns	0,65586ns
Produits de plantes sauvages	-2,1954ns	0,04329ns	-0,1306ns	-0,19107ns	-0,5313ns	1,259**
Artisanat	-0,3008ns	0,73169ns	- 0,96108*	0,09341ns	-0,1412ns	0,073958ns
Petit commerce	0,1795ns	0,3954ns	-0,2833ns	-0,62202ns	-0,1105ns	0,24978ns

ns : non significatif au seuil de 5% (p>0,05) ; * significatif au seuil de 5% (p<0,05) ; ** : hautement significatif au seuil de 1% (p<0,01) ; *** : très hautement significatif au seuil de 1‰ ((p<0,001) ; Moyen = personne à revenu

Source : Résultats d'enquêtes, septembre 2017

Les déterminants de la perception des agriculteurs enquêtés sur les impacts socio-économiques et environnementaux de l'appauvrissement des sols sont : l'âge de l'enquêté (χ^2= 19,42 ; p=0,007) ; le statut social (χ^2= 114,09 ; p<0,0001), le niveau d'instruction (χ^2= 60,23 ; p<0,0001) et l'activité secondaire (χ^2= 14,3155 ; p=0,0034). Les agriculteurs de statut moyen pensent que la malnutrition et les maladies sont les conséquences de l'appauvrissement des sols ; lequel appauvrissement qui ne devrait pas pousser à l'exode rural selon ceux-ci et les agiculteurs qui pratiquent l'artisanat comme activité secondaire (Tableau VII). Pour les individus adultes, la baisse des rendements agricoles est la principale conséquence de l'appauvrissement des sols alors que selon les individus lettrés, ce sont l'exode rural et le vol qui sont les principales conséquences sociales de l'appauvrissement des sols. Les agriculteurs lettrés et ceux éleveurs estiment que l'appauvrissement du sol ne devrait pas être à l'origine de la pauvreté et de la famine. En ce qui concerne les agriculteurs qui exploitent les produits de plantes sauvages comme activité secondaire, ils pensent que l'appauvrissement des sols peut causer le recul du couvert végétal.

5.3.2 Stratégies d'adaptation à l'appauvrissement des sols

Les stratégies d'adaptation à l'appauvrissement des sols dans le bassin supérieur de Magou sont montrées sur la figure 24 et le tableau VIII.

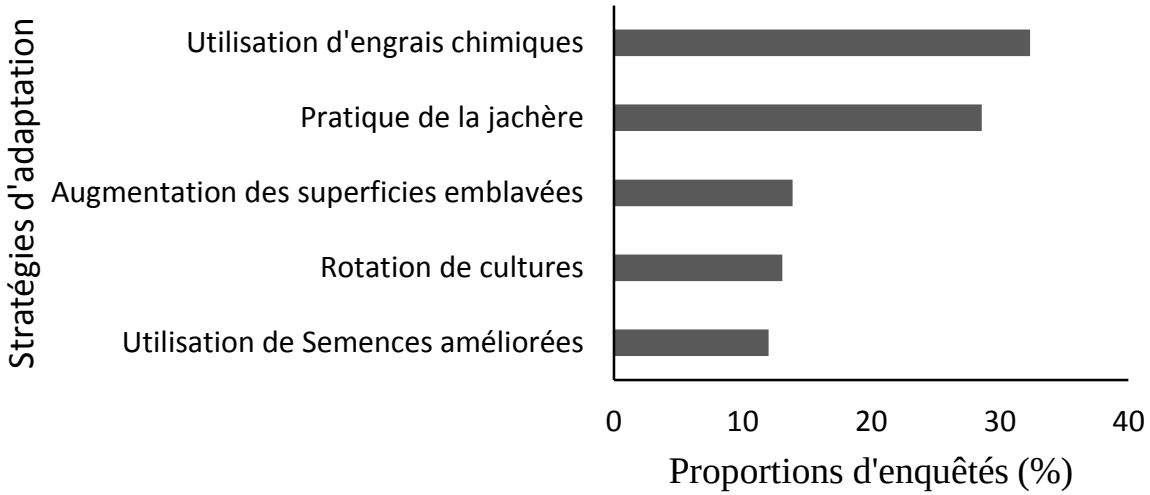


Figure 24 : Stratégies d'adaptation à l'appauvrissement des sols dans le bassin supérieur de Magou

Source : Résultats d'enquêtes, septembre 2017

L’analyse de la figure 24 montre que les agriculteurs utilisent diverses stratégies pour faire face à l’appauvrissement des sols dans le bassin supérieur de Magou. La première stratégie est l’utilisation d’engrais chimique (32,35 %) suivie de la pratique de la jachère (28,61 %). Certains augmentent les superficies emblavées (13,90 %), d’autres procèdent par la rotation des cultures (13,10 %) ou encore l’adoption de semences améliorées (12,03 %) pour s’adapter à l’appauvrissement des sols. Les engrais chimiques utilisés sont $N_{14}P_{18}K_{18}S_5B_1$ pour le coton et $N_{13}P_{17}K_{17}S_6B_{1/2}$ $Zn_{3/2}$ pour le maïs.

Tableau VIII: Effets de l'âge, du sexe, du niveau d'instruction, du statut social et de l'activité secondaire sur la perception des agriculteurs des stratégies d'adaptation à l'appauvrissement des sols.

	Jachère	**Engrais chimiques**	**Augmentation des superficies emblavées**	**Rotation**	**Semences améliorées**
	Estimate	Estimate	Estimate	Estimate	Estimate
(Intercept)	0,47245ns	0,15759ns	-2,1828***	2,3456 ***	-2,1328***
Adulte	-2,25464**	1,8342*	1,9553**	-1,2367 **	-1,9825**
Vieux	2,25464**	-1,8342*	-1,9553**	1,2367 **	1,9825**
Féminin	-0,07278ns	-0,4051ns	-1,2847*	0,85734	-0,4478ns
Masculin	0,07278ns	0,40509ns	1,2847*	0,85734	0,4478ns
Démuni	0,30089ns	-0,7317ns	0,947ns	0,09341ns	0,1412ns
Moyen	-2,1954ns	0,04329ns	-0,1306ns	-0,19107ns	-0,5313ns
Nanti	-0,3008ns	0,73169ns	-0,947ns	0,09341*	-0,1412ns
Illettré	-1,41154**	0,8887*	-0,3205ns	-0,02193 *	-1,2409*
Lettré	0,23093ns	1,04556***	-0,4094ns	0,00220 **	0,4456ns
Semi-lettré	1,4115**	-0,88872*	0,3205ns	0,02193 *	1,2409*
Elevage	1,59208**	0,96148**	-1,98849**	0,60509ns	1,36614*
Produits de plantes sauvages	0,89464*	0,10242ns	0,2317ns	-0,58636ns	1,9741**
Artisanat	0,415ns	-0,76776ns	-1, 16681*	0,48806ns	1,08225*
Petit commerce	0,94963*	1,6306***	-1,22049ns	-0,12596ns	0,44751ns

ns : non significatif au seuil de 5% (p>0,05) ; * significatif au seuil de 5% (p<0,05) ; ** : hautement significatif au seuil de 1% (p<0,01) ; *** : très hautement significatif u seuil de 1‰ ((p<0,001) ; Moyen = personne à revenu moyen

Source : Résultats d'enquêtes, septembre 2017

Les déterminants de la perception des agriculteurs enquêtés sur les stratégies d'adaptation sont l'âge (χ^2= 27,7873 ; p<,0001), le sexe (χ^2= 22,3147 ; p=0,0002), le niveau d'instruction (χ^2= 128,1025 ; p<,0001), le statut social (χ^2= 26,2713 ; p=0,0009) et l'activité secondaire (χ^2= 25,0713 ; p=0,0007) (Tableau VIII). Les vieux, les semi-lettrés, les éleveurs et les petits revendeurs déclarent mettre souvent les terres en jachère pour gérer la fertilité du sol alors que les adultes et les illettrés pensent que cette technique affecte négativement les rendements agricoles. Les adultes, les illettrés, les lettrés et les éleveurs utilisent les engrais chimiques pour améliorer la fertilité du sol alors que les vieux et les semi-lettrés considèrent cette pratique comme dévastatrice du sol. L'augmentation des superficies emblavées comme stratégie d'adaptation à l'appauvrissement des sols concerne beaucoup plus les hommes et les adultes au moment où les vieux, les femmes, les éleveurs et les artisans la jugent d'inopérante pour la même cause. Parlant de la rotation des cultures, ce sont les vieux, les nantis, les lettrés et les semi-lettrés qui la pratiquent tandis que les adultes et les illettrés la désapprouvent pour gérer la fertilité du sol. En ce qui concerne l'usage des semences améliorées pour faire face à l'appauvrissement du sol, les vieux, les semi-lettrés, les éleveurs et les artisans sont les plus nombreux alors que les adultes et les illettrés estiment que cette solution n'est pas la meilleure.

Conclusion

L'appauvrissement des sols est la principale difficulté rencontrée par les agriculteurs du bassin supérieur de Magou. Il est difficile, à partir de leurs déclarations, d'apprécier l'état de fertilité d'un sol sur la base de la texture et de la couleur dans le BSM. Mais la présence de certaines espèces végétales (*Striga hermontica, Commelina bengalensis, Mitracarpus hirtus, Digitara horizontalis et Paspalum scrobicula*) et l'absence d'autres (*Vitellaria paradoxa, Andropogon gayanus*) indiquent aisément qu'un sol est appauvri dans ce bassin. Les agriculteurs enquêtés pensent majoritairement que les trois premières causes de l'appauvrissement des sols sont respectivement la déforestation et les feux de

végétation aux fins agricoles puis la pâture ; pratiques qui impactent négativement le milieu aux plans socio-économique et environnemental. Les stratégies utilisées pour faire face à l'appauvrissement des sols sont entre autres l'usage d'engrais chimique suivi de la pratique de la jachère. L'influence des activités agricoles sur la fertilité, surtout organique, des sols du bassin sera abordée dans le chapitre 6.

CHAPITRE VI : TENEURS ET STOCKS DE CARBONE ORGANIQUE EN FONCTION DES MODES D'UTILISATION DES TERRES, DE LA TOPO-SEQUENCE, DE LA PROFONDEUR ET DE LA TEXTURE

L'évolution des stocks organiques des sols est un indicateur à prendre en compte dans le jugement sur la durabilité des agroécosystèmes et la protection de l'environnement. Après la description morphologique des sols sur chaque site, ce chapitre évalue les teneurs et stocks de carbone organique du sol en fonction des modes d'utilisation des terres, de la topo-séquence, de la profondeur, de la texture et des sites.

6.1 Description morphologique des sols des sites étudiés

6.1.1 Site de Ouankou

A Ouankou, il a été remarqué des sols ferrugineux tropicaux lessivés sans concrétions. Les profils qui donnent les caractéristiques morphologiques de ces sols sont décrits ci-dessous :

- **Profil 1 :** Sol ferrugineux tropical lessivé sans concrétions sur micaschiste et schiste quartzeux du Buem avec 30 cm de profondeur utile.

0-20 cm : Horizon de couleur brune 10R : 4/2. Texture Limono-sableuse (LS) et structure grumeleuse très poreuse. Très peu de racines fines et très fines. Activité biologique assez intense ; transition distincte et régulière.

20-35 cm : Horizon de couleur grise 5GY5/1. Texture Argilo-limoneuse, structure massive peu poreuse, presque pas de racines. Activité biologique faible. Transition abrupte.

35-55 cm : Horizon de couleur jaune tacheté de rouge 7,5 YR 7/3. Texture argileuse. Structure massive, activité biologique faible. Transition distincte.

55 - 120 cm : Horizon de couleur jaune7, 5 YR 8/3. Texture argileuse. Structure massive ; tendance à l'induration, peu poreux, pas de racines. Activité biologique absente.

- **Profil 2** : Sol ferrugineux tropical lessivé sans concrétions sur micaschiste et schiste quartzeux avec 30 cm de profondeur utile.

0-10 cm : Horizon de couleur brune (7,5YR 4/2). Texture limono-sableuse. Structure graveleuse élémentaire, abondantes racines fines. Activité biologique assez intense ; transition distincte et irrégulière.

10-20 cm : Horizon de couleur brun clair (7,5 YR7/3), texture limono-argilo-sableuse graveleuse. Structure massive et présence d'activité biologique avec quelques radicelles. Transition distincte et irrégulière.

20-50 cm : Horizon de couleur brun clair (7,5 YR 7/3). Faible activité biologique et présence moyenne de radicelles. Transition distincte.

50 - 70 cm : Horizon de couleur rousse 2,5YR : 4/4. Structure compacte

70-105 cm : Horizon bariolé de couleur brune, rouge brun et noire. Une apparition de tâches de rouille caractérisant la présence de fer. Texture argileuse très graveleuse et caillouteuse. Structure massive comportant des cailloux indicateurs de la proximité de la roche mère.

105 -150 cm : Horizon de couleur 5YR 7/1. Structure compacte mais friable

- **Profil 3 :** Sol ferrugineux tropical lessivé sans concrétions sur micaschiste et schiste quartzeux avec 60 cm de profondeur utile.

0-20 cm : Horizon meuble de couleur brun rougeâtre (7,5YR 4/2), texture limono sableuse graveleuse. Structure élémentaire, poreux, assez nombreuses racines, activité biologique intense. Transition distincte et irrégulière.

20-60 cm : Horizon argilo-sableux graveleux de couleur brune (5YR 4/3) avec quelques taches grises. Présence de taches d'oxyde de fer et de radicelles marquant quelques faibles activités biologiques.

60-90 cm : Horizon argileux de couleur brun-jaunâtre (7,5 YR 5/3) avec des taches grises indiquant le degré de réduction du fer. Structure massive avec quelques racines. Activité biologique faible.

90-120 cm : Horizon argileux tacheté de rouge et de gris. De structure massive, presque pas de racine, activité biologique absente.
120-150 cm : Horizon de couleur brun clair (7,5YR 7/2) à texture argileuse. La présence de l'eau empêche toute observation au-delà de cette profondeur.

6.1.2 Site de N'Dahonta

A N'Dahonta, il a été remarqué des sols ferrugineux tropicaux lessivés à concrétions. Les profils qui donnent les caractéristiques morphologiques de ces sols sont décrits ci-dessous :

- **Profil 1 :** Sol ferrugineux tropical lessivé à concrétions sur schiste quartzeux du Buem avec 60 cm de profondeur utile.

0-25 cm : Horizon meuble de couleur brune 10YR 5/1 à texture limono-sableuse poreuse. Assez nombreuses racines avec une activité biologique intense. Transition distincte et régulière.
25-35 cm : Horizon brun clair sablo-limoneux, poreux ; structure polyédrique su angulaire fine. Assez nombreuses racines fines ; activité biologique peu intense ; transition distincte et régulière.
35-60 cm : Horizon concrétionné, limon argilo-sableux, bariolé, carapacé. Structure massive ; activité biologique très faible.
60-120 cm : Horizon induré de couleurs rougeâtre, grisâtre, orange et brune très compact composé de latérites bien concrétionnées ; des mélanges de couleurs jaune et de cendre annoncent l'imminence de l'argile ; absence totale d'activité biologique.
120-200 cm : Horizon très argileux de couleur gris-jaunâtre. Induré, il ne montre pas d'activité biologique mais présente beaucoup d'eau.

- **Profil 2 :** Sol ferrugineux tropical lessivé à concrétions sur schiste quartzeux du Buem avec 40 cm de profondeur utile.

0-15 cm : Horizon meuble de couleur brun sombre 10YR 4/1 à texture sablo-limoneuse. Les nombreuses racines fines et moyennes et des décomposeurs (vers

de terre et autres) témoignent d'une importante activité biologique. Transition distincte et régulière.

15-25 cm : Horizon meuble de couleur 7,5YR 7/2 à texture limono-sableuse et structure polyédrique. Peu de racines et activité biologique assez intense. Transition distincte et régulière.

25-40 cm : Horizon peu compact (7,5YR 7/3) tacheté de rouge. De texture limon argilo-sableux, on note des radicelles et une activité biologique moyenne.

40-65 cm : Horizon carapacé avec un mélange de couleurs rouge et grise 7,5YR 6/1 ; structure massive, pas d'activité biologique et présence d'importantes traces de fer.

65-100 cm : Horizon induré (7,5YR 8/5) ; présence de quelques taches de rouille et de quelques cailloux caractéristiques de la roche mère.

100-135 cm : Horizon très compact de couleur jaune un mélangé aux taches rouges et noires caractéristiques du fer ; abondance de cailloux annonçant l'imminence de la roche mère.

135-155 cm : Horizon très compact de couleur jaune ; la roche mère affleure avec présence de latérite et quelques traces d'eau.

- **Profil 3 :** Sol ferrugineux tropical lessivé à concrétions sur schiste quartzeux du Buem avec 45 cm de profondeur utile.

0-20 cm : Horizon de couleur gris sombre 5Y6/1, texture limon argilo-sableux, structure massive. Nombreuses racines et quelques vers de terre indiquant une importante activité biologique.

20- 45 cm : Horizon graveleux peu meuble de couleur grise 2,5GY6/2. Texture limon-argileux et présence de latérite et de quelques radicelles avec une activité biologique moindre.

45-100 cm : Horizon très graveleux, de couleur rougeâtre tacheté de gris caractéristiques de fer réduit, bien concrétionnés avec absence totale de racine et de toute autre activité biologique.

100-120 cm : Horizon graveleux en voie d'induration de couleur jaune avec quelques taches cendres ; aucune activité biologique.

120-140 cm : Horizon argileux graveleux de couleur jaune avec quelques taches blanches.

140-160 cm : Horizon argileux graveleux de couleur jaune avec quelques taches rouges et présence d'oxyde de fer.

160-200 cm : Horizon argileux graveleux de couleur jaune 5Y7/4 avec quelques taches blanches et présence de quelques latérites.

6.1.3 Site de Pingou

A Pingou, il a été remarqué des sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés. Les profils qui donnent les caractéristiques morphologiques de ces sols sont décrits ci-dessous :

- **Profil 1 :** Sol ferrugineux tropical induré sur matériau colluvial issu de jaspe avec 40 cm de profondeur utile.

0-15 cm : Horizon meuble de couleur brune 7,5YR5/2, texture sablo-limoneuse graveleuse, structure élémentaire. Nombreuses racines ; activité biologique intense.

15- 40 cm : Horizon meuble de couleur brun foncé 7,5YR5/3, texture limon sableux graveleuse ; activité biologique avec des racines bien visibles.

40-80 cm : Horizon brun rouge 7,5YR4/3, texture argilo-limoneuse très compact tacheté de noires caractéristiques de l'oxyde de fer et composé de latérites bien concrétionnées avec absence totale de racine et de toute autre activité biologique.

80-150 cm : Horizon induré de couleur jaune avec beaucoup de latérites et présence d'eau.

- **Profil 2 :** Sol ferrugineux tropical induré sur matériau colluvial issu de jaspe avec 20 cm de profondeur utile.

0-20 cm : Horizon de couleur brun sombre 7,5YR3/3. Texture limon-sableux graveleuse. Présence de quelques racines d'herbes, d'une activité biologique assez intense et d'assez nombreux graviers de curasse.

20- 30 cm : Horizon brun rouge 5YR4/2, texture limono-argileuse graveleuse, structure massive, activité biologique faible.

30-150 cm : Horizon très 5YR5/6 de couleur rouge tacheté de rouille. Horizon induré indiquant la proximité de la roche mère. Aucune trace d'activité biologique n'est remarquable.

- **Profil 3 :** Sol ferrugineux tropical induré sur matériau colluvial issu de jaspe avec 10 à 25 cm de profondeur utile.

0-10 cm : Horizon meuble de couleur brun rouge (7,5YR4/3), texture limon argileux graveleuse. La forte présence des racines et de vers de guinée indique une activité biologique intense.

10- 25 cm : Horizon meuble de couleur brun foncé (7,5YR4/6), texture limon argileux graveleuse. La présence des fourmis marque la vitalité des activités biologiques.

25-150 cm : Horizon de couleur rouge induré indiquant la proximité de la roche mère. Présence de nappe.

6.2 Variation de la teneur en carbone organique du sol

6.2.1 Variation de la teneur en carbone en fonction de la profondeur et des modes d'utilisation des terres

La figure 25 montre l'évolution de la teneur en carbone organique du sol en fonction de la profondeur dans les différents modes d'utilisation des terres étudiés au niveau du bassin supérieur de Magou.

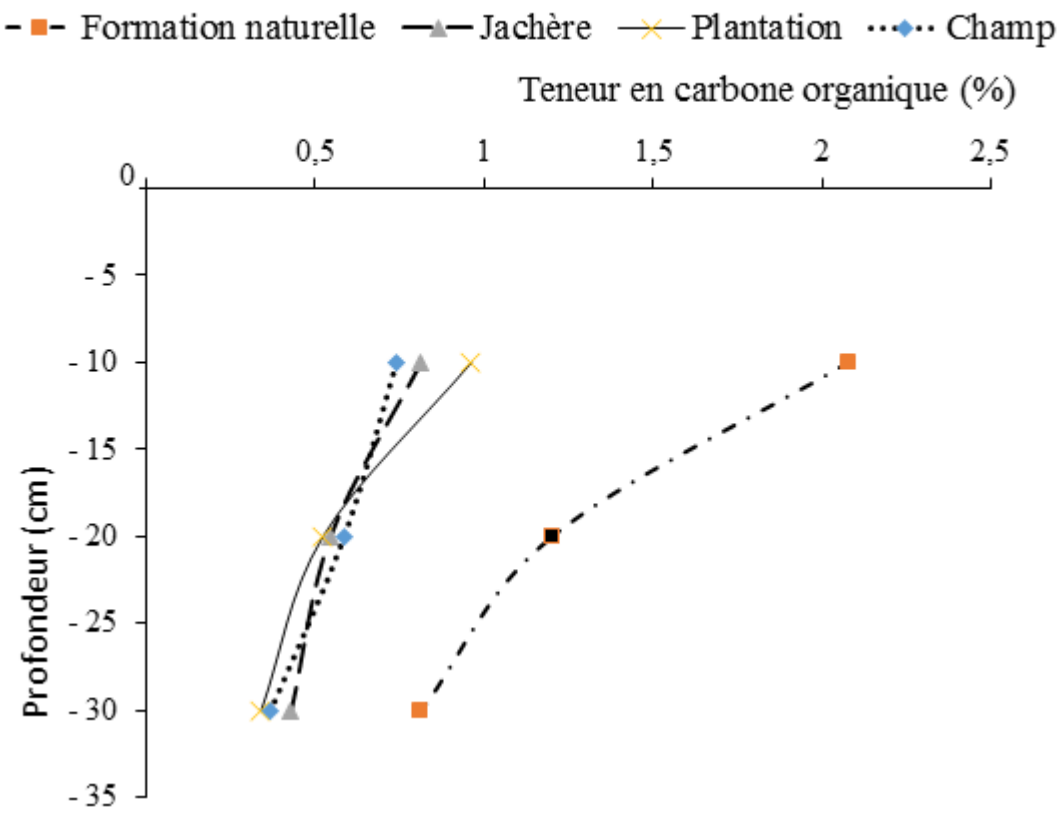


Figure 25: Evolution de la teneur en COS en fonction de la profondeur et des modes d'utilisation des terres dans le bassin supérieur de Magou

Source : Résultats d'analyse, novembre 2017

La teneur moyenne en carbone organique du sol dans le bassin supérieur de Magou est faible (0,78 %). Dans l'ensemble des MUT, on constate que la teneur maximale en carbone organique du sol est obtenue en surface (0-10 cm) et qu'il y a une décroissance de la teneur en COS avec la profondeur. Dans les formations naturelles, la décroissance est bien marquée. En effet dans ce mode d'utilisation des terres, la teneur en COS a décru, passant de 2,1 % à 1,2 % entre les profondeurs 0-10 cm et 10-20 cm et de 1,2 % à 0,8 % entre 10-20 cm et 20-30 cm. Dans les plantations, les champs et les jachères, la teneur en COS a décru respectivement de 66 % ; 50 % et 48 % entre la surface et 30 cm de profondeur.

6.2.2 Variation de la teneur en carbone en fonction de la profondeur, de la topo-séquence, de la texture et des modes d'utilisation des terres

Les tableaux IX, X, XI, XII et XIII présentent la variation de la teneur en carbone en fonction de la profondeur, de la topo-séquence, de la texture et des modes d'utilisation des terres dans le bassin supérieur de Magou.

Tableau IX : Teneur en carbone organique du sol par classes texturales, par mode d'utilisation des terres, par profondeur et par topo-séquence

Modalités	Argile (%)	Limon (%)	Sable (%)	% C	Classe texturale
Mode d'utilisation des terres					
Formation naturelle	12,31	26,17	61,51	1,37	Limon sableux
Jachère	9,77	22,71	67,51	0,60	Limon sableux
Plantation	8,26	17,66	74,08	0,61	Limon sableux
Champ	8,75	23,41	67,84	0,56	Limon sableux
Profondeur					
0-10 cm	8,678	19,485	68,353	1,150	Limon sableux
10-20 cm	7,868	15,073	76,446	0,862	Sable limoneux
20-30 cm	7,580	15,159	75,452	0,603	Sable limoneux
Topo-séquence					
Haut de pente	11,572	21,354	69,060	1,085	Limon sableux
Mi- pente	8,873	19,537	70,326	0,866	Limon sableux
Bas de pente	14,153	28,503	62,861	1,272	Limon sableux

Source : Résultats d'analyse, novembre 2017

Tableau X : Corrélations entre fractions granulométriques et % C dans les Formations naturelles

	Argile	Limon	Sable
Limon	0,138ns		
Sable	-0,563ns	-0,896ns	
C	**0,864****	0,131ns	-0,496ns

Source : Résultats d'analyse, novembre 2017

Tableau XI : Corrélations entre fractions granulométriques et % C dans les plantations

	Argile	Limon	Sable
Limon	0,044ns		
Sable	-0,496ns	**-0,889****	
C	0,164ns	0,037ns	0,200ns

Source : Résultats d'analyse, novembre 2017

Tableau XII : Corrélations entre fractions granulométriques et % C dans les Jachères

	Argile	Limon	Sable
Limon	-0,126ns		
Sable	-0,422ns	**-0,846****	
C	-0,076ns	0,272ns	-0,208ns

Source : Résultats d'analyse, novembre 2017

Tableau XIII : Corrélations entre fractions granulométriques et % C dans les champs

	Argile	Limon	Sable
Limon	0,104ns		
Sable	-0,546ns	**-0,890****	
C	-0,479ns	0,630ns	-0,311ns

Source : Résultats d'analyse, novembre 2017

Le tableau IX montre que la teneur en carbone augmente avec le taux de la fraction fine (argile, limons). De même, cette teneur varie en fonction des modes d'utilisation des terres, de la profondeur et de la topo-séquence. Elle est plus élevée dans les formations naturelles (1,37 %), en surface de 0-10 cm (1,15 %) et en bas de pente (1,27 %). Dans les formations naturelles et dans les plantations (Tableaux X et XI), la teneur en carbone est positivement corrélée avec la teneur en argile. Mais cette corrélation n'est pas significative dans les plantations. Dans les champs et les jachères, il est noté une corrélation négative non significative entre la teneur en argile et le taux de carbone (Tableaux XII et XIII).

6.3 Stocks de carbone organique du sol

6.3.1 Variation du stock de carbone organique des sols en fonction des modes d'utilisation des terres, de la topo-séquence et de la profondeur

6.3.1.1 Effets des modes d'utilisation des terres, de la profondeur et de la topo-séquence sur les stocks de carbone

Le tableau XIV présente les résultats de l'analyse de variance de l'effet des modes d'utilisation des terres, de la topo-séquence et de la profondeur sur le stock de carbone organique des sols.

Tableau XIV : Moyennes et écarts-types du stock de COS par mode d'utilisation des terres, par topo-séquence et par profondeur.

Modalités	Moyenne (t/ha)	Erreur standard	Dégré de liberté	F observé	p-value
Mode d'utilisation des terres					
Formation naturelle	29,51 a	6,09	3	3,34	0,04
Plantation	21,49 ab	2,99			
Jachère	18,77 ab	1,88			
Champ	16,76 b	2,35			
Topo-séquence					
Haut de pente	21,83 a	1,63			
Mi-pente	18,44 b	0,88			
Bas de pente	24,63 a	2,79	2	1,37	0,27
Profondeur					
0-10 cm	**11,63 a**	**1,33**	**2**	**31,8**	**0,0001**
10-20 cm	**5,78 b**	**0,52**			
20-30 cm	**4,23 b**	**0,33**			

Les chiffres suivis de la même lettre pour chaque facteur ne sont pas significativement différents au seuil de 5 %.

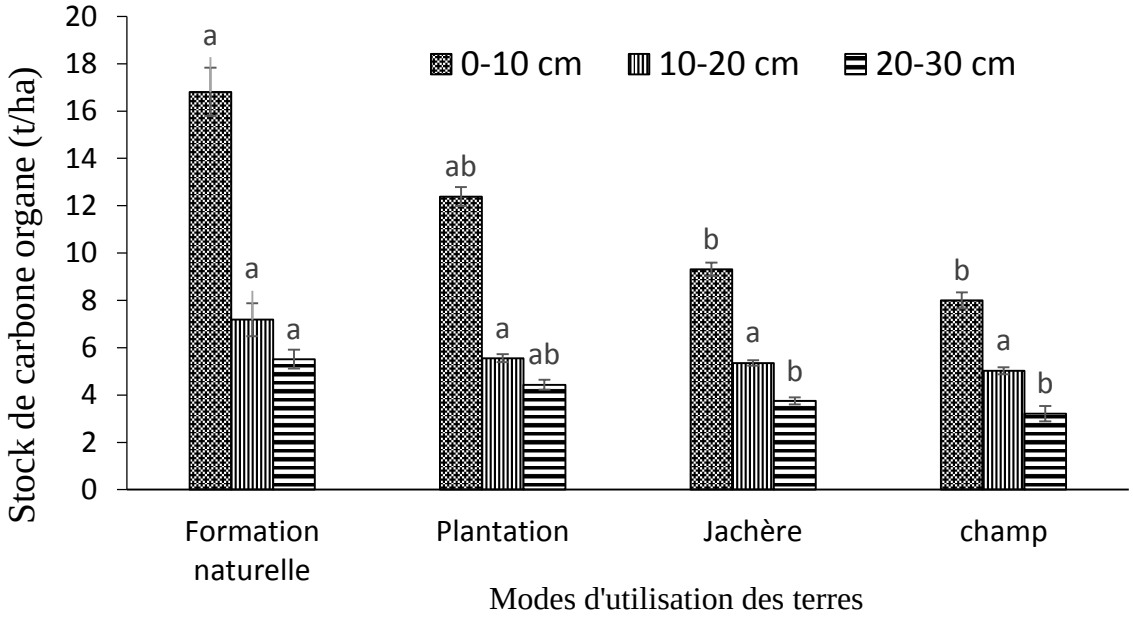
Source : Résultats d'analyse, novembre 2017

Il ressort de ces résultats que le MUT et la profondeur ont significativement ($p < 0,05$) influencé le stock de carbone organique des sols (Tableau XIV). La comparaison des moyennes montre que le plus fort stock de carbone organique a été obtenu dans les formations naturelles (29,51 t/ha) et le plus faible stock dans les champs (16,76 t/ha). Le stock de carbone organique du sol a significativement décru entre la profondeur 0-10 cm et les autres profondeurs mais reste constant entre la profondeur 10-20 cm et la profondeur 20-30 cm. Par ailleurs, entre ces deux profondeurs, il y a une différence arithmétique. Le stock de carbone

organique entre le haut de pente et le bas de pente n'est pas significativement (p>0,05) différent mais le plus fort stock a été obtenu en bas de pente (24,63 t/ha) contre 21,83 t/ha en haut de pente. Par contre, la différence est significative à mi-pente (18,44 t/ha) où le stock est le plus faible.

6.3.1.2 Variation du stock de COS suivant la profondeur et le mode d'utilisation des terres

La figure 26 présente l'effet interactif du mode d'utilisation des terres (MUT) et de la profondeur sur le stock de COS.



Pour la même profondeur, les histogrammes portant la même lettre ne sont pas significativement différents au seuil de 5%.

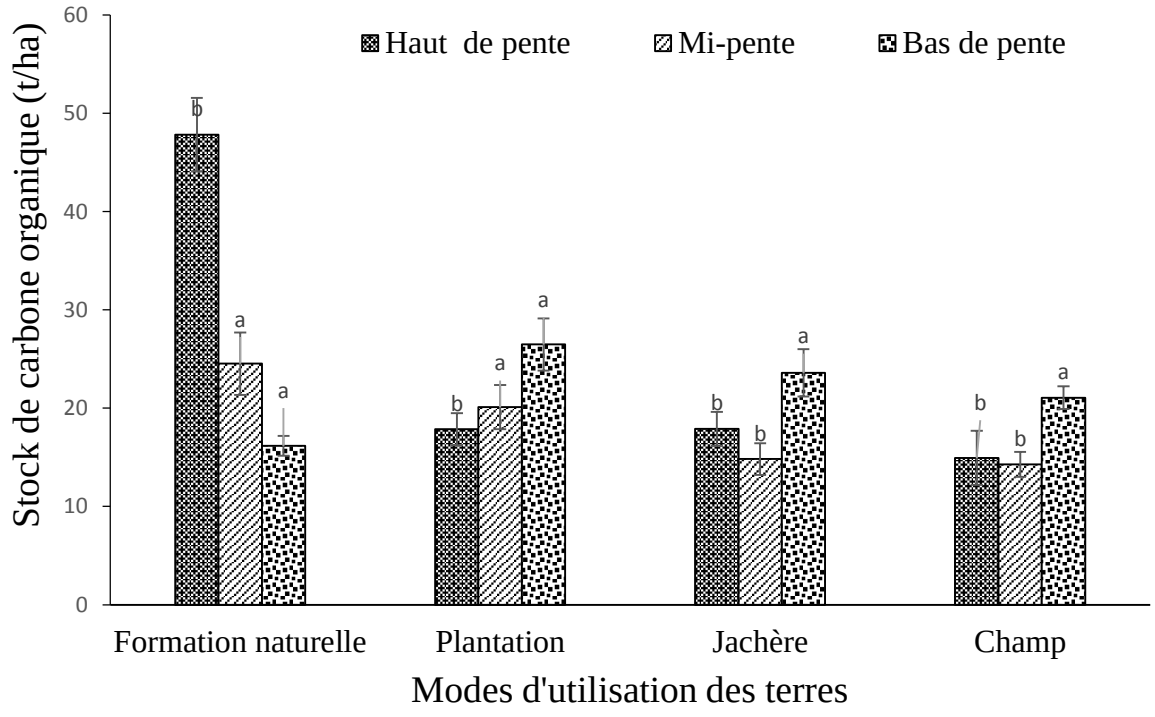
Figure 26 : Effet combiné du mode d'utilisation et de la profondeur sur le stock de COS.
Source : Résultats d'analyse, novembre 2017

De l'annalyse de la figure 26, il ressort que pour tous les MUT, la profondeur 0-10 cm a donné le stock de COS le plus élevé. Sur cette profondeur (0-10 cm), le stock de COS des formations naturelles (16,81 t/ha) est significativement supérieur à ceux des plantations (12,39 t/ha), des jachères (9,31 t/ha) et des champs (7,99 t/ha). Au niveau de la profondeur 10-20 cm, la différence n'est pas significative entre les différents MUT. Néanmoins, le stock de COS des

formations naturelles est 1,42 fois supérieur à celui des autres modes d'utilisation des terres. Pour ces derniers, les stocks de COS obtenus sont de 5,55 t/ha ; 5,35 t/ha et 5,026 t/ha respectivement pour les plantations, la jachère et les champs. La profondeur 20-30 cm a eu un effet similaire. Les formations naturelles ont donné un stock de COS significativement supérieur à celui des autres MUT. La différence n'est pas significative entre les champs et les jachères pour cette profondeur.

6.3.1.3 Variation du stock de carbone organique des sols suivant la topo-séquence et les modes d'utilisation des terres

La figure 27 montre la variation du stock de carbone organique des sols suivant la topo-séquence et les modes d'utilisation des terres.



Pour la même position, les histogrammes portant la même lettre ne sont pas significativement différents au seuil de 5%.

Figure 27 : Effet combiné du mode d'utilisation des terres et de la topo-séquence sur le stock de COS
Source : Résultats d'analyse, novembre 2017

Les stocks de COS concernant l'effet interactif du mode d'utilisation des terres et de la topo-séquence sur le stock de carbone organique des sols ont été calculés sur la profondeur 0-30 cm. L'analyse statistique montre que l'effet est significatif au seuil de 5 %. En haut de pente, les stocks de COS dans les formations naturelles, les plantations, les jachères et les champs sont dans cet ordre de 16,16 t/ha ; 17,87 t/ha ; 17,89 t /ha et de 14,93 t /ha. A mi-pente, les formations naturelles, les plantations, les jachères et les champs ont respectivement stocké 24,52 t/ha ; 20,10 t/ha ; 14,83 t/ha et 14,28 t/ha de carbone organique dans le sol sur 0-30 cm. En bas de pente, les formations naturelles, les plantations, les jachères et les champs ont respectivement stocké 47,83 t/ha ; 26,48 t/ha ; 23,59 t/ha et 21,07 t/ha de carbone organique dans le sol. Quel que soit le mode d'utilisation des terres, le stock de COS le plus élevé a été obtenu en bas de pente et le plus faible en haut de pente ou à mi-pente (Figure 27). Toutefois, du point de vue arithmétique, le stock le plus faible est à mi-pente dans les jachères (14,83 t/ha) et dans les champs (14,28 t/ha) ; mais statistiquement la différence n'est pas significative dans ces deux MUT.

6.3.2 Variation du stock de carbone organique des sols en fonction de la texture, des modes d'utilisation des terres et des sites

6.3.2.1 Variation du stock de COS en fonction de la texture et des modes d'utilisation des terres

La figure 28 met en évidence la variation du stock de COS en fonction de la texture (argile + Limon) et des modes d'utilisation des terres. Quant au tableau XV, il présente les relations entre le stock de carbone organique et la proportion d'argile et de limon dans les unités d'occupation.

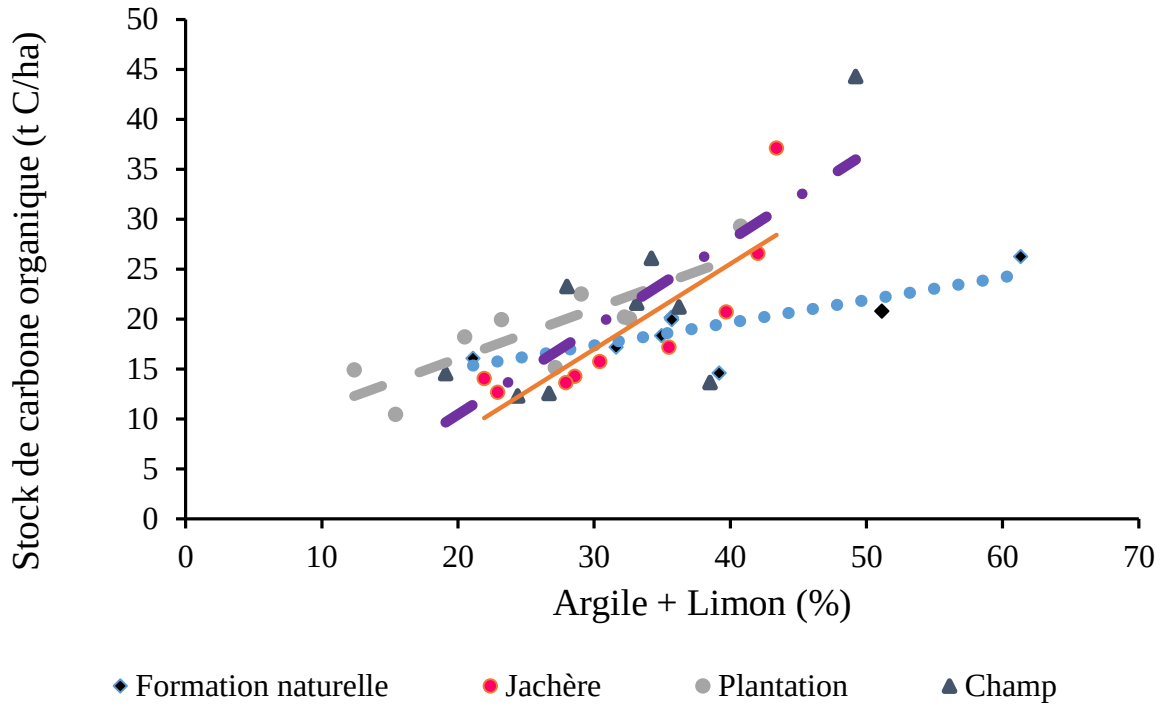


Figure 28 : Variation du stock de COS en fonction de la texture (argile + Limon) et des modes d'utilisation des terres

Source : Résultats d'analyse, novembre 2017

Tableau XV: Relation entre le stock de carbone organique et la proportion d'argile et de limon dans les unités d'occupation

Mode d'utilisation des terres	Equations	R^2
Champ	Sco (t C/ha) = 0,8731(Argile+limons) - 6,9956	0,5897
Jachère	Sco (t C/ha) = 0,8538 (Argile+limon) - 8,6032	0,7238
Plantation	Sco (t C/ha) = 0,4958 (Argile+limon) + 6,1498	0,7007
Formation naturelle	Sco (t C/ha) = 0,2265 (Argile+limon) + 10,59	0,6049

Source : Résultats d'analyse, novembre 2017

L'analyse de la figure 28 montre que dans le bassin supérieur de Magou, le stock de COS est significativement corrélé avec la teneur en Argile + Limons ($R^2 > 0,5$). Mais la corrélation est plus forte dans les jachères ($R^2 = 0,72$), dans les plantations ($R^2 = 0,70$) et dans les formations naturelles ($R^2 = 0,60$) que dans les champs ($R^2 > 0,58$) (Tableau XV).

6.3.2.2 Spatialisation des stocks de COS par mode d'utilisation des terres et par site

Les figures 29 à 31 montrent la distribution spatiale des stocks de carbone sur les sites étudiés. Ces stocks de COS sont répaartis dans les formations naturelles, dans les plantations, dans les jachères et dans les champs sur chacun des sites étudiés.

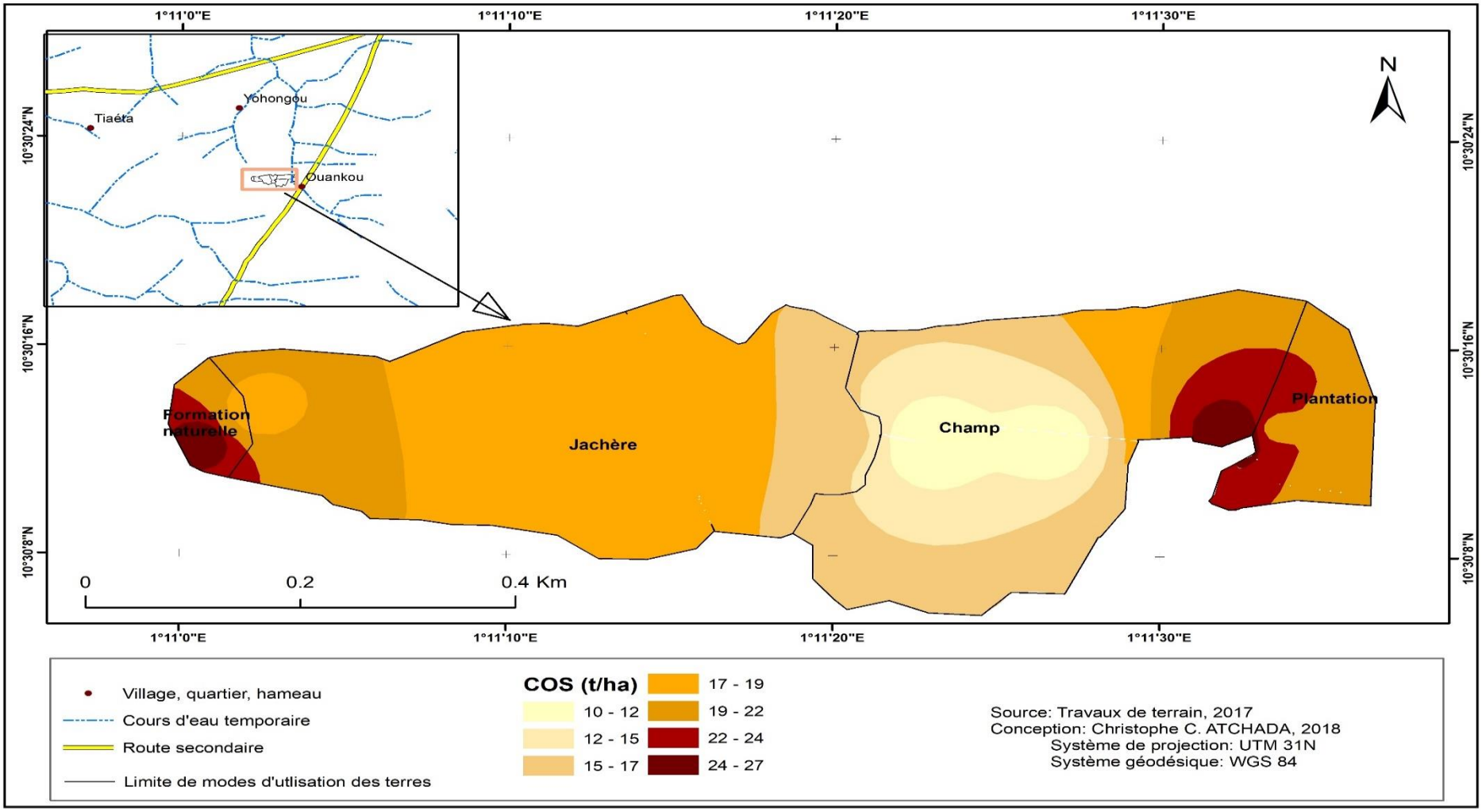


Figure 29 : Stock de COS entre 0-30 cm par modes d'utilisation des terres à Ouankou en 2017

De l’analyse de la figure 29, il ressort que le site de Ouankou stocke entre 10 et 27 t/ha de carbone organique des sols. Les champs (10 -17 t/ha) stockent moins que les jachères (15-22 t/ha). Ces derniers stockent moins que les plantations (19-24 t/ha) ; lesquelles plantations stockent moins que les formations naturelles (22-27 t/ha). Les champs à forte concentration de COS sont au bas de pente. Les formations naturelles à faible concentration de COS sont celles exploitées dans un passé plus récent que celui des autres formations naturelles.

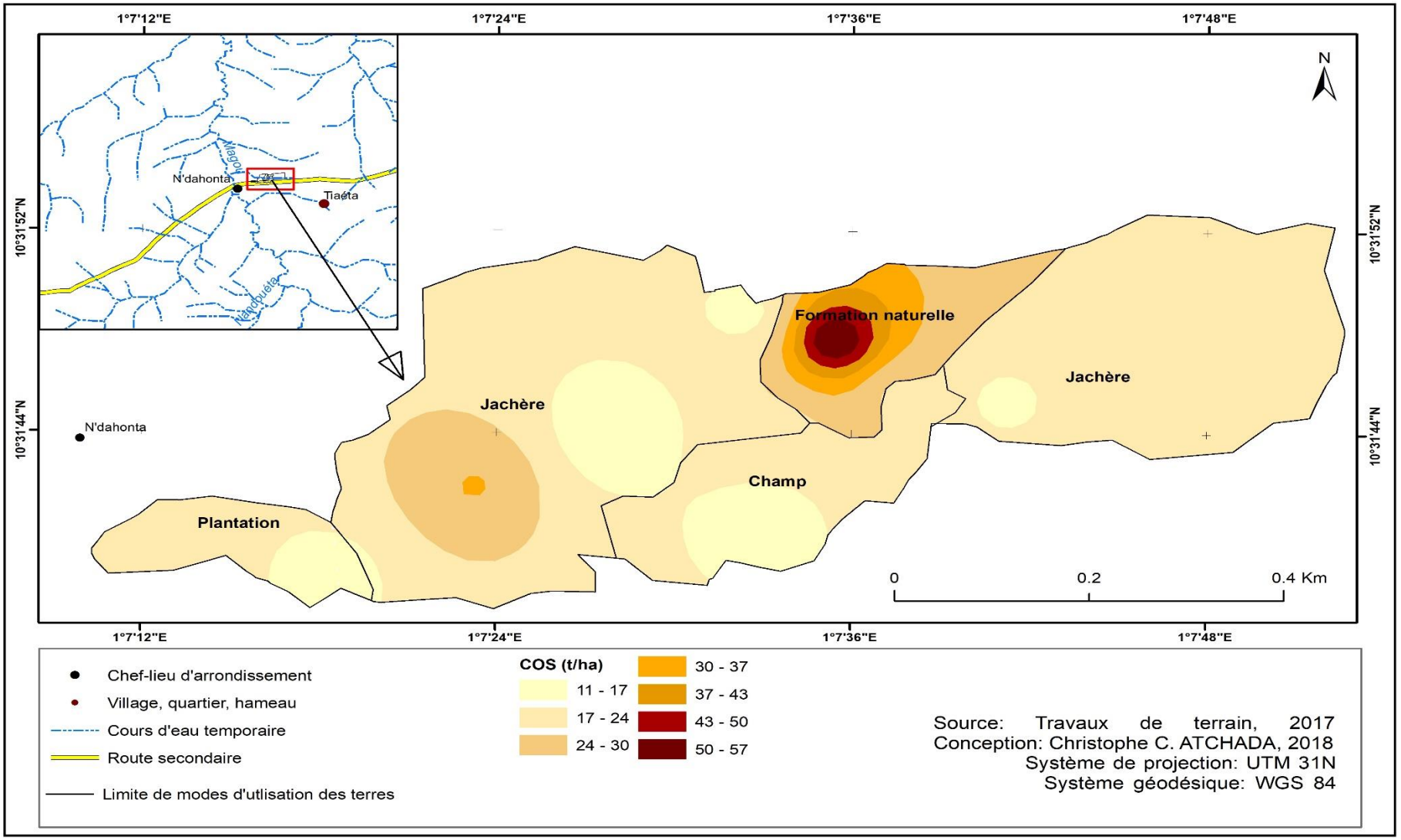


Figure 30 : Stock de COS entre 0-30 cm par modes d'utilisation des terres à N'Dahonta en 2017

L’analyse de la figure 30 montre qu’à N’Dahonta, les formations naturelles ont stocké plus que les autres MUT. Elles ont stocké jusqu’à 57 t/ha de COS et sont suivies des jachères (17 à 37 t/ha), des champs et des plantations (11 à 24 t/ha). Glogalement le site de N’Dahonta stocke entre 11 et 57 t/ha de COS. Les différences de stock de COS à l’intérieur d’une même unité d’occupation de sol sont liées à la topo-séquence.

.

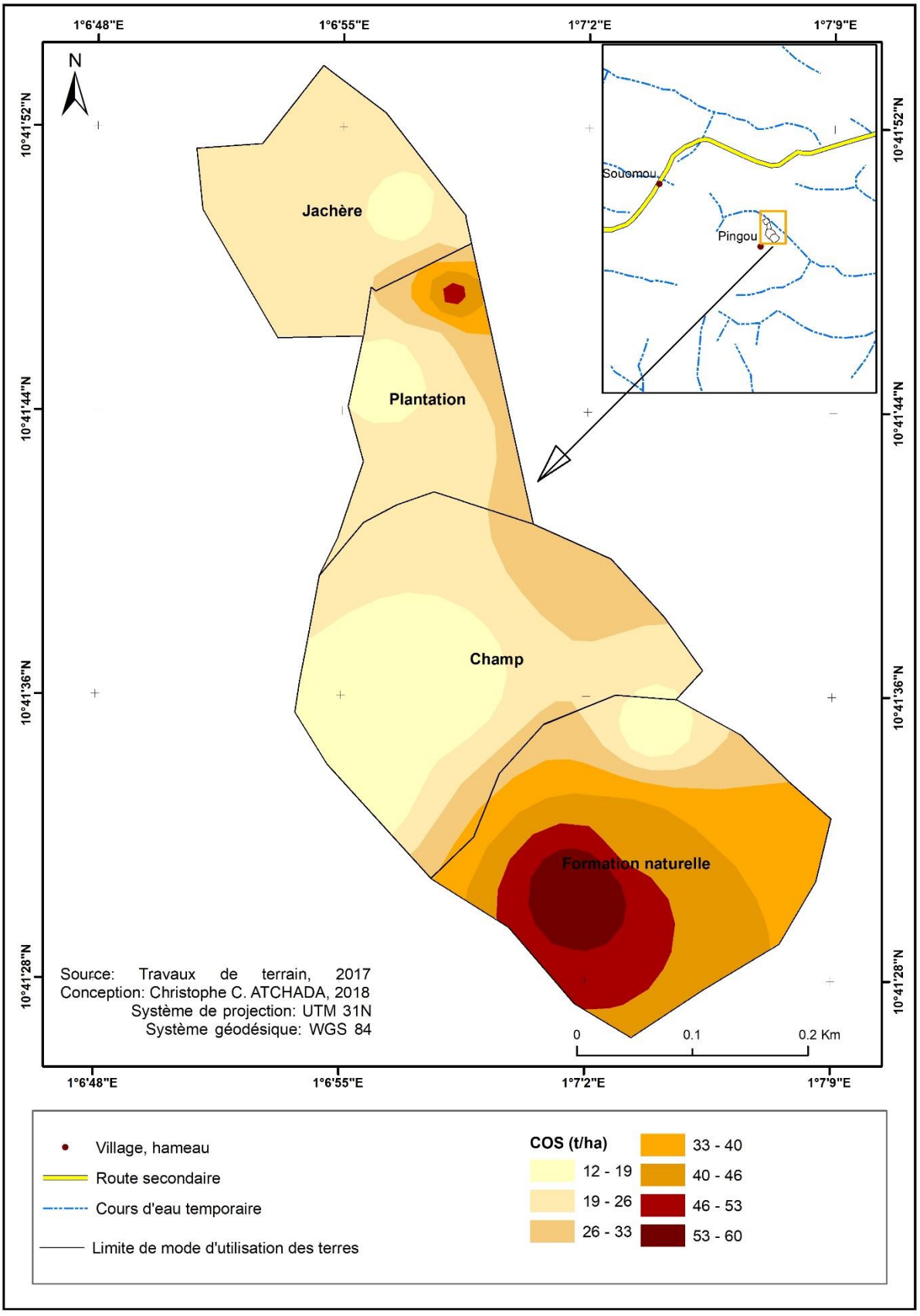


Figure 31 : Stock de COS entre 0-30 cm par modes d'utilisation des terres à Pingou en 2017

La figure 31 indique qu'à Pingou, le stock de COS décroît des formations naturelles (26 à 60 t/ha) aux champs et jachères (12 à 33 t/ha) en passant par les plantations (19 à 53 t/ha). Ce site stocke entre12 et 60 t/ha de COS.

Au total, il est noté, en considérant les trois sites, que les plus forts stocks de COS sont dans les formations naturelles (26 à 60 t/ha) et les plus faibles dans les champs (10 à 17 t/ha). Les jachères stockent entre 11 et 37 t/ha et les plantations sont entre 19 et 53 t/ha de carbone. Le site de Pingou a les meilleurs records de stocks (12 à 60 t/ha) alors que celui de Ouankou a les pis records de stocks (10 à 27 t/ha). Ici comme précédemment, les différences de stocks de COS sont aussi liées à la topo-séquence.

Conclusion

Les sols du bassin supérieur de Magou affichent une variété d'horizons parfois bien distincts. La teneur en carbone organique des sols y est faible. La teneur et le stock en carbone organique des sols varient sensiblement d'un mode d'utilisation des terres à un autre, d'une profondeur à une autre, d'une position de la topo-séquence à une autre et suivant la texture. Le stock de COS suit un gradient de végétation avec les plus forts taux dans les formations naturelles et les plus faibles dans les champs en passant respectivement par les plantations et les jachères. Verticalement, le stock de COS diminue de la surface vers la profondeur. Par rapport à la topo-séquence, le stock le plus élevé est au bas de pente alors que le plus faible est à mi- pente.

Par ailleurs, le stock de COS est significativement corrélé avec la teneur en Argile+Limon surtout dans les jachères.

Ces résultats peuvent être mieux compris si on appréhende la distribution de la matière organique ou du carbone dans les différentes fractions granulométriques du sol. Le chapitre 7 suivant aborde cette préoccupation.

CHAPITRE VII : DISTRIBUTION DU CARBONE DANS LES FRACTIONS ORGANIQUES DU SOL SUIVANT LES MODES D'UTILISATION DES TERRES

Le fractionnement granulométrique est adapté à la caractérisation de la matière organique du sol et à la résolution des problèmes agronomiques, en particulier, la gestion du stock organique des sols cultivés. Dans ce chapitre, il sera question de détailler la distribution du carbone dans les différentes fractions granulométriques des sols et d'analyser les répercussions des modes d'utilisation des terres, de la profondeur et de la topo-séquence sur la localisation de ce carbone dans ces classes granulométriques. Il s'agit de la fraction argilo-limoneuse [0–50 µm] ou organo- minérale (FOM), de la fraction organique associée aux sables fins [50–200 µm] ou F50 et de la fraction organique associée aux sables grossiers [200–2000 µm] ou F200. Le coefficient d'enrichissement en carbone (EC) permettra d'apprécier la contribution des différents types de matières organiques au carbone organique des sols suivant le mode d'utilisation des terres, la profondeur et la topo-séquence. A travers le rapport C/N, le degré d'évolution de la matière organique, c'est-à-dire son aptitude à se décomposer plus ou moins rapidement dans le sol, sera apprécié.

7.1 Variation du type de matière organique suivant les modes d'utilisation des terres, la topo-sequence et la profondeur

7.1.1 Variation de la teneur en carbone lié aux sables grossiers suivant le mode d'utilisation des terres, la profondeur et la topo-séquence

La variation de la teneur en carbone organique lié aux sables grossiers se présente dans le tableau XVI

Tableau XVI : Moyennes et écarts-types de la teneur en carbone lié aux sables grossiers suivant le mode d'utilisation des terres, la profondeur et la top-séquence

Modalités	Moyennes (%)	Ecarts-types
Modes d'utilisation des terres		
Jachère	**1,6846 a**	0,1497
Formation naturelle	1,2983 b	0,0227
Plantation	1,2340 b	0,0205
Champ	1,0728 b	0,2185
Topo-séquence		
Haut pente	1,3518 a	0,1368
Mi pente	1,2534 a	0,1526
Bas pente	1,3621 a	0,0995
Profondeur		
0-10 cm	1,3267 ab	0,0506
10-20 cm	**1,5584 a**	0,131
20-30 cm	1,0822 b	0,1501

Les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 %

Source : Résultats d'analyse, novembre 2017

Les teneurs moyennes en carbone lié aux sables grossiers sont plus élevées dans les jachères (1,68 %) et à la profondeur 10-20 cm (1,55 %) alors que celles plus faibles sont dans les champs (1,07 %) et à la profondeur 20-30cm (1,08 %) (Tableau XVI). Les teneurs moyennes en CF200 ne varient pas significativement d'une position de la topo-séquence à une autre.

7.1.2 Variation de la teneur en carbone lié aux sables fins suivant le mode d'utilisation des terres, la profondeur et la topo-séquence

La variation de la teneur en carbone organique lié aux sables fins se présente dans le tableau XVII

Tableau XVII : Moyennes et écarts-types de la teneur en carbone lié aux sables fins suivant le mode d'utilisation des terres, la profondeur et la top-séquence

Modalités	Moyennes (%)	Ecart-type
Modes d'utilisation des terres		
Jachère	0,67497 b	0,1601
Formation naturelle	**1,14692** a	0,0369
Plantation	1,08733 a	0,0368
Champ	0,81024 b	0,1327
Topo-séquence		
Haut de pente	0,97379 a	0,1233
Mi-pente	0,80767 b	0,1071
Bas pente	**1,00812 a**	0,0813
Profondeur		
0-10 cm	0,99673 a	0,0789
10-20 cm	**1,08438 a**	0,0757
20-30 cm	0,70848 b	0,128

Les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%

Source : Résultats d'analyse, novembre 2017

Les teneurs moyennes en carbone lié aux sables fins sont plus élevées dans les formations naturelles (1,14 %) et les plantations (1,08 %), aux profondeurs 0-10 (0,99 %), 10-20 cm (1,08%), en bas de pente (1 %) et en haut de pente (0,97 %). Les teneurs en CF50 les plus faibles sont dans les jachères (0,67 %) et les champs (0,81 %) à la profondeur 20-30 cm (0,7 %) à mi-pente (0,81 %) (Tableau XVII).

7.1.3 Variation de la teneur en carbone lié à la fraction organo-minérale suivant le mode d'utilisation des terres, la profondeur et la topo-séquence

La variation de la teneur en carbone lié à la fraction organo-minérale suivant le mode d'utilisation des terres, la profondeur et la topo-séquence se présente dans le tableau XVIII.

Tableau XVIII : Moyennes et écarts-types de la teneur en carbone lié à la fraction organo-minérale suivant le mode d'utilisation des terres, la profondeur et la top-séquence

Modalités	Moyennes (%)	Ecarts-types
Modes d'utilisation des terres		
Jachère	0,06930 b	0,01633
Formation naturelle	**0,13497 a**	0,01316
Plantation	0,12728 a	0,0128
Champ	0,11075 a	0,0215
Topo-séquence		
Haut de pente	0,10460 a	0,0157
Mi- pente	0,10113 a	0,01449
Bas de pente	0,1260 a	0,0164
Profondeur		
0-10 cm	**0,13158 a**	0,0174
10-20 cm	0,10889 ab	0,0079
20-30 cm	0,09126 b	0,0178

Les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 %

Source : Résultats d'analyse, novembre 2017

En ce qui concerne le carbone de la fraction organo-minérale (CFOM), les plus fortes teneurs sont obtenues au niveau de la profondeur 0-10 cm (0,13 %), dans les formations naturelles (0,13 %), les plantations (0,12 %) et les champs (0,11 %). Quant aux teneurs en CFOM les plus faibles, elles sont enrégistrées dans les jachères (0,06 %) à la profondeur 20-30cm (0,09 %). La topo-séquence n'a pas d'effet significatif sur les teneurs moyennes en CFOM (Tableau XVIII).

7.2 Variation de la contribution des différents types de matière organique au carbone organique du sol suivant les modes d'utilisation des terres, la profondeur et la topo-séquence

7.2.1 Variation de la contribution des différents types de matière organique au carbone organique des sols suivant les modes d'utilisation des terres

La figure 32 montre la variation de la contribution des différents types de matière organique au carbone organique des sols suivant les modes d'utilisation des terres tandis que la figure 33 indique la variation des coefficients d'enrichissement en carbone des différentes fractions.

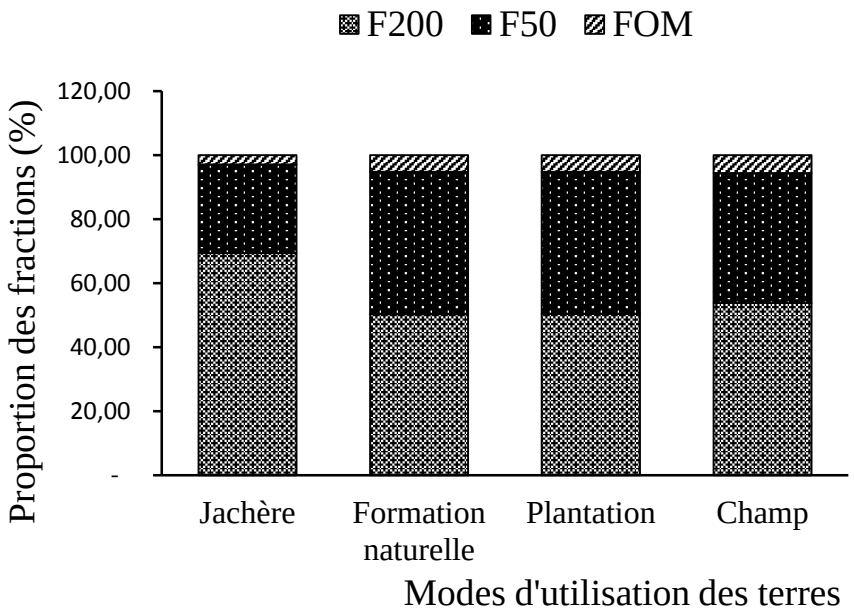


Figure 32 : Proportion du carbone de chaque fraction par rapport au carbone organique du sol suivant le mode d'utilisation des terres

Source : Résultats d'analyse, novembre 2017

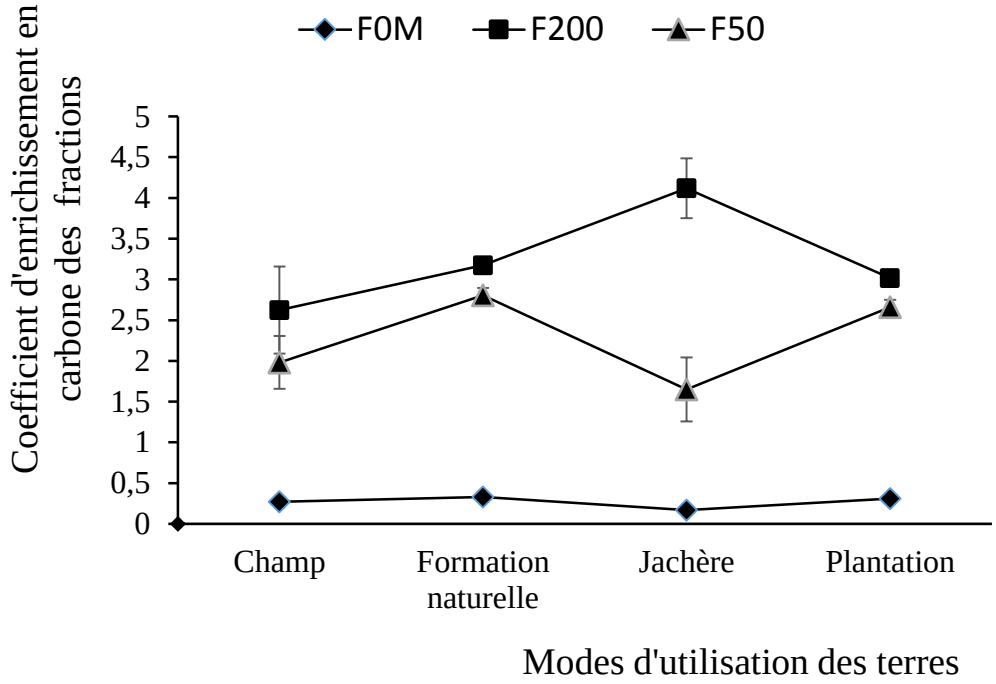


Figure 33 : Coefficients d'enrichissement en carbone des différentes fractions suivant les modes d'utilisation des terres

Quel que soit le mode d'utilisation des terres, les taux moyens de CF200, de CF50 et CFOM font respectivement 50 à 59 %, 28 à 44 % et 3 à 5 % (Figure 32). Le coefficient d'enrichissement en carbone (EC) augmente avec la taille des fractions

organiques et varie significativement suivant le mode d'utilisation des terres. L'EC moyen (Figure 33) oscille entre 4,11 et 2,62 dans la F200 ; de 2,80 à 1,64 pour la F50 et de 0,32 à 0,16 pour la FOM. Pour tous les modes d'utilisation des terres, la fraction sables grossiers et la fraction organo-minérale ont respectivement le plus fort et le plus faible coefficient d'enrichissement en carbone. Par ailleurs, pour la F200, l'EC le plus élevé a été obtenu dans les jachères (4,11) et pour la F50 et la FOM, les coefficients d'enrichissement les plus élevés ont été obtenus dans les formations naturelles avec comme pour valeurs respectives 2,80 et 0,33.

7.2.2 Variation de la contribution des différents types de matière organique au carbone organique du sol suivant la topo-séquence

Les figures 34 et 35 montrent respectivement les proportions du carbone de chaque fraction par rapport au carbone organique des sols et les coefficients d'enrichissement en carbone des différentes fractions suivant la topo-séquence.

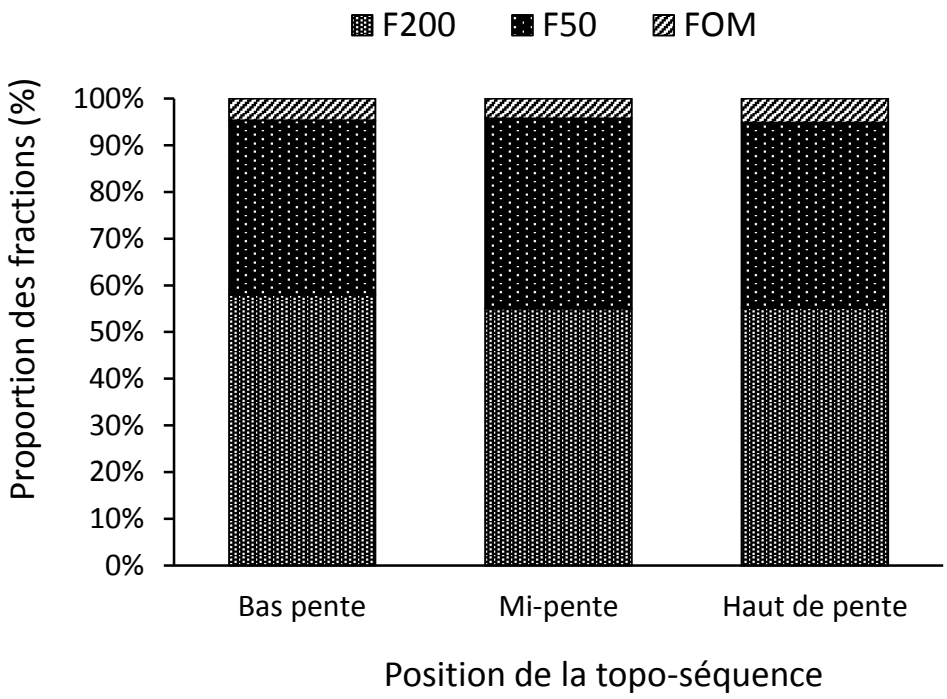


Figure 34 : Proportion du carbone de chaque fraction par rapport au carbone organique du sol suivant la topo-séquence

Source : Résultats d'analyse, novembre 2017

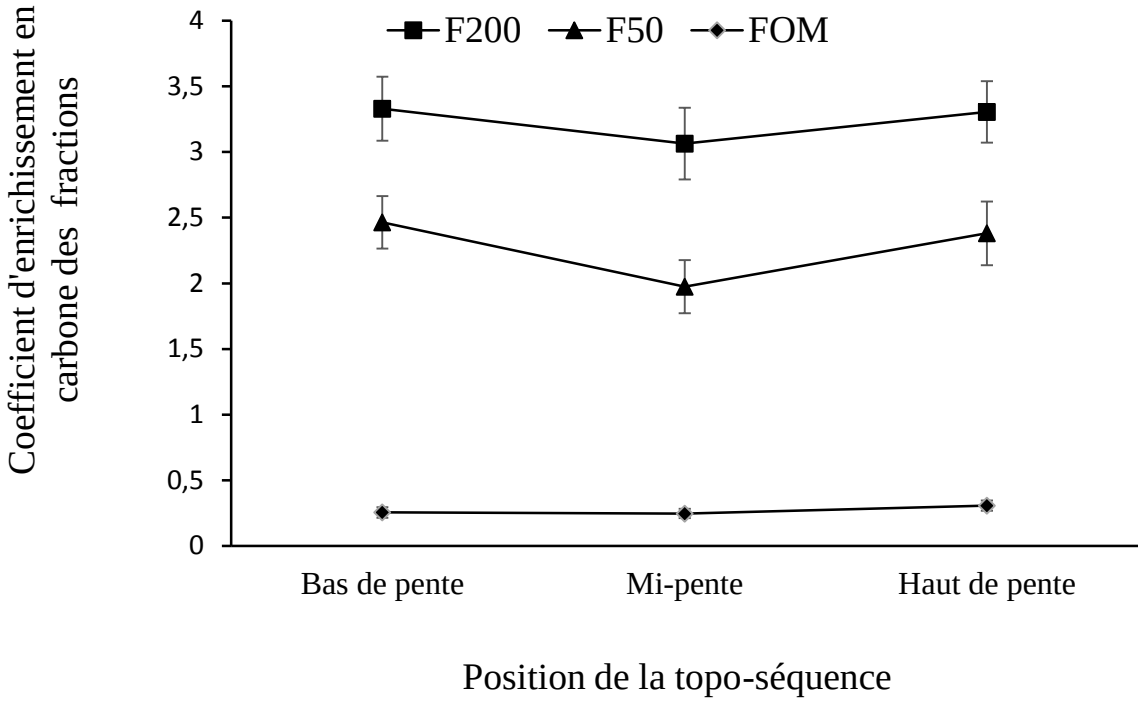


Figure 35 : Coefficients d'enrichissement en carbone des différentes fractions suivant la topo-séquence

Source : Résultats d'analyse, novembre 2017

Quelle que soit la position de la topo-séquence, les taux moyens de CF200, de CF50 et CFOM font respectivement 48 à 52 %, 31 à 39 % et 4 à 5 % (Figure 34). Contrairement aux observations faites dans le cas des MUT, l'enrichissement en carbone des sols n'a pas varié de manière significative pour les fractions sables grossiers et organo-minérale suivant la toposéquence. Mais il a significativement varié ($p<0,05$) suivant la topo-séquence pour la fraction sables fins (Figure 35). Pour la F50, le plus fort enrichissement a été enregistré en bas de pente (2,46) et le plus faible à mi-pente (1,97).

7.2.3 Variation de la contribution des types de matière organique au carbone organique du sol suivant la profondeur

Les figures 36 et 37 montrent respectivement les proportions du carbone de chaque fraction par rapport au carbone organique des sols et les coefficients d'enrichissement en carbone des différentes fractions suivant la profondeur.

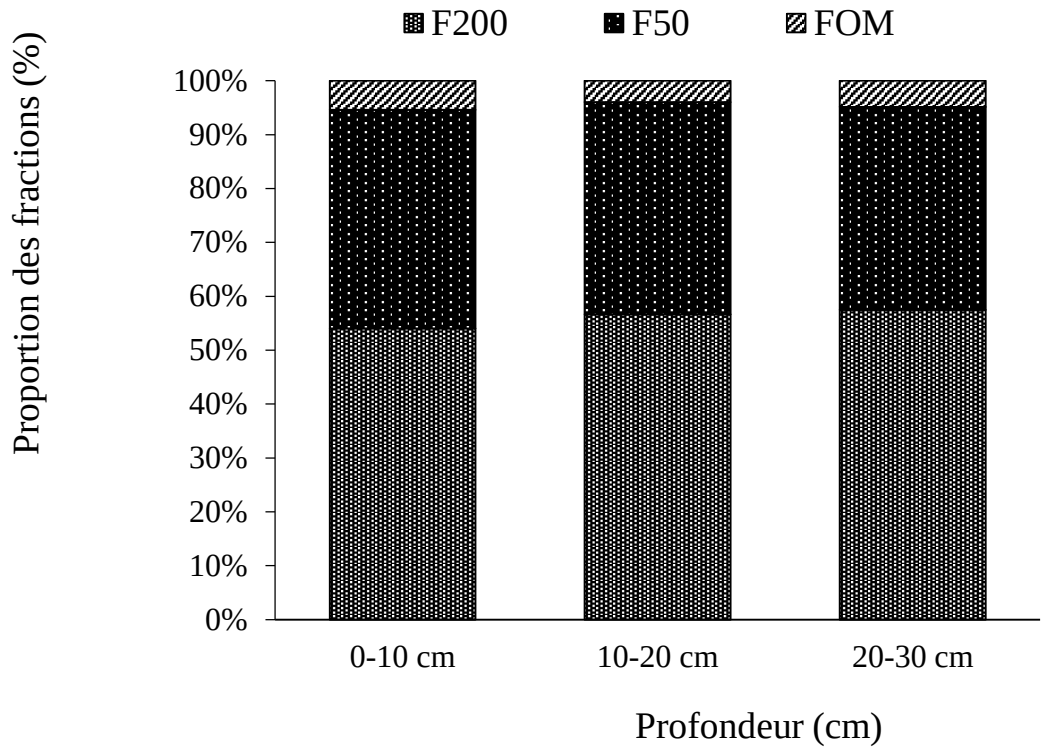


Figure 36 : Proportion du carbone de chaque fraction par rapport au carbone organique du sol suivant la profondeur

Source : Résultats d'analyse, novembre 2017

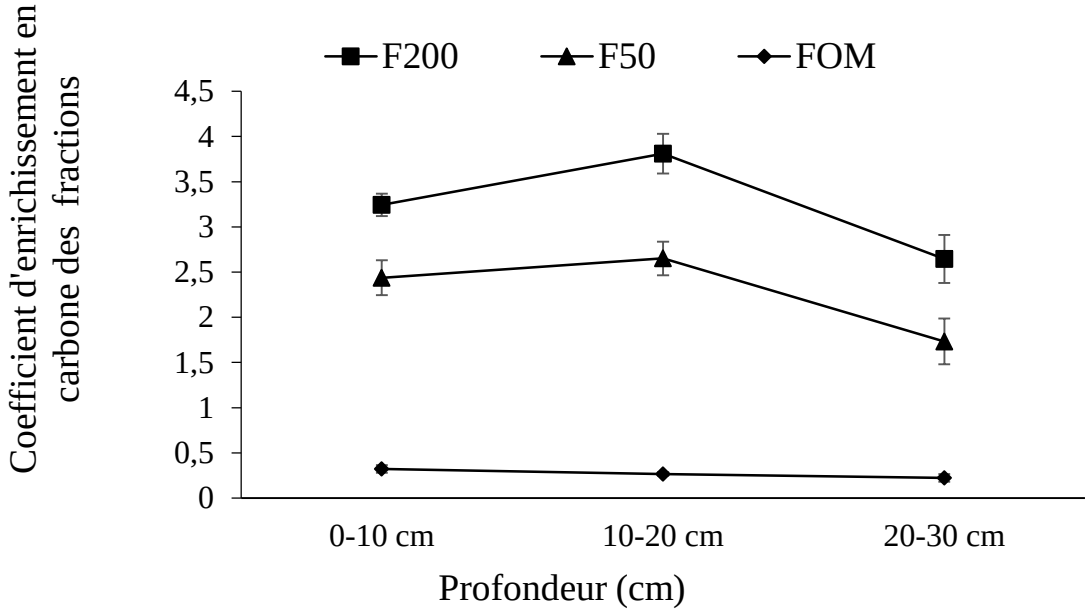


Figure 37: Coefficients d'enrichissement en carbone des différentes fractions suivant la profondeur

Source : Résultats d'analyse, novembre 2017

Quelle que soit la profondeur, les taux moyens de CF200, de CF50 et CFOM font respectivement 42 à 60 %, 27 à 42 % et 3,5 à 5 % (Figure 36). Le coefficient d'enrichissement a significativement ($p<0,05$) varié suivant la profondeur pour les trois fractions. Sur les profondeurs 0-10 cm ; 10-20 cm et 20-30 cm, le carbone lié aux sables grossiers a été le plus abondant. Par ailleurs, les plus fortes abondances (0,32) ont été obtenues sur les 10 premiers centimètres pour le carbone lié à la fraction organo-minérale et entre 10 et 20 cm pour les fractions sables grossiers et sables fins (3,80 et 2,65). Les plus faibles taux de CF200 (CF50 et CFOM sont notés entre 20 et 30 cm (Figure 37).

7.3 Variation du rapport C/N

7.3.1 Variation du rapport C/N suivant les modes d'utilisation des terres, la topo- séquence et la profondeur

Le tableau XIX présente la variation du rapport C/N suivant les modes d'utilisation des terres, la topo- séquence et la profondeur.

Tableau XIX : Rapport C/N suivant les modes d'utilisation des terres, la topo séquence et la profondeur

Modalités	**Rapports C/N**	
	Moyennes	Ecarts-types
Mode d'utilisation des terres		
Champ	7,25 b	1,02
Formation naturelle	10,26 a	0,86
Jachère	9,38a	1,07
Plantation	10,86 a	1,43
Position de la topo-séquence		
Haut pente	9,19 ab	1,25
Mi-pente	8,32 b	0,70
Bas pente	10,80 a	0,93
Profondeur		
0-10 cm	10,72 a	0,79
10-20 cm	9,99 a	1,07
20-30 cm	9,95 a	0,98

Source : Résultats d'analyse, novembre 2017

De manière générale, la valeur du rapport C/N est faible dans le bassin versant de Magou. En effet, le C/N dans tous les modes d'utilisation des terres, à toutes les positions et à toutes les profondeurs étudiées est inférieur à 15. Par ailleurs, la valeur du rapport C/N a significativement varié ($p<0,05$) suivant le mode d'utilisation des terres et la position de la topo- séquence. Pour les MUT, elle est plus élevée pour les formations naturelles (10,26), les plantations (10,86) et les jachères (9,38) comparativement au champ (7,25). Concernant la position sur la topo-séquence, la valeur varie de 8,32 à 10,80 ; mais elle est plus forte en bas de pente (10,80) qu'à mi-pente (8,32) et en haut de pente (9,19) (Tableau XIX). Par contre, d'une profondeur à une autre, la variation du C/N n'est pas significative. Toutefois la valeur la plus élevée est à la profondeur 0-10 cm (10,72).

7.3.2 Variation du rapport C/N suivant les fractions organiques des sols et les différents modes d'utilisation des terres

7.3.2.1 Champs

La variation du rapport C/N suivant les fractions organiques des sols dans les champs est présentée sur la figure 38.

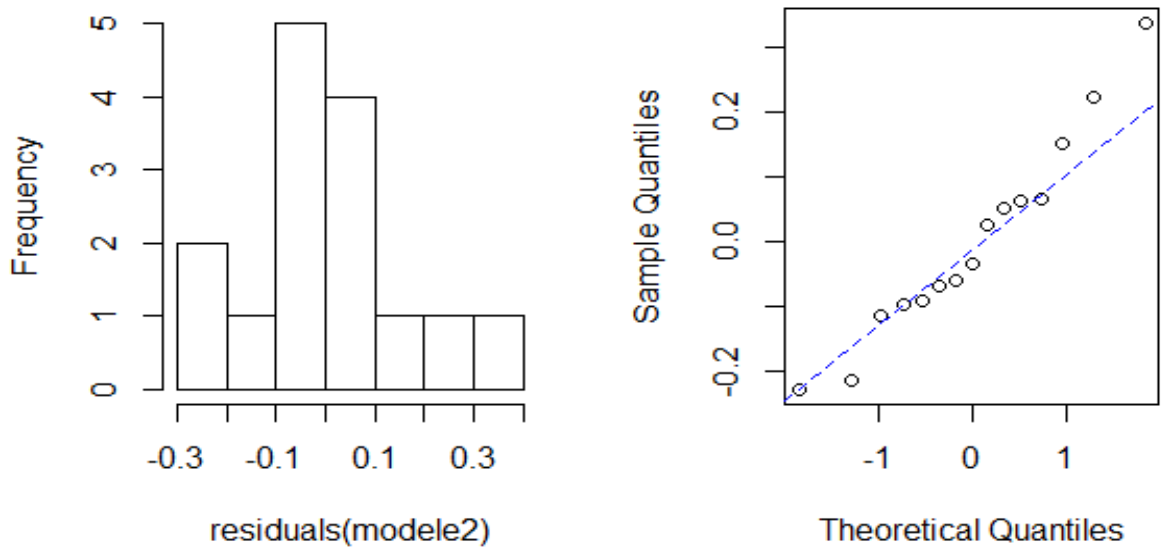


Figure 38 : Distribution normalisée des valeurs résiduelles de la régression dans les champs

Source : Résultats d'analyse, novembre 2017

Avec les paramètres du modèle de régression multiple réalisée pour modéliser la relation entre le rapport C/N et le carbone lié au sable grossier, au sable fin et à l'argile-limon, le test de Shapiro-Wilk ne permet pas de conclure à la non-normalité des erreurs (W = 0,95869, p-value = 0,6697). Néanmoins, l'examen des graphes de normalité des résidus (Figure 38) montre une répartition normale de ces derniers. Le test de Breusch-Pagan montre que les résidus sont homogènes (BP = 3,7706, df = 3, p-value = 0,2873 > 0,05). Le test de Durbin-Waston montre que les résidus sont dépendants (DW = 1,614, p-value = 0,2015 > 0,05) et la condition de linéarité est respectée (RESET = 3,2751, df1 = 6, df2 = 5, p-value = 0,107 > 0,05). Le modèle de régression multiple anisi que les coefficients de régression relatifs à chacune des fractions sont significatifs (p-value: 0,0001598). Selon ce modèle, le CF200 ; le CF50 et le CFOM expliquent à 83% le rapport C/N suivant la relation C/N=4,98272 + 0,32685* %**CF200** -5,19543* %**CF50** + 8,28731* %**CFOM**, dans les champs. Il est constaté que dans ces écosystèmes le carbone lié au sable grossier, à l'argile et au limon font accroître le rapport C/N alors que ce rapport diminue lorsque le carbone lié au sable fin augmente.

7.3.2.2 Formations naturelles

La variation du rapport C/N suivant les fractions organiques des sols dans les formations naturelles est présentée sur la figure 39.

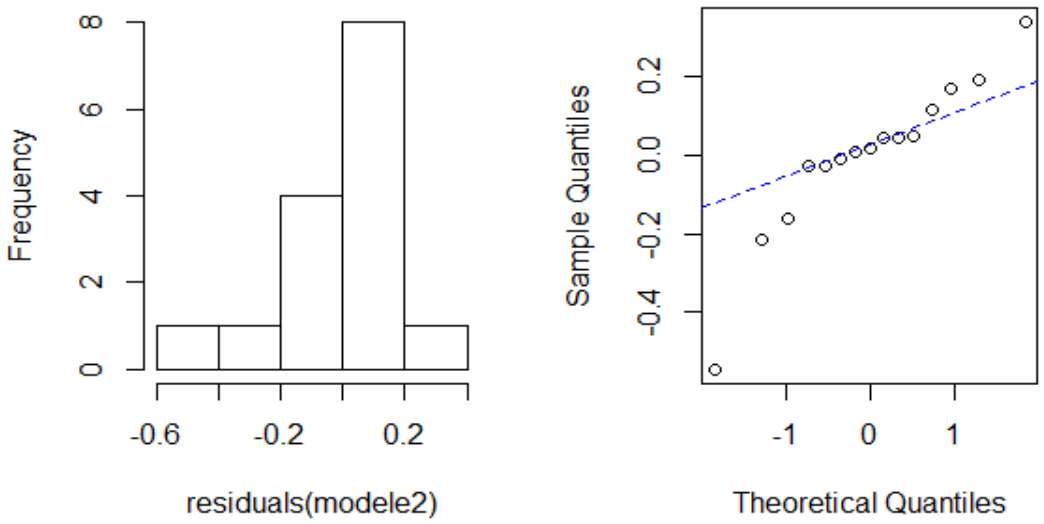


Figure 39 : Distribution normalisée des valeurs résiduelles de la régression dans les formations naturelles

Source : Résultats d'analyse, novembre 2017

Comme dans les champs, le modèle de régression réalisé est globalement significatif (p-value: 1,07506) et a une très bonne corrélation (R^2 =0,9316). Les résidus suivent une distribution normale (W = 0,89597, p-value = 0,0426). Le QQ-plot suggère des erreurs normales puisque les quantiles observés et les quantiles théoriques (obtenus si la distribution est normale) forment une droite (Figure 39). Les résidus sont homogènes (BP = 1,6335, df = 3, p-value = 0,6518) et indépendants (DW = 3,3967, p-value = 0,9974). La condition de linéarité est respectée (RESET = 1,5038 ; df1 = 6, df2 = 5, p-value = 0,3355). Le rapport C/N peut donc être estimé dans les formations naturelles suivant l'équation C/N= -5,4178 + 12,5667 * **%CF200** + 0,6723* **%CF50** -1,2771* **%CFOM.** Le modèle suggère que le rapport C/N évolue positivement avec le carbone lié au sable grossier et au sable fin.

7.3.2.3 Jachères

La variation du rapport C/N suivant les fractions organiques des sols dans les jachères est présentée sur la figure 40.

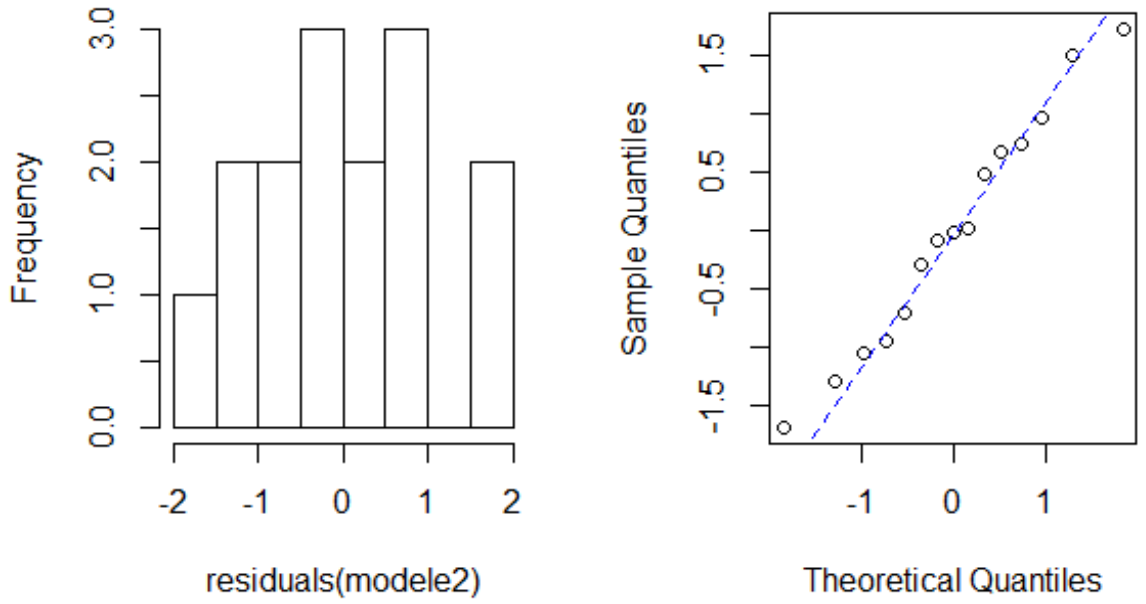


Figure 40 : Distribution normalisée des valeurs résiduelles de la régression dans les jachères

Source : Résultats d'analyse, novembre 2017

La régression établie dans les jachères est significative (p-value: 0,0002296). Les résidus sont normalement distribués (Figure 40), indépendants (BP = 3,2104, df = 3, p-value = 0,3603) et distribués de manière homogène (DW = 1,6575, p-value = 0,06156). Le modèle estime à 82 % le rapport C/N suivant l'équation C/N= 3,4359 + 1,9396 ***%CF200** + 3.5574 * **%CF50** + 0,2989* **%CFOM.** Contrairement aux champs et aux formations naturelles, les coefficients de toutes les fractions sont positifs. Mais la fraction F50 a le coefficient le plus élevé.

7.3.2.4 Plantations

La variation du rapport C/N suivant les fractions organiques des sols dans les plantations est présentée sur la figure 41.

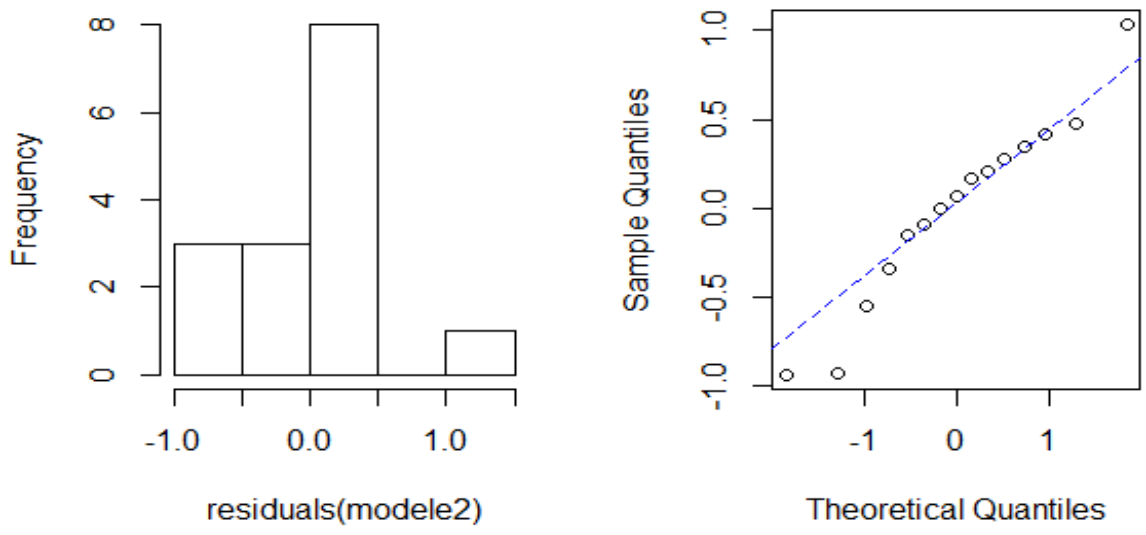


Figure 41 : Distribution normalisée des valeurs résiduelles de la régression dans les plantations

Source : Résultats d'analyse, novembre 2017

Dans les plantations, la condition de distribution homogène des résidus n'est pas vérifiée (BP = 9,4911, df = 3, p-value = 0,02343). Néanmoins, les autres conditions sont respectées. Les résidus suivent une distribution normale (Figure 41) et indépendante (DW = 2,1378, p-value = 0,5209). La relation est linéaire (RESET = 1,1253, df1 = 6, df2 = 5, p-value = 0,4582). Le modèle reste valide (R^2= 0,7514 et p-value: 0,001188) et permet d'estimer le rapport C/N par la relation suivante : C/N= 32,3592 -18,8889* **%CF200** - 0.4077* **%CF50** + 13,2524* **%CFOM.** Dans les plantations, seul le carbone lié à l'argile et au limon contribue positivement au rapport C/N.

Conclusion

Les teneurs en carbone des différentes fractions organiques du sol varient significativement en fonction des modes d'utilisation des terres et de la profondeur. Les plus fortes teneurs sont dans les formations naturelles et dans les plantations entre 0-20 cm tandis que les faibles sont dans les champs et dans les jachères entre 20-30 cm. L'apport et l'enrichissement en COS augmentent avec la taille des fractions organiques et varient significativement suivant le mode

d’utilisation des terres et la profondeur. La topo-séquence n’a d’effet significatif que sur la contribution en carbone lié aux sables fins. Dans les formations naturelles, le rapport C/N évolue positivement avec le carbone lié au sable grossier et au sable fin. Quant aux champs, ce sont le CF200 et le CFOM qui font augmnter le C/N. Dans les jachères, ce rapport évolue plus positivement avec le carbone lié au sable fin. En ce qui concerne les plantations, seul le carbone lié à l’argile et au limon contribue positivement au rapport C/N.

TROISIEME PARTIE : DISCUSSION

CHAPITRE VIII : FONDEMENT DES SYSTEMES DE CULTURE ET PERCEPTIONS DES AGRICULTEURS SUR LA FERTILITE DES SOLS DANS LE BASSIN SUPERIEUR DE MAGOU

Plusieurs paramètres interviennent dans la fertilité d'un sol. Dans le bassin supérieur de Magou, les systèmes de culture et les modes d'utilisation des terres influencent la fertilité des sols selon les agriculteurs. Ce chapitre vise à apprécier ces constats.

8.1 Fondement des systèmes de cultures et leurs influences sur la fertilité des sols

Les formations naturelles sont rares dans le bassin supérieur de Magou. En dehors de quelques reliques de forêt souvent sacrées et des galeries forestières (764 ha), il y a dans le bassin supérieur de Magou des savanes développées sur des sols à fort taux d'affleurement rocheux, littéralement impropres à l'agriculture mais servant de pâturage sans conflit majeur. Ce constat témoigne d'une forte anthropisation du bassin versant.

Les principales sources de revenus des enquêtés sont l'agriculture (96,5 %), l'élevage (72 %) et les produits ligneux ou non ligneux tirés de la végétation naturelle (22,5 %). La terre est donc très sollicitée et le principal mode d'accès est l'héritage (71 %) tandis que les nouveaux modes comme le métayage et la location sont très rares (1,5 %). Ce résultat, symptomatique d'une faible spéculation foncière sur le bassin, est à rapprocher de ceux du plateau Adja dans le sud-ouest du Bénin où les études de Todan et *al.* (2017) indiquent 56 % d'agriculteurs accédant à la terre par héritage. Les agriculteurs adoptent majoritairement, et ceci de manière combinée, les pratiques de jachère, d'assolement-rotation et d'association de cultures afin d'améliorer leurs rendements. Dans un contexte d'unicité de la saison de pluies, l'association de cultures permet de profiter au maximum de la période humide et de l'espace qui devient rare avec la pression démographique. L'introduction des cultures de rente comme le coton a entraîné

une agriculture semi-moderne avec une rareté de longues jachères et la généralisation de l'apport d'engrais minéraux acidifiant le sol (92,5 % des cas) ; dommage que les courtes jachères pratiquées (28,61 % des enquêtés) n'arrivent pas à corriger. Par l'association, le paysan rationalise l'utilisation des intrants agricoles (engrais chimiques et autres produits phyto-sanitaires). Il n'est pas rare de rencontrer des paysans qui associent le coton à d'autres cultures, juste pour bénéficier, à crédit, d'intrants de coton qui sont détournés pour les autres spéculations. Les raisons qui sous-tendent cette pratique sont le manque de moyens financiers, la non disponibilité et la cherté des intrants pour les cultures autres que le coton. Dans tous les cas, les techniques de gestion de la fertilité du sol se pratiquent de façon complémentaire et non exclusive.

Par ailleurs, la rotation est utilisée d'abord par insuffisance des Superficies Agricoles Utiles, ensuite pour l'amélioration des rendements sans trop de contraintes, vu le caractère sélectif des cultures au plan agro-pédologique ; les résidus des premières cultures pouvant aussi servir de fertilisants aux cultures suivantes. On note donc une alternance de champs de coton, de maïs, de niébé, de sorgho suivant différentes combinaisons selon les agriculteurs. Toutefois, au regard du délai suffisamment long (environ 5 mois) entre la fin des récoltes, la préparation de nouveaux champs et la pratique des feux de végétation, la plupart des résidus de récolte sont perdus et n'entrent pas dans les amendements organiques du sol. Or un apport d'engrais et de matière organique a un effet positif sur le rendement quel que soit le type de sol selon Epolyste et *al.* (2014). Il faut donc tenir compte du système cultural mis en place dans la dynamique du COS. Aholoukpé et *al.* (2013) l'ont prouvé dans le sud-est du Bénin en concluant que les associations culturales et le recyclage des feuilles d'élagage interviennent dans le stock de matière organique des sols sous palmeraies. Cependant, il faut reconnaître que la rotation des cultures ne fait pas qu'améliorer les rendements des cultures et la qualité des sols; elle contribue aussi à réduire les émissions de

GES en rendant moins nécessaires les apports d'engrais azotés (OMAFRA, 2019).

Le travail du sol est soit le labour (peu profond : 51 %, profond : 30 %) soit le semis direct. Le labour profond concerne les racines et tubercules comme l'igname surtout au fond des vallées et le labour peu profond intervient dans les cultures céréalières (maïs, sorgho, mil) et autres comme le coton. L'outillage agricole est le plus souvent basé sur la houe, la charrue et quelques tracteurs de façon complémentaire dans 81 % des cas. Si le premier outil est à la portée de tous les agriculteurs, la charrue (6 %) et le tracteur (3 %) sont encore inaccessibles à leur grande majorité. En raison du coût prohibitif des outils modernes, seuls les nantis peuvent y avoir accès, notamment en période de pointe. En effet, dès les premières pluies du mois de mai, le sol est encore très dur pour se laisser traverser par la houe. La traction animale est difficile en ce moment où les bœufs manquent de fourrages pour disposer de l'énergie. Il faut alors se rabattre sur les tracteurs qui, en nombre insuffisant, sont sollicités par beaucoup d'agriculteurs. Les enchères montent et il faut semer le coton ou le maïs à partir de juin ou de juillet au pire des cas. La houe et l'attelage devenant inefficaces face à l'immensité de la superficie à labourer en un temps record avant les semis, les agriculteurs utilisent de l'herbicide pour faciliter le désherbage et vite semer avant de retourner le sol lors des sarclages après la germination. Ces pratiques endogènes qui privent la surface du sol des végétaux sont préjudiciables à la fertilité du sol surtout du point de vue organique. Le labour, fût-il à la houe, à la charrue ou au tracteur, retourne le sol et perturbe la dynamique du carbone au moins sur les 30 premiers centimètres arables. Vigot (2012) a fait ce constat en France, quand il constate que le passage au non labour en continu permet une augmentation du stock généralement plus importante qu'un labour.

8.2 Perceptions des agriculteurs sur les modes d'utilisation des terres et leurs effets sur la fertilité des sols dans le bassin supérieur de Magou

8.2.1 Pertinence des difficultés rencontrées par les agriculteurs et des indicateurs d'appauvrissement des sols

L'appauvrissement des sols comme principale difficulté rencontrée par les agriculteurs du bassin supérieur de Magou (54 % des enquêtés) s'explique par le caractère prépondérant de l'agriculture dans le milieu. Mais les vieux et les démunis pensent que l'archaïsme des outils agricoles (houe, daba, coupe-coupe, …) affecte négativement la production agricole. Cela se justifie par la dégradation de la force physique des premiers et le manque de moyens financiers des démunis. En effet la pénibilité de l'utilisation de l'outillage archaïque chez les vieux et le dénuement des démunis ne sont plus à démontrer. Le niveau d'instruction semble influencer la commercialisation des produits agricoles. A ce sujet, les lettrés ont la possibilité d'identifier assez facilement les marchés d'écoulement des produits agricoles. Les illettrés se confient tout simplement aux négociants qui sillonnent les marchés ruraux comme celui de N'Dahonta pour se débarrasser de leurs marchandises à n'importe quel prix. Les semi-lettrés souhaitent contourner les négociants mais ils sont malheureusement limités dans leur élan et se trouvent bloqués ; d'où leur déclaration selon laquelle la commercialisation des produits agricoles est un problème.

Dans le milieu d'étude comme dans le bassin de l'Okpara au Bénin (Akpo et *al.*, 2016), les agriculteurs ne tiennent pas singulièrement compte d'un indicateur pour évaluer l'état de fertilité d'un sol mais se basent plutôt sur la combinaison des indicateurs. Ils combinent la texture, la couleur et la présence ou l'absence de certaines espèces végétales. Une texture fine, très fine ou grossière ; une couleur rouge, brune ou jaunâtre ; la présence de certaines espèces (*Striga hermonthica*, *Commelina bengalensis*, *Mitracarpus hirtus*, *Digitaria horizontalis*, *Paspalum scrobiculatum*) et l'absence d'autres espèces (*Vitellaria paradoxa, Andropogon gayanus)* sont les principaux indicateurs de l'appauvrissement des sols dans le

BSM selon les agriculteurs. Ces résultats rejoignent ceux de Naitormbaide (2007) selon qui la présence d'un certain nombre d'espèces dont *Digitaria horizontalis* et *Striga hermonthica* est considérée par les paysans de Nguétté I et Gang au Tchad comme indicatrice d'une baisse de la fertilité et qu'il est temps de mettre en jachère une parcelle. Ce constat est bien en phase avec les résultats de Tenté (2005) qui indiquent que la présence de *Striga hermonthica* témoigne d'un sol peu fertile et que l'apparition de *Andropogon gayanus* révèle un sol fertile dans la région de l'Atacora au Bénin.

En milieu tropical, l'apparition de *Digitaria horizontalis* a été attribuée à la mécanisation des cultures et au caractère acide des sols (Merlier et *al.*, 1982).

Mais les conditions physiques, chimiques et biologiques ont fondamentalement changé aujourd'hui. Même si l'attelage et quelques tracteurs apparaissent dans l'outillage agricole dans le bassin supérieur de Magou, on ne saurait établir hâtivement la corrélation avec la mécanisation. Toutefois l'utilisation anarchique d'engrais minéraux sans amendement organique qui a cours dans le milieu d'étude pourrait acidifier les sols. Dans le BSM, *Striga hermonthica* est qualifié de "feu du sorcier" en dialecte local ''Biali''. On appelle cette espèce ''Douani'' dans ce dialecte en raison de sa capacité de nuisance inégalable. Ces observations corroborent celles de Naitormbaide (2007) quand il dit que l'espèce entre en compétition avec les plantes cultivées pour les éléments minéraux, l'eau et la lumière et que l'effet de la compétition se traduit par une baisse de rendements en grains, pailles, tiges, etc.

Le caractère socioculturel des enquêtés influence aussi les indicateurs d'appauvrissement des sols. Les Natimba et les Berba dans le BSM, les Tchabè, Ditamari et Fon considèrent la présence de *Commelina bengalensis* comme un indicateur de dégradation des sols (Akpo et *al.*, 2016). Mais le même auteur classe cette espèce comme un indicateur de fertilité des sols chez les Bariba et Lokpa dans le bassin de l'Okpara en République du Bénin. Ces informations confirment la difficulté de la généralisation des résultats de travaux de recherche en

ethnopédologie comme l'ont également mentionné certains auteurs (WinklerPrins, 2003 ; Akpo et *al.,* 2016**).**

L'état de fertilité d'un sol peut s'évaluer traditionnellement par sa couleur et sa texture (Naitormbaide, 2007). Cependant les constats paraissent un peu aléatoires du fait de la spécificité de chaque type de sol et des caractéristiques sociodémographiques des agriculteurs. Pour les personnes démunies, celles de classe moyenne et les illettrés par exemple, une texture fine ou très fine témoigne d'un sol appauvri. Cela se justifierait par le fait que ces catégories d'agriculteurs n'ont souvent pas les moyens de toujours labourer convenablement leurs parcelles avant les semis. Sur les sols à fort taux d'éléments fins (argile et limon fin) très peu poreux et moins aérés, le drainage est moins bon surtout avec les irrégularités pluviométriques. La minéralisation de la matière organique et la pénétration des racines étant difficiles, les rendements agricoles sont faibles. C'est le cas du coton et du sorgho dont les rendements ont chuté respectivement de 10 % et de 11 % entre 2002 et 2017 (DSA, 2017).

8.2.2 Effets des pratiques agro-pastorales sur l'appauvrissement des sols

Les agriculteurs du bassin supérieur de Magou quels que soient leur sexe, leur statut social et leur niveau d'instruction estiment que les trois premières causes de l'appauvrissement des sols sont la déforestation, les feux de végétation et la pâture. Les deux premières causes ont été constatées comme principaux facteurs de dégradation des sols au Bénin (Adégbidi et Adjovi, 1999). La particularité au niveau du BSM réside dans l'importance accordée par les agriculteurs aux feux de végétation et à la pâture.

La présente étude a montré que les feux de végétation contribuent à la dégradation des sols. Cette contribution trouve sa raison d'être du moment où les feux de végétation tardifs accélèrent la minéralisation de la matière organique présente sur le sol (Saïdou et *al*., 2007). Les feux de végétation accélèrent le ruissellement et l'érosion (Roose et Sabir, 2002). Ce qui confirme la déclaration des agriculteurs

selon laquelle les feux de végétation ravagent toutes les matières organiques sur le sol et facilitent ainsi la perte des eaux par le ruissellement des eaux de pluie.

Au total, les pratiques agricoles (déforestation, feux de végétation, surexploitation des terres, production des cultures de rente et utilisation d'engrais chimiques) sont responsables à 77 % de l'appauvrissement des sols. Mieux, l'agriculture itinérante sur brûlis constitue la cause essentielle des défrichements sur de vastes étendues dans l'Atacora ; car le non-respect des doses d'engrais chimiques ou la non utilisation de fertilisants conduit à un appauvrissement prolongé des terres et l'exploitation prolongée des mêmes terres entraîne une détérioration poussée des sols (Kombienou et *al.*, 2014). Cet état de choses est confirmé par les déclarations des vieux enquêtés selon qui l'usage d'engrais est préjudiciable à la qualité du sol. La forte anthropisation du bassin est facteur de dégradation des écosystèmes : fragilisation des terres, érodibilité des sols, pertes de la fertilité des sols suite au ruissellement, dégradation des eaux, ensablement du cours d'eau, eutrophisation (Amoussou et *al*., 2016).

La présence du bétail est, dans certains cas, un facteur de perturbation, à cause des phénomènes de piétinement, de surpâturage et de mutilation des ligneux fourragers qui occasionnent localement des sols dénudés. Certaines espèces comme *Khaya senegalensis*, *Pterocarpus erinaceus* Poir et *Afzelia africana* James E. S. qui subissent régulièrement cette coupe répétée de leur frondaison finissent par ne plus fructifier ; ce qui compromet toute possibilité de leur régénération naturelle (Houinato et Sinsin, 2000). Ces constats sont encore d'actualité dans le BSM où les agriculteurs classent les effets de la pâture en troisième position dans les facteurs de la dégradation des sols. Partant de ce que 77,55 % à 96,62 % des aires sont pâturables dans le bassin supérieur de Magou selon la période de l'année, l'importance de la pâture et son influence sur l'écosystème n'est pas à négliger. En effet, les campements de troupeaux transhumants sont souvent le siège d'une érosion hydrique qui emporte des tonnes de sols (Sinsin, 1997). La pâture, marquée par la transhumance et le nomadisme, mentionnée dans cette

étude comme cause de dégradation des sols est confirmée en Tunisie où la transhumance et le nomadisme sont des sources de dégradation des sols (Roose, 2002). L'effet du surpâturage est dû au fait que le sol s'est tassé sous le piétinement des animaux qui font une pression aux pattes sur le sol (Egah et *al*., 2014). Le surpâturage contribue à la réduction progressive du couvert végétal qui doit protéger le sol contre la battance des pluies. Ce qui témoigne des effets néfastes du surpâturage relatifs à l'état d'encroutement et le colmatage des sols observé dans le BSM. Ces observations confortent des travaux antérieurs qui montrent que l'élévation de l'intensité de pâture s'accompagne de la diminution de la productivité de biomasse, de la surface couverte au sol par les plateaux de tallage et de l'augmentation du nombre de touffes (Zoffoun et *al.*, 2011).

Par ailleurs, la transhumance peut contribuer à la fertilité des sols. Cinq pour cent (5 %) des enquêtés utilisent le fumier de ferme pour gérer la fertilité des sols. En effet, le séjour des troupeaux transhumants se négocie parfois entre agriculteurs et éleveurs pour apporter des matières organiques au sol suite au dépôt des déjections animales au cours de leurs passages. C'est pourquoi Jones (2010) dit que la grande diversité de gestion du pâturage, des espèces végétales, des types de sols et de climats peut induire des interactions complexes et rendre parfois contradictoires les effets du pâturage sur les stocks de C des sols et la fertilité du sol.

A l'instar de la croissance démographique et des nombreux facteurs anthropiques (surexploitation des terres, cultures de rente et engrais chimiques), certains facteurs abiotiques non négligeables affecteraient la fertilité des terres et les rendements agricoles dans le bassin supérieur de Magou selon les agriculteurs. Il s'agit notamment de la baisse pluviométrique signalée par 10 % des enquêtés. Si dans l'étude réalisée dans la même zone par Loko et *al*. (2013), c'est seulement 16,45 % d'enquêtés qui classent la diminution de la quantité des pluies comme variabilité climatique majeure, l'accréditation de la thèse de baisse de la fertilité des sols par les changements climatiques dans le BSM devra se faire à partir

d'autres études scientifiques complémentaires. Sur ce, bien d'auteurs comme Luka et Yahaya (2012) puis Adesiji et *al*. (2012) ont prouvé que les changements climatiques affectent négativement les rendements des cultures au Nigéria. Les mêmes perceptions paysannes ont été observées par des études similaires effectuées en Zambie (Nyanga *et al*., 2011), au Nigéria (Ugwoke et *al*., 2012), et même dans les régions du Sud-Bénin (Yabi et Afouda, 2012).

8.2.3 Adaptabilité des mesures endogènes de gestion de la fertilité du sol

Si les agriculteurs affirment que la famine, la malnutrition et les maladies nutritionnelles sont des conséquences de l'appauvrissement des sols dans le bassin supérieur de Magou, cela témoigne de l'insécurité alimentaire qui caractérise le milieu. Or l'une des principales causes de l'insécurité alimentaire est la baisse de la fertilité des sols et leur dégradation (Orou Seko, 2013). La baisse de rendement est liée à la diminution du taux de carbone (Azontondé et *al*., 2016 ; Kombiénou et *al*, 2015). La perception que chaque producteur a sur les conséquences de l'appauvrissement des sols varie en fonction de l'âge, du statut social, du niveau d'instruction et de l'activité secondaire. La malnutrition et les maladies résultant de l'appauvrissement des sols ne devraient pas pousser à l'exode rural selon les agriculteurs de statut moyen ; car ces derniers ont des activités scondaires comme l'artisanat pour pallier le manque et gérer leur quotidien. Les adultes pour qui la baisse des rendements agricoles est la principale conséquence de l'appauvrissement des sols sont ceux qui s'adonnent beaucoup plus aux travaux champêtres. Fort de la capacité d'adaptation, d'innovation et de reconversion des lettrés, ceux-ci estiment que l'appauvrissement des sols ne devrait pas systématiquement justifier la pauvreté et la famine et qu'il faille se battre pour arrondir les fins de campagne agricole. Dans cette bataille de subsistance que mènent les lettrés, l'élevage est un palliatif qui les met à l'abri du besoin. Toutefois ils concèdent sans ambages que le phénomène pousse les agriculteurs à l'exode rural et au vol.

Pour limiter ces effets, les exploitants agricoles du BSM ont recours à plusieurs pratiques à la fois pour gérer la fertilité de leurs terres. Dans le bassin supérieur

de Magou, l'utilisation d'engrais chimiques (32,35 %), surtout chez les adultes, constitue le premier réflexe des agriculteurs pour s'adapter aux difficultés liées à l'appauvrissement des sols. Cela s'explique par la simplicité de cette stratégie, comparativement à d'autres plus contraignantes. La pratique de la jachère (28,61 %), notamment chez les vieux et les semi-lettrés, l'augmentation des superficies emblavées (13,90 %) et la rotation des cultures (13,10 %), demandent la disponibilité de grandes superficies agricoles utiles et de main d'oeuve appropriée que seuls les hommes et les adultes possèdent. Les vieux et les femmes, moins valides, se rabattent sur l'élevage et l'artisanat pour juguler les effets de l'appauvrissement du sol. Les moyens nécessaires à l'augmentation des superficies emblavées ne sont pas à la portée de beaucoup d'agriculteurs. Quant à l'adoption des semences améliorées (12,03 %), elle est plus facile en contexte d'agriculture scientifique ; ce qui n'est pas encore le cas dans le milieu d'étude. Les vieux et les semi-lettrés qui l'adoptent, associent, la plupart du temps, cette technique à l'élevage et à l'artisanat. La pratique de la jachère et les rotations culturales ont pendant longtemps constitué les pratiques de gestion de la fertilité du sol (Yèmadjè et *al.*, 2014). C'est pour cette raison que ces méthodes ont également cours dans d'autres localités du Nord-Bénin notamment le Borgou où la jachère, la fertilisation organique et minérale et la rotation des cultures constituent les types de pratiques pour faire face à la restauration de la fertilité des terres (Djènontin et *al.*, 2002). La jachère a bien souvent le mérite d'abandonner la terre pendant une période plus ou moins longue durant laquelle la végétation naturelle reconstituera le potentiel organique et minéral du sol. Mais avec les pressions foncières de nos jours, l'application de cette pratique culturale devient extrêmement difficile. C'est pourquoi elle est associée à d'autres palliatifs tels que les rotations culturales et l'adoption de semences améliorées adaptées à chaque terre. Les vieux et les semi-lettrés qui adoptent la jachère sont surtout ceux qui associent l'élevage et le petit commerce à l'agriculture. De ce fait, ils ne dépendent plus exclusivement de la nature que doivent attendre impatiemment les autres catégories d'agriculteurs tels les adultes et les illettrés. Les techniques de

la jachère et de la rotation, mal pratiquées, entraînent une rapide tranformation du milieu naturel sur une grande superficie. Cela pousse les adultes à qualifier ces pratiques d'inefficientes.

Par ailleurs, une utilisation intensive des intrants agricoles amplifie la pollution des eaux et un amenuisement progressif des terres (Amoussou et *al.*, 2016). Les vieux et les semi-lettrés du BSM ont aussi approuvé que l'usage anarchique d'engrais chimiques porte atteinte à la qualité du sol. Au regard de ces constats, on peut comprendre que pour faire face à l'appauvrissement des sols, l'utilisation prioritaire d'engrais chimique n'est pas une panacée. Les agriculteurs qui exploitent les produits de plantes sauvages proposent, en premier lieu, les semences améliorées puis, la jachère pour réduire l'appauvrissement du sol ; alors qu'ils sont conscients que l'activité fait reculer de manière drastique le couvert végétal. De longues jachères protégées de toute agression (prélèvement de bois, fabrication de charbon, surpâturage, …) devront être priorisées.

Conclusion

L'analyse des caractéristiques des modes d'utilisation des terres et des fondements des systèmes de culture permettent de comprendre les facteurs probables de dégradation des terres dans le bassin supérieur de Magou. L'hypothèse H1 est donc confirmée. De même, l'hypothèse H2 est vérifiée car les perceptions des agriculteurs permettent d'apprécier les effets des modes d'utilisation des terres sur la fertilité des sols.

Avec les besoins grandissants d'une population sans cesse croissante, il s'impose l'amélioration des systèmes de culture et une meilleure connaissance de l'état organique du sol pour une gestion durable des terres dans ledit bassin.

CHAPITRE IX : DYNAMIQUE DU CARBONE ORGANIQUE DES SOLS ET SON MODE DE REPARTITION DANS LES DIFFERENTES FRACTIONS GRANULOMETRIQUES

L'évolution et la localisation des stocks organiques des sols est un indicateur à prendre en compte dans le jugement sur la durabilité des agroécosystèmes et la protection de l'environnement. Afin d'appréhender quelques facteurs de baisse de la fertilité des sols dans le bassin supérieur de Magou, ce chapitre commente les stocks de carbone organique des sols ainsi que leur répartition dans les différentes fractions granulométriques des sols en fonction des modes d'utilisation des terres, de la topo-séquence, de la profondeur, de la texture et des sites.

9.1 Dynamique du carbone organique des sols

9.1.1 Dynamique du carbone organique suivant la morphologie des sols

Les roches peuvent contribuer différemment et de manière significative en fonction de la vitesse de libération de leurs éléments, à l'amélioration de la qualité du sol (Nono et *al.,* 2010). Ainsi, les stocks de COS dépendent de la variation morphologique des sols. A Pingou où les stocks de COS sont les plus élevés, la couche meuble ne dépasse pas 25 cm. La couleur brun-foncé ou brun-sombre de cet horizon indique la forte concentration de matières organiques. Déjà à partir de 10 cm, la texture est limono-argileuse ; caractère qui concentre le carbone. A partir de 25 cm, l'induration empêche la descente des MOS en profondeur. C'est pourquoi les sols sont rouges à Pingou à partir de cette profondeur. L'essentiel du carbone organique de ces sols se situe à moins de 30 cm de la surface du sol, profondeur limite de notre étude.

Par contre, à Ouankou et à N'Dahonta, la profondeur utile atteint au moins 30 cm voire 40 cm. Sur cette épaisseur, le sol est limono-sableux ou sablo-limoneux très poreux avec un fort drainage ; ce qui laisse passer le COS au-delà des 30 cm de notre étude. C'est la raison pour laquelle les stocks de COS y sont moins élevés qu'à Pingou. Les nombreuses racines observées à cette profondeur à Ouankou et

à N'Dahonta sont liées à la bonne porosité, conformément aux travaux de Tardieu (1990). Ce qui n'est pas le cas à Pingou.

A partir de 35 cm à N'Dahonta, le sol est peu meuble, concrétionné et carapacé. La texture argilo-sableuse ainsi que le caractère graveleux et induré, limitent l'infiltration du COS plus profondément. La couleur rougeâtre témoigne de l'induration responsable du piégeage du COS avant cette profondeur. Or à Ouankou, le caractère compact n'intervient qu'après 50 cm. La dynamique verticale du COS est plus marquée vers la profondeur qu'à N'Dahonta et à Pingou. C'est pourquoi Ouankou enregistre les plus faibles stocks de COS par rapport aux autres sites.

L'adaptabilité des techniques de travail du sol sera donc fonction de la morphologie du sol, des types de culture et d'autres paramètres biotiques et abiotiques.

9.1.2 Dynamique du stock de COS suivant les modes d'utilisation des terres

Les résultats montrent que la variation du stock de COS suit un gradient de végétation. En effet, le plus fort stock de carbone organique a été obtenu dans les formations naturelles. Ces résultats s'accordent avec ceux de la FAO (2002) qui a conclu que les écosystèmes forestiers contiennent plus de carbone par unité de surface que tout autre type d'utilisation du sol. La décroissance du stock de COS constatée entre les formations naturelles et les plantations du BSM n'est pas un fait nouveau. En effet, Marco et *al.* (2010) ont constaté, en Amérique latine, que la conversion en plantation d'une savane ou d'une forêt naturelle dense provoque une réduction du COS sur les vingt premiers centimètres et à l'inverse, la densification du COS sur la même profondeur. Les stocks de COS dans les formations naturelles et dans les plantations sont nettement supérieurs à ceux des jachères et champs car les périmètres boisés empêchent les déplacements de sols et d'éléments nutritifs, et emprisonnent le carbone dans le bois et le sol. Outre le fort potentiel de séquestration du carbone des arbres, l'absence ou la rareté des

feux de végétation dans ces écosystèmes est un facteur qui favorise le stockage du carbone organique dans le sol. Les activités anthropiques contribuent de façon importante à perturber le cycle naturel du carbone et les équilibres des flux entre les différents réservoirs. En effet, les changements d'utilisation des terres et l'usage des combustibles fossiles ont été les principales influences de l'homme sur le cycle du carbone selon Arrouays et *al.* (2002) puis Janzen (2004). C'est pourquoi les stocks de COS des jachères et champs sont plus faibles que ceux des formations naturelles et plantations. La différence entre les stocks de COS des jachères et ceux des champs indiquerait la mise en place d'un équilibre du statut organique des sols de jachère largement tributaire d'un passé cultural et écologique assez lointain (7 ans), mais beaucoup moins influencé par le passé cultural récent des champs. Le retour d'un sol, qui a subi de nombreux cycles culturaux et qui se situe dans un système de savane, à un équilibre originel semblerait alors extrêmement difficile qui ne pourrait pas être atteint après des jachères de moyenne durée ; surtout que les techniques de gestion de la fertilité des sols du BSM reposent essentiellement sur les apports minéraux et non organiques. Or, un apport d'engrais et de matière organique a un effet positif sur le rendement quel que soit le type de sol selon Epolyste et *al.* (2014). Il faut donc tenir compte du système cultural mis en place dans la dynamique du COS. Aholoukpè et *al.* (2013) l'ont prouvé dans le sud-est du Bénin en concluant que les associations culturales et le recyclage des feuilles d'élagage interviennent dans le stock de matière organique des sols sous palmeraies. Au regard de ces constats, on peut accorder de crédit aux perceptions paysannes qui rendent les pratiques agricoles responsables de l'appauvrissement des sols.

Si les plantations de N'Dahonta ont révélé les plus faibles stocks de COS par rapport aux autres MUT dudit site et par rapport aux plantations de Ouankou et de Pingou, cela est lié, dans un premier temps, à la jeunesse (âge ≤ 7 ans) de ces plantations constituées de *Gmelina arborea* par rapport aux autres plantations d'*Acacia auriculiformis* plus vieilles (âge ≥ 7 ans). Dans un second temps, les

champs de coton ont recouvert durant une décennie les parcelles reboisées à N'Dahonta ; alors qu'à Ouankou et à Pingou, le passé cultural récent a duré moins de 10 ans avec plus d'amendement organique. Dans le cas de N'Dahonta, les cotonculteurs de l'aire reboisée avaient plus utilisé les engrais minéraux dans le passé. De 5 à 11 ans, le rapport C/N d'*Acacia auriculiformis* est entre 10 et 13 de 0 à 30 cm dans le Sud du Bénin d'après les travaux d'Agbahungba (2000). D'après les mêmes travaux, le rapport C/N d'*Acacia auriculiformis* est faible (< 15) et indique une forte vitesse de décomposition de la matière organique. Le stock de COS provenant de la plantation d'*Acacia auriculiformis* devant être en principe faible en raison de la forte minéralisation, il faut disposer des mêmes chiffres concernant *Gmelina arborea* pour une étude comparative. Mais les données sur le C/N de cette espèce sont rares. Il est donc difficile d'attribuer les différences de stock de COS au type de plantation.

9.1.3 Dynamique du stock de COS suivant la topo-séquence

Ahoglè (2018) a démontré que la variation spatiale des stocks de carbone est principalement due aux types de systèmes de culture, à la topographie et la texture des dépôts. Les résultats obtenus dans le BSM confirment le rôle du facteur topographie en ce sens que le stock de COS diminue avec l'altitude. Le stockage du COS dans le bassin supérieur de Magou suit donc un gradient hypsométrique. Ces résultats corroborent les résultats obtenus par Guo et *al.* (2006) qui ont montré que les stocks de carbone diminuaient avec l'altitude et qu'ils étaient fonction de l'inclinaison de la pente, les concentrations les plus élevées se situant en bas de pente. L'érosion et le drainage facilitent le transport du COS de l'amont vers l'aval où il s'accumule. A ce sujet, Callesen et *al.* (2003) ont mis en évidence que le drainage est un facteur important à considérer puisqu'il influence la capacité de séquestration du carbone avec les stocks les plus importants dans les sites les moins bien drainés.

Les fortes concentrations de COS en haut de pente par rapport à la mi-pente sont liées, en partie, aux formations naturelles relativement âgées et inexploitées. En

effet, à Pingou, site ayant enregistré le stock le plus élevé, en haut de pente, la rugosité de la surface du sol due au fort taux d'affleurement rocheux empêche tout travail de la terre. Avec l'absence d'activités agricoles, la végétation est encore à l'état quasi-primaire en haut de pente. Ce faciès relativement plat et très proche des habitations reçoit quotidiennement les matières fécales de toute nature. Ces facteurs augmentent le taux de COS en haut de pente si on suppose que les flux de carbone associés au ruissellement de surface et à l'érosion des sols sont faibles en raison de la platitude. De même, Markewitz et *al.* (2004) puis Fujisaki (2014) ont montré, en contexte amazonien, que les flux de carbone (particulaire et dissous) exportés par les eaux de percolation sont insignifiants au regard du stock de carbone contenu dans le sol. Cependant, les forts taux de stock de COS en haut de pente sont inédits. En haut de pente, le sol à texture limono-sableuse est vite lessivé et est très peu humide pour faciliter la minéralisation de la matière organique. L'humification de la matière organique sera alors sous forme de molécules complexes qui possèdent des propriétés similaires aux argiles. La stabilité structurale du sol est plus importante pour résister à l'érosion et au transport du carbone vers l'aval. Si Kombiénou et *al*. (2015) ont obtenu des résultats similaires en constatant que dans le nord-ouest du Bénin, les teneurs en matière organique des sols des plateaux sont plus faibles que celles des sols des versants des montagnes, cela est plus lié, dans leur contexte, à la faible exploitation de ces versants. En se référant aux travaux d'Amoussou et *al*. (2015) qui ont prouvé une baisse pluviométrique et une baisse de l'écoulement dans le BSM, on pourrait penser, dans une certaine mesure, au mauvais drainage qui serait à l'origine des stocks élevés de COS en haut de pente. Mais les données un peu plus récentes de Météo-Bénin (2017) n'indiquent pas le même constat. Selon cette structure technique, c'est plutôt une stabilité des totaux pluviométriques annuels entre 1988 et 2017. Le postulat d'un mauvais écoulement peut se justifier par les effets des changements climatiques. En effet, il ne s'agit pas d'une baisse des totaux pluviométriques annuels mais d'une irrégularité pluviométrique. Les périodes, fréquences et volumes des précipitations sont devenus aléatoires et

imprévisibles selon les agriculteurs. Avec l'élévation des températures ces dernières décennies, une importante quantité des précipitations s'évapore et n'entre pas dans le cycle d'écoulement des eaux. Certes, l'évolution interannuelle des précipitations les trente dernières années est marquée par une alternance de périodes sèches et de périodes humides et l'étude a été réalisée au cours d'un cycle de déficit pluviométrique dans le BSM. Mais les tendances pluviométriques ne sont pas à la baisse.

Par ailleurs, comme l'ont démontré Arrouays et *al*. (2003), latéralement les stocks de C des sols présentent le plus souvent une forte variabilité spatiale. Ceci se traduit généralement par de forts coefficients de variation, à toutes les échelles de mesure.

9.1.4 Dynamique du stock de COS suivant la profondeur

Dans le bassin supérieur de Magou, le stock de carbone organique décroît de la surface à la profondeur. En effet, la plus forte et la plus faible valeurs de stock de COS ont été respectivement obtenues sur la profondeur 0-10 cm (11,63 t/ha) et la profondeur 20-30 cm (4,23 t/ha). La diminution du stock de COS de la surface vers la profondeur dans le BSM est en accord avec les résultats d'Aholoukpè et *al*., (2016) qui ont conclu que verticalement, les stocks de carbone des sols présentent un gradient de la surface vers la profondeur et le gradient peut parfois être très accusé, en particulier en sol forestier. De même, une étude réalisée dans l'écosystème des Iliçaies du Moyen Atlas marocain par Boulmane et *al.* (2014) montre que les stocks de COS diminuent avec la profondeur en suivant une courbe exponentielle à exposant négatif. L'importance du carbone organique dans les premières dizaines de centimètres est liée à la teneur en matière organique accumulée à ce niveau par la litière, la biomasse racinaire et la stabilité des colloïdes organiques contrairement aux colloïdes minéraux (argiles).

9.1.5 Dynamique du stock de COS en fonction de la texture

D'après les résultats de la présente étude, il y a une relation entre la teneur en éléments fins et la teneur en carbone des sols. L'augmentation de la proportion en éléments fins favorise un accroissement des teneurs en matières organiques. Dans les formations naturelles et dans les plantations, la teneur en carbone est positivement corrélée avec la teneur en argile. Mais la corrélation n'est pas significative dans les plantations. Cette relation entre la texture et la teneur en carbone est à rapprocher des travaux réalisés par Alohoutadé (2018). En effet, dans une étude sur un bassin versant agricole sur le plateau Adja au Bénin, ce dernier a établi une corrélation entre teneur en carbone et teneur en éléments fins (< 20µm). Ces résultats sont à nuancer car les sols travaillés échappent à cette loi. En effet, il a été obtenu dans les champs et dans les jachères une corrélation négative entre la teneur en argile et le taux de carbone. Cela suppose que dans ces écosystèmes, un sol à fort taux d'argile est pauvre en carbone. Certaines catégories d'agriculteurs (démunis, à revenus moyens et illettrés) l'ont évoqué ; car selon ceux-ci, un sol est appauvri lorsqu'il a une texture fine ou très fine. Dans les champs, ce constat peut s'expliquer par deux faits : i) le retournement continuel du sol sur une profondeur de 30 cm environ a fait remonter à la surface l'horizon d'accumulation qui est beaucoup plus riche en argile ; ii) sur le bassin supérieur de Magou les pratiques agricoles adoptées (surtout le brûlis de la végétation morte ou vivante en début de saison de culture) appauvrissent fortement le pool organique du sol. Par ailleurs, le constat dans les jachères peut être dû au fait qu'après une longue période de mise en culture, la courte période de jachère n'est pas encore suffisante pour impacter significativement le stock organique des sols. Selon Kouelo (2016), il faut au moins 30 ans de jachère pour combler les impacts négatifs de 10 ans d'utilisation du sol en Afrique sub-saharienne. Aussi, les jachères sont-elles affectées par des feux de végétation.

En somme, dans le bassin supérieur de Magou, la teneur et le stock de COS sont influencés par les modes d'utilisation des terres, la profondeur et la topo-séquence. L'hypothèse H3 est alors vérifiée.

9.2 Répartition du carbone organique du sol dans les différentes fractions granulométriques du sol suivant les modes d'utilisation des terres

L'enrichissement en COS augmente avec la taille des fractions organiques contrairement aux résultats de Christensen (2001) qui notifie que la valeur du coefficient d'enrichissement baisse dans les fractions sableuses. Dans le cas d'espèce, c'est le rapport sables/argiles relativement élevé (7,16) qui justifie l'inversion des résultats. Les sols du BSM étant limono-sableux, les fractions organiques associées aux sables apportent environ 90 % au COS. L'enrichissement en carbone est d'ailleurs le plus fort dans la fraction sable grossier (4,11). Ce carbone fourni en grande partie par les fractions organiques associées aux sables (F200 et F50) est labile et ne pourrait résider longtemps dans le sol en raison de la porosité qui offre des facilités d'entrée des acteurs biologiques de la décomposition. C'est pourquoi les teneurs en C sont en général faibles (0,78 %) dans le bassin versant. Les résultats de la présente étude confirment ceux d'Azontondé et *al.* (2016) qui notifient que les sols du bassin supérieur de Magou ont un niveau de fertilité bas à très bas avec 0,69 % de taux de carbone. La teneur en carbone de chaque fraction et l'EC varient significativement ($p<0,05$) suivant le mode d'utilisation des terres et la profondeur du fait que la teneur en carbone organique du sol suit un gradient de végétation et diminue de la surface en profondeur.

Le carbone des fractions supérieures à 50µm est dans les normes de 30 % du carbone total (Bruckert et *al*., 1978).

Les rapports C/N sont globalement très faibles (10,24) pour entraîner une stabilité de la matière organique du sol. Dans les formations naturelles, le rapport C/N augmente avec les fractions grossières. Ce résultat est en accord avec celui de

Feller et *al.* (1983) obtenu sur les sols sableux tropicaux et stipulant que le rapport C/N diminue des fractions grossières aux fractions fines. Des auteurs (Baldock, 1992 ; Christensen, 2001) montrent la baisse du C/N de la matière organique associée aux différentes fractions avec leur taille. Si une telle décroissance du rapport C/N de F200 à la fraction organo-minérale (FOM) a été également constatée dans les Lixisols et les Cambisols des régions centre et centre-nord du Sahel (Pallo et *al*., 2009), c'est le phénomène inverse qui est plutôt observé dans les plantations des sols ferrugineux tropicaux du bassin supérieur de Magou où le CFOM augmente avec le C/N. Il est dû aux très faibles teneurs en matière organique de ces sols (1,05 %) et à leur texture un peu grossière. En particulier, plus le rapport sables / argiles est élevé, plus C/N F200 est bas. La fraction organique liée aux sables pourrait aussi être constituée plus de matières organiques particulaires externes décomposables que de matières organiques particulaires internes aux agrégats stables. Par ailleurs, dans les champs, le C/N augmente à la fois avec F200 et FOM. Cela résulte des caractéristiques texturales du sol. En effet, on relève que l'enrichissement en CF200 varie dans le même sens que les taux d'argiles et d'argiles + limons totaux. La raison en est que ces particules participent à la formation d'agrégats de la classe des sables grossiers ayant pour noyau des particules organiques et demeurant stables à l'eau (Golchin et *al.*, 1998). Le dérèglement de la texture du sol causé par le labour peut aussi justifier le comportement du C/N dans les champs. Dans les jachères, l'augmentation du C/N avec les trois fractions à la fois est le signe du rétablissement progressif de l'équilibre rompu avec le labour. C'est ce qui justifie un coefficient positif de F50 plus élevé alors qu'il était négatif dans les champs.

Les teneurs moyennes en carbone lié aux sables grossiers et aux sables fins étant les plus faibles dans les champs, respectivement 1,07 % et 0,81 %, et partant de ce que la topo-séquence n'a d'effet significatif que sur la contribution en carbone lié aux sables fins, l'hypothèse H4 selon laquelle la mise en culture entraîne une augmentation de la teneur en carbone dans les fractions grossières des sols suivant

les horizons et les niveaux de la topo-séquence n'est pas totalement vérifiée, quand bien même ces teneurs semblent diminuer de la surface en profondeur quelle que soit la fraction.

Conclusion

La variation des teneurs et stocks de carbone organique des sols dans le bassin supérieur de Magou dépend de plusieurs paramètres dont les modes d'utilisation des terres, la profondeur, la topo-séquence et les fractions granulométriques. Des actions visant à augmenter et à stabiliser ces stocks contribueront à une gestion agronomique durable et à une atténuation du changement climatique (en ralentissant l'augmentation du taux de CO_2 dans l'atmosphère).

CONCLUSION GENERALE

L'étude des influences des modes d'utilisation des terres sur les stocks de carbone dans le bassin supérieur de Magou a permis, dans un premier temps, de caractériser les modes d'utilisation des terres et les systèmes de culture pratiqués dans le bassin. Il ressort que des pratiques susceptibles de contribuer à l'appauvrissement des sols y sont adoptées alors que les activités agricoles occupent une place prépondérante dans l'économie du milieu.

Avec l'analyse des perceptions des agriculteurs, les difficultés que les agriculteurs rencontrent, les indicateurs et les causes de l'appauvrissement des sols puis les impacts de l'appauvrissement des sols ainsi que les stratégies d'adaptation ont été identifiés. L'appauvrissement des sols étant la principale difficulté, la présence et/ou l'absence de certaines espèces végétales sur ces sols permettrai(en)t d'apprécier leur état de fertilité d'après les agriculteurs. Les agriculteurs interrogés pensent majoritairement que les trois premières causes de l'appauvrissement des sols sont respectivement la déforestation et les feux de végétation aux fins agricoles puis la pâture ; pratiques qui impactent négativement le milieu aux plans socio-économique et environnemental. Les stratégies utilisées pour faire face à l'appauvrissement des sols sont entre autres l'usage d'engrais chimiques suivi de la pratique de la jachère.

De plus, l'évaluation des teneurs et stocks de carbone organique du sol suivant les modes d'utilisation des terres a établi des rapports étroits entre les pratiques des activités agricoles et la fertilité, surtout organique, des sols. Dans le bassin, le mode d'utilisation des terres, la profondeur, la topo-séquence et la texture influencent les stocks de carbone organique des sols déjà morphologiquement défavorisés. Dans l'ensemble, les teneurs en C sont faibles et le stock de COS suit un gradient de végétation avec les plus forts taux dans les formations naturelles et les plus faibles dans les champs en passant respectivement par les plantations et les jachères. Verticalement, le stock de COS diminue de la surface vers la

profondeur. Par rapport à la topo-séquence, le stock le plus élevé est au bas de pente alors que le plus faible est à mi-pente.

Par ailleurs, le stock de COS est significativement corrélé avec la teneur en Argile+Limon surtout dans les jachères.

Ces résultats sont enfin approfondis dans la distribution de la matière organique et donc du carbone dans les différentes fractions granulométriques du sol. Ainsi, l'enrichissement en COS augmente avec la taille des fractions organiques et varie suivant le mode d'utilisation des terres et la profondeur. La topo-séquence n'a d'effet significatif que sur la contribution en carbone lié aux sables fins. Dans les formations naturelles, le rapport C/N évolue positivement avec le carbone lié au sable grossier et le carbone lié au sable fin. Parlant des champs, c'est le carbone lié aux sables grossiers et le carbone lié à la fraction argilo-limoneuse qui font augmenter le C/N. Dans les jachères, ce rapport évolue plus positivement avec le carbone lié au sable fin. En ce qui concerne les plantations, seul le carbone lié à l'argile et au limon contribue positivement au rapport C/N.

Cette étude confirme l'influence des modes d'utilisation des terres sur le stock et la dynamique du carbone organique aussi bien verticalement que horizontalement dans le sol. L'importance des caractéristiques texturales et des fractions granulométriques sur les statuts organiques des sols du milieu d'étude a été aussi mise en évidence.

Au total, il est à retenir que les 3 premières hypothèses sont vérifiées alors que la quatrième l'est partiellement.

En conséquence, pour relever le faible niveau de fertilité des sols et minimiser les risques de dégradation rapide à l'avenir, il est suggéré :

- **A l'endroit des agriculteurs**

- Le développement des pratiques agricoles susceptibles de stimuler l'accumulation de carbone additionnel avec une augmentation de la fertilité des sols et des effets positifs sur la productivité des terres et sur l'environnement.

- Le respect des iténéraires techniques pour chaque culture.
- Le développement de l'agro-foresterie.
- Le respect de l'aptitude culturale des sols.
- Une meilleure gestion des engrais chimiques en attendant la généralisation de l'usage des engrais biologiques.
- La valorisation des résidus de récolte et des déjections animales.
- Le développement des semis directs sous couvert végétal.
- L'amélioration des systèmes de production.
- L'amendement des sols par la valorisation des déchets biodégradables.
- La pratique des mesures de lutte anti érosives.

- **A l'endroit des aménagistes**

- La prise en compte de la notion de durabilité dans la gestion des sols dans les programmes d'aménagement du territoire.
- La réalisation d'une meilleure affectation des terres.

- **A l'endroit des décideurs**

- L'adoption de politiques efficientes de conservation des sols.
- Le respect des Schémas Directeurs d'Aménagement des Communes (SDAC).
- La règlementation des feux.
- La vulgarisation des meilleures techniques de rotation.
- Le renforcement de l'encadrement des agriculteurs et la gestion intégrée de la fertilité des sols.

La présente recherche, loin d'étudier les échanges de carbone suivant tout le cycle, n'a abordé la question que dans un des quatre réservoirs, c'est-à-dire le sol. De même, la notion de temps puis tous les facteurs de caractérisation et de transformation de la matière organique n'ont pas été pris en compte dans l'etude de la dynamique du carbone dans le bassin. C'est pourquoi, en perspectives, il est souhaité au terme de ce travail que :

- les échanges de carbone à travers les différents réservoirs et pools soient étudiés dans le bassin supérieur de Magou ;
- d'autres études se poursuivent pour modéliser la dynamique de COS dans le bassin sur des dizaines d'années en vue de meilleures prévisions dans les aménagements et les décisions ;
- l'étude de la variabilité du COS tienne aussi compte des autres paramètres écologiques et physico-chimiques qui conditionnent les pertes et minéralisation de carbone et la décomposition de la matière organique.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Adam K. S. & Boko M., 1993. Le Bénin. Paris : Flamboyant/EDICEF, 96 p.

Adegbidi A. & Adjovi E., 1999. *Profil d'inégalité au Bénin, Cahier de recherche de l'équipe MIMAPBENIN*, Université Nationale du Bénin, 97p.

Adesiji G.B., Matanmi B.M., Onikoyi M.P. & Saka M.A., 2012. Farmers' perception of climate change in Kwara State, Nigeria, *World Rural Observations,* 4 (2): 46 - 54

Affaton P., 1990. Le bassin des volta (Afrique de L'Ouest) : une marge passive, d'âge protérozoïque supérieur, tectonisée au panafricain (600 plus ou moins 50Ma). Paris : ORSTOM, 499 p.

AFNOR, 1996. Qualité des sols. Recueil de normes françaises. 3è éd. Paris-La Défense. 534 p.

Agbahungba A. & Assa A., 2000. Etude de l'évolution des sols sous *Acacia auriculiformis* (Cunn. A) et caractérisation de la matière organique de l'espèce dans trois stations forestières dans le sud du Bénin. *Bulletin de la recherche agronomique,* 30 :18-36

Ahoglè A.M.A., 2018. Effet des systèmes de culture et de la pente sur le statut organique du sol sur bassin versant de Kiti (commune de Djidja au Bénin). Mémoire de Master professionnel, Faculté des Sciences Agronomiques/Université d'Abomey-Calavi, 76p.

Aholoukpè H., Vissoh V.P., Amadji G., Deleporte P., Dubos B., Nodichao L. & Balavet D., 2013. Typologie des plantations villageoises de palmier à huile (Elaeis guineensis Jacq.) dans le département du Plateau au Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, ***7***(3), 978-999.

Aholoukpè H.N.S., Amadji G.L., Blavet D., Chotte J.L., Deleporte P., Dubos B., Flori A. & Jourdan C., 2016. Effet de la gestion des feuilles d'élagage du palmier à huile sur le stock de carbone et les propriétés physicochimiques du

sol dans les palmeraies villageoises du Bénin. *Biotechnologie Agronomie société et environnement,* 20 (2) : 171-182.

Akplo T. M., Kouelo A. F., Houngnandan P., Benmansour M., Rabesiranana N., Mabit L., Ahoglè Agassin M. A. & Alohoutade F. M., 2017. Effect of tillage and mulching on soil water erosion in linsinlin watershed, centre of Benin. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*, 5(4): 515-524

Akpo M. A., Saïdou, A., Yabi I., Balogoun I., & Bio Bigou B. L., 2016. Indicateurs paysans d'appréciation de la qualité des sols dans le bassin de l'Okpara au Bénin. *Etude et Gestion des Sols*, 23 : 53-65.

Alohoutadé M.F., 2018. Effet des systèmes de culture et de la pente sur la dégradation du sol du bassin versant de Kpacomey (commune d'Aplahoué au Bénin). Mémoire de Master professionnel, Faculté des Sciences Agronomiques/Université d'Abomey-Calavi, 60p.

Amoussou E., Totin H. S. V., Vissin E. W., Mahe G., Houndénou C. & Boko M., 2015. Modélisation pluie-débit pour la gestion intégrée des ressources en eau (GIRE) de surface dans le bassin-versant de la Volta au Bénin. *Revue de géographie du laboratoire Leïdi,* 13: 282-296

Amoussou E., Vodounon S. T., Hougni A., Vissin E. W., Houndenou C., Mahe G., & Boko M., 2016. Changements environnementaux et vulnérabilité des écosystèmes dans le bassin-versant béninois du fleuve Niger. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 10 (5): 2183-2201.

Anago Codjo E., Tissingou B., Mouyore C. & Yekou K., 2005. Rapport de diagnostics participatifs centré sur la gestion de la fertilité des sols dans 5 villages de la commune de Toucountouna, IDP- Toucountouna, 67 p.

Angers D. A., Bolinder M. A., Carter M., Gregorich R. E. G., Drury C. F., Liang B. C., Voroney R. P., Simard R. R., Donald R. G., Beyaert R. P. & Martel J., 1997. Impact of tillage practices on organic carbon and nitrogen in cool, humid soils of eastern Canada. *Soil & Tillage Research,* 41: 191-201.

Angers D. A., Voroney R. P. & Côté D., 1995. Dynamics of soil organic matter and corn residue affected by tillage practices. *Soil Science Society of America Journal*, 59: 1311-1315.

Arrouays D., Balesdent J., Germon J. P., Jayet P.A., Soussana J.F. & Stengel P., 2002. Stocker du carbone dans les sols agricoles de France ? Expertise scientifique collective. Institut national de la recherche agronomique (INRA). France. 322 p.

Arrouays D., Feller C., Jolivet C., Saby N., Andreux F., Bernoux M. & Cerri C., 2003. Estimation de stocks de carbone organique des sols à différentes échelles d'espace et de temps. Étude et Gestion des Sols, 10 (4) 347 - 355

Atchada C. C., 2014. Caractérisation organique et granulométrique des sols autour des barrages hydro-agricoles de l'Atacora au Bénin. Mémoire de DEA, Université de Parakou, Ecole Doctorale Pluridisciplinaire, 81p.

Azontondé H. A., 1991. Propriétés physiques et hydrauliques des sols au Bénin. *Soil Water Balance in the Sudano Sahelian Zone IAHS* (Proceedings of the Niamey Workshop), 199:1991-338

Azontondé H. A., Igue A. M., & Agbahoungba A. G., 2003. Etude sur la teneur en carbone organique du sol et de la biomasse ligneuse dans les zones d'intervention du Programme de Gestion des Forêts et Terroirs Riverrains (PGFTR). LSSEE/INRAB (Bénin), 63p.

Azontondé H. A., Igué A.M. & Dagbénonbakin G., 2016. La carte de fertilité des sols du Bénin par zone agro-ecologique du Bénin. LSSEE/CRA-AGONKANMEY/INRAB, 138p.

Baldock J.A., 1992. Aspects of the chemical structure of soil organic materials, 13-17

Balesdent J, Chenu C, Balabane M. 2000. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil and Tillage Research*, **53**: 215-230. https://doi.org/10.1016/S0167-1987(99)00107-5

Balesdent J., Mariotti A. & Boisgontier D., 1990. Effect of tillage on soil organic carbon mineralization estimated from 13C abundance maize. *Fields Journal of Soil Science*, 41: 587-596.

Bardgett R.D. & Wardle D.A., 2003. Herbivore-mediated linkages between aboveground and belowground communities. *Ecology*, 84: 2258–2268

Batjes N.H., 1996. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of Sail Science*, 47: 151-163.

Beare M. H., Hendrix P. F., & Coleman D. C., 1994. Water-stable aggregates and organic matter fractions in conventional-and no-tillage soils. *Soil Science Society of America Journal*, *58*(3) : 777-786.

Bello O.D., Saïdou A., Ahoton E.L., Avaligbé J.F.Y., Ezin A.V., Akponikpè P.B.I. & Aho N., 2017. Assessment of organic carbon stock in cashew plantations (*Anacardium occidentale* L.) in Benin (West Africa). *International Journal of Agriculture and Environmental Research*, **3** (4): 3471-3495.

Bernoux M. & Chevallier T., 2013. Le carbone dans les sols des zones sèches. Des fonctions multiples indispensables. Les dossiers thématiques du CSFD. *CSFD/Agropolis International N*°10. Montpellier, France. 40p.

Bernoux M. & Chevallier T., 2003. Le carbone dans les sols des zones sèches. Des fonctions multiples indispensables. Comité Scientifique Français de la Désertification (sur le site http://www.csf-desertification.org consulté le 11 juin 2017)

Boulmane M., Santa-Regina I., Khia A. & Oubrahim H., 2014. Éstimation du stock de carbone organique dans l'écosystème des iliçaies du Moyen Atlas marocain. *Nature & Technology*, 11: 6 DOI

Bronick C. J. & R. Lai. 2004. Soil structure and management: a review. Geoderma, 124 : 3-22.

Bruckert S., Andreux F., Correa A. & Ambouta J.M.K., 1978. - Fractionnement des aggrégats appliqué à l'analyse des complexes

organo-minéraux des sols. II[e] Congrès Int. Assoc. SC. du sol, Edmonton, Canada.

Callesen L., Liski L., Raulund-Rasmussen K., Olsson M.T., Tau-Strand L., Vesterdal L. & Westman C.L., 2003. « Soil carbon stores in Nordic weil drained forest soils relationships with climate and texture class ». *Global Change Biology*, 9 : 358-370.

Chevallier T., 2000. Dynamique et déterminants du stockage du carbone dans un vertisol sous prairie (Martinique). Thèse de Doctorat. Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier ; 142 p. + Annexes.

Christensen B.T., 1996. Carbon in primary and secondary organo-mineral complexes, in Carter, M. R., Stewart, B. A.: Structure and Organic Matter Storage in Agricultural Soils. *Press Inc, Boca Raton, FL, USA*, pp. 97–165

Christensen B.T., 2001. Physical fractionation of soil and structural and functional complexity in organic matter turnover. *European journal of Soil Science*, (52): 345-353.

CNDD, 2008. Diagnostic de l'Auto-évaluation Nationale des Capacités à Renforcer pour la Gestion de l'Environnement Mondial du Bénin. MEHU PNUD FEM, 197p.

Cole I. (Ed.), 1996. Carl Andre and the sculptural imagination (Vol. 2). Museum of Modern Art.

CRAAQ, 2003. Guide de référence en fertilisation. l[ère] édition. Canada, Québec, 294 p.

Dagnelie P., 1998. Théories et Modèles Statistiques, Applications Agricoles, Tome 2, 21[ème] Édition, 464 p.

Deen W. & Kataki P. K., 2003. Carbon séquestration in a long-term conventional versus conservation tillage experiment. *Soil & Tillage Research*, 74 : 143-150.

Demolon A., 1932. La Dynamique du sol. *Journal d'agriculture traditionnelle et de botanique appliquée*, 12(135), 934-940.

Derner J. & Schuman G., 2007. Carbon sequestration and rangelands: A synthesis of land

Djènontin J. A., Wennink B., Dagbénongbakin G. & Ouinkoun G., 2002. Pratiques de gestion de fertilité dans les exploitations agricoles du Nord-Bénin. *Actes du colloque*, 27-31 mai 2002, Garoua, Cameroun

Djohy G. 2010. Une analyse des dynamiques sociopolitiques et organisationnelles d'adaptation des éleveurs transhumants dans l'Alibori (Nord – Bénin). Thèse d'Ingénieur agronome, FA/UP, Université de Parakou, Benin p. 122.

Doran J. W., 1980. Soil microbial and biochemical changes associated with reduced tillage. *Soil Science Society of America Journal*, 44: 765-771.

DSA, 2017. Evolution de la production agricole. Cotonou, 37 feuilles

Egah J. Baco M. N., Lokossou R. S., Moutouama F. T., Akponikpè P. B. I, Fatondji D., Djènontin A. J., Tossou C. R. & Sokpon N., 2014. Incidence économique des techniques exogènes de conservation de l'eau et des sols au Bénin. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin*, 75(1) 1840 -7099

Epolyste A., Yacouba H. & Zombre P.N., 2014. Etat de fertilité des sols du périmètre irrigué gravitaire de Gouran dans la vallée du Sourou au Burina Faso : Constats et perspectives. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, ***8***(5), 2119-2131.

FAO, 1988. Directives: Evaluation des Terres pour l'Agriculture Pluviale - *Bulletin Pédologique de la FAO* – 52

FAO, 1998. Base de référence mondiale pour les ressources en sols. Rapport sur les ressources en sols du monde n° 84. FAO, Rome, Italie, 96p. ISBN 92-5-204-141-9

FAO, 2002. Rapport sur les ressources en sols du monde. « La séquestration du carbone dans le sol pour une meilleure gestion des terres ». Rome, 70p.

FAO, FIDA, 2015. L'état de l'insécurité alimentaire dans le monde 2015. *Objectifs internationaux*.

Faure P., 1977. Carte pédologique de reconnaissance de la République Populaire du Bénin à 1/200000. Feuilles de Natitingou et de Porga, ORSTOM.

Feller C., 1979. Une méthode de fractionnement granulométrique de la matière organique des sols. *Cahier ORSTOM: Série Pédologie*, *17* : 339-346.

Feller C., Bernhard-Reversat F., & Garcia J. L., 1983. Etude de la matière organique de différentes fractions granulométriques d'un sol sableux tropical : effet d'un amendement organique (compost). *Cahiers ORSTOM. Série Pédologie*, *20*(3) : 223-238.

Fierer N., Schimel J. P. & Holden P. A., 2003. Variations in microbial community composition through two soil depth profiles. *Soil Biology & Biochemistry*, 35: 167-176.

Franquin P., 1969. Analyse agro-climatique en régions tropicales : saison pluvieuse et saison humide. Application. *Cahiers ORSTOM*, série biologie, Paris, N°9

Frey, S. D., Elliot E. T. & Paustian K., 1999. Bacterial and fungal abundance and biomass in conventional and no-tillage agroecosystems along two climatic gradients. Soil Biology & Biochemistry 31: 573-585.

Fujisaki K., 2014. Devenir des stocks de carbone organique des sols après déforestation et mise en culture : une analyse diachronique en contexte amazonien. Thèse de doctorat. Centre international d'études supérieures en sciences agronomiques, Montpellier, 237p.

George P., 1956. La campagne. *Presses universitaires de France*.

George P., 1996. Dictionnaire de la Géographie, Pari, PUF, 500p.

Girard M.C., Schvartz C., Jabiol B., 2011. Étude des sols. Description, cartographie, utilisation. Dunod éd., Paris, 432p.

Glèlè Kakaï R., Salako V.K. & Lykke A.M., 2016. Techniques d'échantillonnage en étude de végétation. *Annales des Sciences Agronomiques* 20 - spécial Projet Undesert-UE : 1-13 ISSN 1659-5009.

Gobat J.M., Aragno, M. & Matthey W., 2010. Le sol vivant: bases de pédologie, biologie des sols (Vol. 14). PPUR Presses polytechniques.

Golchin A., Baldock J.A. & Oades J.M., 1998. A model linking organic matter decomposition, chemistry and aggregate dynamics. In: Lal R., Kimble J.M., Follet R.F. & Stewart B.A, eds. *Soil processes and carbon cycle*. Boca Raton, Fl., USA: CRC Press Inc., 245-266.

Gourrat M., 2012. Valorisation des enquêtes agronomiques du Réseau de Mesure de la Qualité des Sols. Etude Infosol. 53p.

Green V.S., Stott D.E., Cruz J.C & Curi N., 2007. Tillage impacts on soil biological activity and aggregation in Brazilian Cerrado oxisol. Soil. Till. Res. 92: 114-121.

Gregorich E. G., Ellert B. H., Drury C. F. & Liang B. C., 1996. Fertilization effects on soil organic matter turnover and corn residue C storage. Soil Science Society of *America Journal* 60: 472-476.

Gregorich E. G., Rochette P., Vanden Bygaart A. J. & Angers D. A., 2005. Greenhouse gas contributions of agricultural soils and potential mitigation practices in eastern Canada. *Soil & Tillage Research* 83: 53-72.

Guggenberger G., Frey S. D., Six J., Paustian K. & Elliot E. T., 1999. Bacterial and fungal cell-wall residues in conventionnal and no-tillage agroecosystems. *Soil Science Society of America Journal,* 63: 1188-1198.

Guo G., Zhang H., Araya K., Jia H., Ohomiya K. & Matsuda J., 2006. Improvement of saltaffected soils, Part 3: Specifie Heat of Salt-affected soils. *Biosystems Engineering*, 97:413-418.

Hassink J., 1997. The capacity of soils to préserve organic C and N by their association with clay and silt particles. *Plant and Soil,* 191 : 77-87.

Herfurth D., 2015. Impact des pratiques de gestion sur le stockage du Carbone dans le sol des écosystèmes prairiaux. Thèse unique de doctorat, Université d'Auvergne, France, 203p.

Houinato M. & Sinsin B., 2000. La presion agropastorale sur la zone riveraine de la Réserve de Biosphère de la Pendjari. *Tropicultura,* 18 (3): 112-117 https://www.asjp.cerist.dz/en/downArticle/47/8/11/40768

Huggins D. R., Allmaras R. R., Clapp C. E., Lamb J. A. et Randall G. W., 2007. Cornsoybean séquence and tillage effects on soil carbon dynamics and storage. *Soil Science Society of America Journal*, 71: 145-154.

INSAE, 2013. République du Bénin, Evaluation de la pauvreté au Bénin, 218p.

INSAE, 2015. RGPH4 : Que retenir des effectifs de population en 2013 ? DED, 33p.

INSAE, 2016. RGPH4 : Effectifs de la population des villages et quartiers de ville du Bénin. 83p.

IPCC, 2003. Land Use Change and Forestry Sector Good Practice Guidance. In: Jim Penman, M.G., Taka Hiraishi, Thelma Krug, Dina Kruger,, Riitta Pipatti, L.B., Kyoko Miwa, Todd Ngara,, Wagner, K.T.a.F. (Eds.), IGood Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Institute for Global Environmental Strategies (IGES) for the IPCC, Japan.

Islam K.R. & Weil R.R., 2000. Land use effects on soil quality into tropical forest ecosystem of Bangladesh. *Agric. Ecosystems Environ*. 79: 9-16.

Janzen H. H., 2004. Carbon cycling in earth Systems - a soil science perspective. *Agricultuer*, *Ecosystems and Environment,* 104: 399-417.

Jones H. P., 2010. Seabird islands take mere decades to recover following rat eradication. *Ecological Applications*, *20*(8), 2075-2080.

Katé S., Dagbenonbakin G., Agbangba C. E., de Souza J. F., Kpagbin G., Azontondé A., Ogouwalé E., Tenté B., & Sinsin B., 2014. Perceptions

locales de la manifestation des changements climatiques et mesures d'adaptation dans la gestion de la fertilité des sols dans la Commune de Banikoara au Nord-Bénin. *Journal of Applied Biosciences* 82:7418-7435

Kjeldahl J.T., 1883. Neue methode zur bestimmung des stikstoffes in organischen korper Z. Anal Chem

Kombiénou P.D., 2016. Influences des systèmes de production agricoles sur l'occupation des terres, la fertilité des sols et l'agro-biodiversité en zone montagneuse dans le département de l'Atacora au Bénin. Thèse de doctorat de l'Université d'Abomey-Calavi, 280p.

Kombienou P.D., Arouna O., Azontondé A. H., Mensah G. A. & Sinsin B. A., 2015. Caractérisation du niveau de fertilité des sols de la chaîne de l'Atacora au Nord-Ouest du Bénin. *Journal of Animal &Plant Sciences*, 25(2): 3836-3856

Kombiénou P.D., Arouna O., Azontonde H.A., Mensah G. A. & Sinsin A. B., 2014. Influences des activités agricoles sur la fertilité des sols de la chaîne de l'Atacora au Nord-Ouest du Bénin, Rev. Sc. Env. Univ., 1 : 381- 404

Kouelo A.F., 2016. Effets des pratiques culturales sur la dégradation du sol au niveau des trois bassins versants du sud Bénin. Thèse de Doctorat en Sciences Agronomiques, Universités d'Abomey-Calavi, Bénin, 239 pages.

Kouelo A.F., Houngnandan P., Azontondé H. A., Benmansour M., Rabesiranana N., Mabit L., 2015. Assessment of the level of soil degradation in three watersheds affected by intensive farming practices in Benin. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*, 3(6):529-540.

Koutika L.S., Bartoli F., Andreux F., Cerri C. C., Burtin G., Choné Th. & Philippy R., 1997. Organic matter dynamics and aggregation in soils under rain forest and pastures of increasing âge in the eastern Amazon Basin.

Lai R., 2004. Soil carbon sequestration impacts on climate change and food security. *Science*, 304 : 1623-1627.

Loko Y. L., Dansi A., Agré A. P., Akpa N., Dossou-Aminon I., Assogba P. & Sanni A., 2013. Perceptions paysannes et impacts des changements climatiques sur la production et la diversité variétale de l'igname dans la zone aride du Nord-ouest du Bénin, *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, *7* (2) : 672- 695.

Luka E.G. & Yahaya H., 2012. Sources of awareness and perception of the effects of climate change among sesame producers in the southern agricultural zone of Nasarawa State, Nigeria, *Journal of Agricultural Extension*, 16 (2) : 134-143

MAEP, 2011. Rapport annuel, Direction de l'élevage, 38p.

MAEP, 2014. Rapport annuel, Direction de l'élevage, 36p.

MAEP, 2017. Rapport annuel, Direction de la Production Animale, 47p.

MAEP, 2018. Rapport annuel, Direction de la Production Animale, 53p.

Maignien R., 1980. Manuel pour la description des sols sur le terrain. Paris, ORSTOM, 112p. + annexes

Marco P., Henry M., Blavet D. & Bernoux M., 2010. Variation des stocks de carbone organique du sol après plantation forestière : essai de méta-analyse incluant quelques situations d'Amérique latine. *Bois et Forêts des Tropiques*, *305* : 21-32.

Markewitz D, Davidson E, Moutinho P & Nepstad D., 2004. Nutrient loss and redistribution after forest clearing on a highly weathered soil in Amazonia. *Ecological Applications*, 14, 177–199.

Martens D. A., 2000a. Pant residue biochemistry régulâtes soil carbon cycling and carbon séquestration. *Soil Biology & Biochemistry,* 32: 361-369.

Martens D. A., 2000b. Management and crop residue influence soil aggregate stability. *Journal of Environmental Quality* 29: 723-727.

Masse D., Hien V., Bilgo A., Diatta M., Manlay R.J. & Chotte J.L., 2005. La lutte contre la dégradation des terres, bilan des acquis et nouvelles perspectives de recherches. Tunis. Séminaire International « Territoires et aridité au Nord et au Sud du Sahara » 13 juin

Mc Conkey B. G., Liang B. C., Campbell C. A., Curtin D., Moulin A., Brandt S. A. & Lafond G. P., 2003. Crop rotation and tillage impact on carbon séquestration in Canadian prairie soils. *Soil & Tillage Research, 74*: 81-90.

Mcsherry M.E. & Ritchie M.E., 2013. Effect of grazing on grassland soil carbon a global review. *Global Change Biology,* 19: 1347–1357

Merlier H. & Montegut J., 1982. Adventices tropicales, Montpellier, ORSTOM – GERDAT – ENSH, 490 P.

Météo Bénin, 2017. Données climatiques de la station de Natitingou, 6 feuilles

Meynier A., 1958. Les paysages agraires, Paris

Milchunas D.G. & Lauenroth W.K., 1993. Quantitative effects of grazing on vegetation and soils over a global range of environments. *Ecol. Monogr*., 63: 327-366.

Morsli B., Mazour M., Mededjel N., Hamoudi A., & Roose E., 2004. Influence de l 'utilisation des terres sur les risques de ruissellement et d'érosion sur les versants semi-arides du nord-ouest de l 'Algérie. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, *15*(1), 96-104.

Mulindabigwi V., 2005. Influence des systèmes agraires sur l'utilisation des terroirs, la séquestration du carbone et la sécurité alimentaire dans le bassin versant de l'Ouémé supérieur au Bénin. University Kassel, Tropentag, Kassel/Germany, 232p.

Nair P. K. R. & Nair V. D., 2003. Carbon storage in North American agroforestry systems. In: Kimble J., Heath L. S., Birdsey R. A., Lal R. (éd.). The Potential of U.S. Forest Soils to Sequester Carbon and Mitigate the Greenhouse Effect. *Boca Raton, FL, États-Unis, CRC Press,* 333-346.

Naitormbaide M., 2007. Effets des pratiques paysannes actuelles de gestion de la fertilité sur les caractéristiques physico-chimiques et la productivité des sols de savanes du Tchad : cas de Nguétté I et Gang. Mémoire de DEA, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, 70p.

Nono A., Ze A. M. & Kouam S. K., 2010. Etude de la désorption des éléments nutritifs de certains matériaux agrogéologiques du Cameroun. *International Journal of Biological and Chemical Sciences, 4*(4): 898-915

Nosetto M., Jobba E. & Paruelo J., 2006. Carbon sequestration in semi-arid rangelands: Comparison of Pinus ponderosa plantations and grazing exclusion in NW Patagonia. *Journal of Arid Environments*, 67 : 142–156

Nukpo A., 2016. Fondamentaux de Géographie du Bénin, ÉPA/CÉRADE, Porto-Novo, 69p.

Nyanga H., Johnsen F.H., Aune J.B., 2011. Small holder farmers' perceptions of climate change and conservation agriculture: evidence from Zambia, *Journal of Sustainable Development*, 4 (4): 73 – 85

Orou Seko R., 2013. Contribution à la restauration des sols agricoles dans la Commune de Banikoara. Diplôme d'Etude Approfondie, Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines, Université d'Abomey - Calavi, Bénin, 92p.

Oyama M. & Takehara H., 1967. Standard soil color charts

Pallo F. J. P., Asimi S., Assa A., Sedogo P. M. & Sawadogo N., 2006. Statut de la matière organique des sols de la région sahélienne du Burkina Faso. *Étude Gestion Sols*, 13(4) : 289-304

Pallo F. J. P., Sawadogo N., Zombré N. P. & Sedogo M. P., 2009. Statut de la matière organique des sols de la zone nord-soudanienne au Burkina Faso. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 13(1), 139-142.

Poitevin J., 1958. Note sur la classification des modes d'utilisation du sol dans les exploitations agricoles. *Économie rurale*, 38(1) : 15-23.

Pulleman M.M., Bouma J., Essen E.A. & Meijles E.W., 2000. Soil organic matter content as a function of different land uses history. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 64:689-693.

Raich J. W. & Schlesinger W. H., 1992. The global dioxide flux in soil respiration and its relationship to végétation and climate. *Tellus* 44B: 81-99.

Reeder J.D. & Schuman G. E., 2002. Influence of livestock grazing on C sequestration in semi- arid mixed-grass and short-grass rangelands. *Environmental Pollution,* 116 : 457 - 463

Rémy J., 1987. La crise de professionnalisation en agriculture: les enjeux de la lutte pour le contrôle du titre d'agriculteur. *Sociologie du travail*, 415-441

Robert M., 2002. La sequestration du carbone dans le sol pour une meilleure gestion des terres ; Word Soil ressouces Reports, FAO 96, Rome (Italie), 75p.

Robin D., 1994. Effet de la disponibilité de l'azote sur les flux bruts de carbone et de l'azote au cours de la décomposition des résidus végétaux dans les sols. Thèse de Doctorat, Institut National Agronomique Paris - Grignon, Paris, 201 p.

Robin D., 1997. Intérêt de la caractérisation biochimique pour l'évaluation de la proportion de matière organique stable après décomposition dans le sol et la classification des produits organominéraux. *Agronomie, EDP Sciences*, 17 (3) : 157-171

Roose E. & Sabir M. O. H. A. M. E. D., 2002. Stratégies traditionnelles de conservation de l'eau et des sols dans le bassin méditerranéen : classification en vue d'un usage renouvelé, *Bulletin Réseau Erosion*, 21 : 33 - 44

Roose E., 2002. Banquettes mécaniques et techniques traditionnelles de GCES pour la zone méditerranéenne semi-aride de Tunisie. Techniques traditionnelles de GCES en milieu méditerranéen, *Bulletin Réseau Erosion (FRA)*, 130-154

Saïdou A., Adjei-Nsiah S., Kossou D., Sakyi-Dawson O. & Kuyper T. W., 2007. Sécurité foncière et gestion de la fertilité des sols : études de cas au Ghana et au Bénin, *Cahiers Agricultures*, *16* (5) : 405 - 412.

Saïdou A., Balogoun I., Koné B., Gnanglè C.P. & Aho N., 2012. Effet d'un système agroforestier à karité (*Vitellaria paradoxa* c.f. gaertn*)* sur le sol et le potentiel de production du maïs (*Zea mays* L.) en zone Soudanienne du Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences,* 6(5): 2066-2082

Sebillotte M., 1990. Système de culture, un concept opératoire pour les agronomes. *Les systèmes de culture. INRA éditions*, 165-196.

Sinsin B., 1997. La transhumance dans les aires protégées d'Afrique de l'Ouest. *Revue d'information, PACIPE,* 5: 4-14

Six J., Elliot E. T. et Paustian K., 2000. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C séquestration under no-tillage agriculture. *Soil Biology & Biochemistry,* 32: 2099-2103.

Stevenson F. J. et Cole M. A., 1986. Cycles of soil - carbon, nitrogen, phosphorus, sulphur, micronutrients. Second Edition. John Wiley & Sons, New York, USA. 380 p.

Stevenson F. J., 1994. Humus chemistry: genesis, composition, reactions. Second édition. John Wiley & Sons, New York, USA. 496 p.

Su Y.Z., Li Y.L., Cui H.Y., & Zhao W.Z., 2005. Influences of continuous grazing and livestock

Tardieu F., 1990. Effets de l'état structural du sol sur l'enracinement. Que prendre en compte pour la modélisation. *La structure du sol et son évolution, Laon (France), 9* : 91-109.

Tchégnon T., 2006. Monographie de la commune de Tanguiéta, Cotonou, Afrique Conseil, 60p.

Tekalign T., Haque I., Aduayi E.A., 1991. Soil, plant, water, fertilizer, animal manure and compost analysis manual. *Plant Science*, Division Working, Document 13, ILCA, Addis Ababa, Ethiopia.

Tenté A., B., H., 2005. Recherche sur les facteurs de la diversite floristique des versants du massif de l'Atacora : secteur Perma-Toucountouna (Benin),

Thèse de doctorat, Universite d'Abomey-Calavi, Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines, 252 p.

Thiombiano L., 2000. Etude de l'importance des facteurs édaphiques et pédopaysagiques dans le développement de la désertification en zone sahélienne du Burkina Faso.Thèse d'Etat, volume 1, 209p.

Todan A. B. E., Tenté. A. H. B. & Yabi I., 2017. Pression Agro foncière et Mutations Agraires Sur Le Plateau Adja Au Sud-ouest du Bénin. *European Scientific Journal*, 13(8): 177-199

Tosser V, Eglin T, Bardy M, Besson A, Martin M. 2013. Évaluation des stocks de carbone organique des sols cultivés de France. *Etude et Gestion des Sols*, 21: 7-23.

Turenne J.F., 1976. Dynamique de la matière organique en sols cultivés : Effet d'une culture intercalaire de sorgho en vertisols irrigués. *Cahier ORSTOM, Série Pédologie*, 3(14): 193-205.

UCAR, 2001. What is the carbon cycle? Activity 15, Project LEARN: Cycles of the earth and atmosphère - A web site for teachers. National center for atmospheric research, UCAR office programs (Sur le site hllp://www.ucai.edu/lcain/l 4 2 15t.h consultée le 02 juillet 2017).

Ugwoke F.O., Nnadi F.N., Anaeto C.F., Aja O.O. & Nwakwasi R.N., 2012. Crop Farmers' Perception of and Adaptation to Climate Change in Orlu Agricultural Zone of Imo State, Nigeria, *Journal of Agricultural Extension*, 16(2) : 212-224

Vanden Bygaart A. J. & Kay B. D., 2004. Persistence of soil organic carbon after plowing a long-term no-till field in southern Ontario, Canada. *Soil Science Society of America Journal*, 68: 1394-1402.

Vanden Bygaart A. J., Gregorich E. G. & Angers D. A., 2003. Influence of agricultural management on soil organic carbon: a compendium and assessment of Canadian studies. *Canadian Journal of Soil Science*, 83: 363-380.

Vigot M., 2012. Le carbone organique des sols cultivés de Poitou-Charentes ; quantification et évolution des stocks. Etude méthodologique. Chambre d'agriculture de Poitou-Charentes / RMT Sols et territoires. 20 p.

Walkley A. & Black C. A., 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposal modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37: 29-38.

Wander M. M., Bidart M. G. & Aref S., 1998. Tillage impacts on depth distribution of total and particulate organic matter in three Illinois soils. *Soil Science Society of America Journal*, 62: 1704-1711.

Willaine P., 1956. Étude pédologique de Boukombé, Mission d'Études au Dahomey, Office de Recherche Scientifique et Technique Outre-mer, Bénin, Cotonou, 34 p.

WinklerPrins A.M.G.A., 2003 - Local soil knowledge insights, applications, and challenges. *Geoderma*, 111 : 165-170.

Wright A. L. & Hons F. M., 2005. Soil carbon and nitrogen storage in aggregates from différent tillage and crop régimes. *Soil Science Society of America Journal*, 69: 141-147.

Yabi I. & Afouda F., 2012. Extreme rainfall years in Benin (West Africa), *Quaternary International*, 262(7): 39 - 43.

Yang X.M. & Wander M.M., 1999. Tillage effects on soil organic carbon distribution and estimation of C storage. *Soil and Tillage Research*, 52:1-9

Yèmadjè H.R., Crane T., Mongbo R., Saïdou A., Azontondé A., Kossou D. & Kuyper W.T., 2014. Revisiting land reform land rights, access and soil fertility management on the Adja plateau in Benin, *International Journal of Agricultural Sustainability*,12 (3): 355-369.

Zoffoun A.G., Salifou S., Houinato M., & Sinsin A. B., 2011. Interactions Ticks, Hosts and Pastures : Case of the Girolando Dairy Cattle and the Artificial Pastures of Panicum maximum and Panicum maximum var. C1, *Journal of Agricultural Science and Technology*, 5 (4) : 433- 442

Webgraphie

- https://www.accuweather.com/fr/bj/tanguieta/32007/hourly-weather-forecast/32007, consulté le 12 février 2018)
- https://www.earth google.com consulté le 20/04/2018
- (http://www.fao.org/news/story/fr/item/357221/icode/ consulté le 16/ 12/ 2017
- http://www.gov.on.ca/OMAFRA/french/policy/Climate%20Change/index.html, consulté le 18/11/2018
- http://bibnum.ucad.sn/viewer.php?c=thl&d=lth%5f826 consulté le 02/08/2019

ANNEXES

Annexe 1 : LISTE DES PUBLICATIONS RELATIVES A LA THESE

Atchada C. C., Zoffoun A. G., Chabi B. R., Tenté A. B. H. & Djègo J. G., 2018. Perceptions locales sur l'appauvrissement des sols dans le bassin supérieur de Magou en République du Bénin. *Afrique Science*, 14(4) 376 - 392

Atchada C. C., Zoffoun A. G., Akplo T. M., Azontondé A. H., Tenté A. B. H. & Djègo J. G., 2018. Modes d'utilisation des terres et stock de carbone organique du sol dans le bassin supérieur de Magou au Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 12(6), 2818-2829

Atchada C. C., Zoffoun A. G. & Tenté B. A. H., 2018. Caractérisation des systèmes de culture dans le bassin supérieur de Magou en République du Bénin. *Mélanges en hommage aux Professeurs HOUSSOU C. S., HOUNDAGBA C. J. et THOMAS O.*, 2 : 97-104

Atchada C. C., 2014. Caractérisation organique et granulométrique des sols autour des barrages hydro-agricoles de l'Atacora au Bénin. Mémoire de DEA, Université de Parakou, Ecole Doctorale Pluridisciplinaire, 81p.

Zoffoun A. G., Atchada C. C., Yaoitcha A. S., Sessou E. K., Chabi B. R., 2018. Perceptions des producteurs sur l'appauvrissement des terres dans le bassin supérieur de Magou en République du Bénin. Fiche Technique INRAB/Bénin. Dépôt légal N° 10897 du 17 décembre 2018, 4ème trimestre, Bibliothèque Nationale (BN) du Bénin, ISBN : 978–99919– 75 – 62 – 7, 4p.

Zoffoun A. G., Atchada C. C., Yaoitcha A. S., Sessou E. K., Chabi B. R., 2018. Indicateurs et facteurs d'appauvrissement des sols dans le bassin supérieur de Magou en République du Bénin. Fiche Technique INRAB/Bénin. Dépôt légal N° 10898 du 17 décembre 2018, 4ème trimestre, Bibliothèque Nationale (BN) du Bénin, ISBN : 978–99919– 75 – 63 – 4, 6p.

Zoffoun A. G., Atchada C. C., Yaoitcha A. S., Sessou E. K., Chabi B. R., 2018. Stratégies d'adaptation des producteurs à l'appauvrissement des sols dans le bassin supérieur de Magou en République du Bénin. Fiche Technique INRAB/Bénin. Dépôt légal N° 10899 du 17 décembre 2018, 4ème trimestre, Bibliothèque Nationale (BN) du Bénin, ISBN : 978–99919– 75 – 64 – 1, 4p.

Annexe 2 : Outils d'enquête auprès des agriculteurs

Dans le cadre de la collecte de données pour une étude portant sur la gestion durable des terres dans le bassin supérieur de Magou, vous êtes prié(e) de répondre avec objectivité aux questions ci-dessous dont les réponses seront traitées sous anonymat :

I) Données physiques

Date ……Fiche n°:……..
Site……Hameau:……
Position topographique (Haut de pente, mi-pente, bas de pente) ……...

Coordonnées géographiques : X……Y :……

Altitude (en m)……

Type de sol……..

Couverture du sol……

II) Informations générales sur l'agriculteur

1) Age : ……

2) Sexe : M ☐ F ☐

3) Profession :……

4) Principale activité secondaire :……

5) Statuts socio-économiques

Démuni ☐
Moyen ☐
Nanti ☐

6) Niveaux d'instruction

Lettré ☐
Semi-lettré ☐
Illettré ☐

6) Taille du ménage (nombre de personnes) : ……

7) Sources de revenu par ordre d'importance……....

III) Système de culture

<table>
<tr><td rowspan="2">Historique</td><td>Système cultural (jachère, cultures, plantations, rotation, autres à préciser)</td><td>Superficie (ha) et Durée (an)</td></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Travail du sol (Labour profond, Labour peu profond, Travail minimum du sol, Semis direct)</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>Outils agricoles (charrue, tracteurs, houe, autres à préciser)</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">Fertilisants (résidus de récoltes, fumier, engrais chimiques, autres à préciser)</td><td>Type</td><td>Quantité (t/ha)</td><td>Fréquence Nombre/an</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>

IV) Gestion foncière

1) Mode d'accès à la terre (héritage, don, achat, métayage, location, emprunt)

……

2) Superficie Cultivée dans l'année (ha) :……

V) Indicateurs de l'appauvrissement du sol

1) Couleur du sol

- Noir ☐
- Gris ☐
- Brun ☐

- Jaunâtre ☐
- Jaune ☐
- Rouge ☐
- Autres à préciser

2) Texture du sol
   - Très fin ☐
   - Fin ☐
   - Grossier ☐
   - Autres à préciser

3) Espèces végétales présentes par ordre d'importance
   - 1ère : ……..
   - 2è :……
   - 3è :……
   - 4è :……
   - 5è :……

4) Espèces végétales absentes par ordre d'importance
   - 1ère : ……
   - 2è :……
   - 3è :……
   - 4è :……
   - 5è :……

VI) Déterminants ou causes de l'appauvrissement du sol par ordre d'importance

- 1ère cause : ……
- 2è cause :……
- 3è cause :……
- 4è cause :……..
- 5è cause:……...

VII) Impacts socio-environnementaux de l'appauvrissement du sol par ordre d'importance

- 1er impact : ……
- 2è impact :……..
- 3impact :……
- 4è impact :……
- 5è impact :……

VIII) Stratégies d'adaptation à l'appauvrissement du sol par ordre d'importance

- 1ère stratégie : ……
- 2è stratégie : ……
- 3è stratégie : ……
- 4è stratégie : ……
- 5è stratégie : ……

IX) Principales difficultés liées à la terre

Quelles sont par ordre d'importance les principales difficultés que vous rencontrez dans le travail de la terre ?

.....

.....

Annexe 3 : Informations sur les stations

Site de Ouankou

Profil 1

- Localisation : 31P0301232 ; UTM 1161664
- Altitude : 248 m
- Géomorphologie : plateau
- Topo-séquence : mi-pente
- Végétation : savane boisée régulièrement pâturée
- Pente faible

Profil 2

- Localisation : 31P0301681 UTM 1161651
- Altitude : 246 m
- Géomorphologie : plateau
- Topo-séquence : bas de pente
- Végétation : jachère régulièrement pâturée.
- Pente : faible

Profil 3

- Localisation : 31P0301951 UTM 1161657
- Altitude : 252 m
- Géomorphologie : plateau
- Topo-séquence : haut de pente
- Végétation : champ de coton
- Pente : faible

Site de N'Dahonta

Profil 1

- Localisation : 31P0294720 UTM 1164419
- Altitude : 216 m

- Géomorphologie : plateau
- Topo-séquence : Bas de pente
- Végétation : champ de coton
- Pente : faible

Profil 2

- Localisation : 31P0294952 ; UTM 1164556
- Altitude : 218 m
- Géomorphologie : plateau
- Topo-séquence : mi-pente
- Végétation : jachère
- Pente : faible

Profil 3

- Localisation : 31P0295021 ; UTM 1164605
- Altitude : 222 m
- Géomorphologie : plateau
- Topo-séquence : Haut de pente
- Végétation : savane boisée
- Pente : faible

Site de Pingou

- **Profil 1**
- Localisation : 31P0293867 ; UTM 1182657
- Altitude : 224 m
- Géomorphologie : plateau
- Topo-séquence : Haut de pente
- Végétation : champ de maïs
- Pente : faible

- **Profil 2**

- Localisation : 31P0294043 ; UTM 1182678
- Altitude : 223 m
- Géomorphologie : plateau
- Topo-séquence : Mi- pente
- Végétation : jachère
- Pente : faible

- **Profil 3**

- Localisation : 31P0293943 ; UTM 1182889
- Altitude : 222 m
- Géomorphologie : plateau
- Topo-séquence : Bas de pente
- Végétation : champ de maïs
- Pente : faible

Annexes 4 : Photos des profils pédologiques



Profil 1 à Ouankou, Août 2017



Profil 2 à Ouankou, Août 2017



Profil 3 à Ouankou, Août 2017



Profil 1 à N’Dahonta, Août 2017



Profil 2 à N’Dahonta, Août 2017



Profil 3 à N’Dahonta, Août 2017



Profil 1 à Pingou, Août 2017



Profil 2 à Pingou, Août 2017



Profil 3 à Pingou, Août 2017

Annexe 5 : Décomposition des inerties de Chi-carré sur les indicateurs de l'appauvrissement du sol

Axes	Inertie	Chi carré	Pourcentage	Pourcentage cumulé
1	0,0421	193,291	34,1	34,1
2	0,03744	171,897	30,32	64,42
3	0,02384	109,437	19,31	83,73
4	0,00852	39,093	6,9	90,62
5	0,00703	32,291	5,7	96,32
6	0,0034	15,68	2,77	99,09
7	0,00098	4,497	0,79	99,88
8	0,00014	0,643	0,11	99,99
9	0,00001	0,036	0,01	100

Annexe 6 : Contributions des caractéristiques socio-démographiques des agriculteurs sur les indicateurs de l'appauvrissement du sol

	Axe 1		Axe 2		Axe 3		Axe choisi
	Coordonnées	Contribution	Coordonnées	Contribution	Coordonnées	Contribution	
Ageadult	-0,0412	0,009	-0,1087	0,0706	-0,1012	0,0961	3
AgeVieux	0,558	0,2513	0,672	0,4098	0,1637	0,0382	2
SexeM	-0,2178	0,2144	0,066	0,0221	0,1612	0,2075	1
SexeF	0,2277	0,0523	-0,1471	0,0245	0,4424	0,3488	3
StatutDE	0,2496	0,149	-0,1646	0,0728	0,025	0,0026	1
StatutMO	-0,2093	0,122	0,17	0,0905	-0,0622	0,019	1
StatutNA	0,2835	0,0728	-0,1708	0,0297	-0,2614	0,1092	3
NiveauIL	-0,1956	0,0592	-0,071	0,0088	-0,041	0,0046	1
NiveauLE	0,1022	0,0164	0,3311	0,1932	-0,2501	0,1732	2
NiveauSE	0,1359	0,0537	-0,1544	0,078	0,0123	0,0008	2

Annexe 7: Contributions des indicateurs d'appauvrissement du sol

	Axe 1		Axe 2		Axe 3		Axe choisi
	Coord	Contrib	Coord	Contrib	Coord	Contrib	
colBrune	0,1089	0,0047	1,1028	0,5377	-0,0784	0,0043	2
colJaunatre	-0,0321	0,0037	-0,1463	0,0873	0,0468	0,0141	2
colRouge	-0,4532	0,2433	0,094	0,0118	-0,0773	0,0125	1
texTrssfin	-0,2693	0,1208	0,0133	0,0003	0,0005	0	1
texFin	0,4684	0,0182	0,0648	0,0004	0,0129	0	1
texGrossier	0,3838	0,2545	-0,0793	0,0122	-0,4294	0,5627	3
presStriga	-0,0092	0,0003	-0,0234	0,0023	0,0114	0,0009	2
presCommelina	-0,0249	0,0015	0,0272	0,002	0,0273	0,0031	3
presMitracarpus	-0,0947	0,0061	0,1392	0,0148	-0,2121	0,0538	3
presDigita	0,0571	0,0034	-0,107	0,0133	0,1756	0,0564	3
presPaspalum	-0,026	0,0021	-0,0168	0,001	0,0178	0,0017	1
presAutresespces	0,4171	0,072	-0,0145	0,0001	0,222	0,036	1
absAndropogon	-0,0001	0	-0,0514	0,0092	0,0419	0,0096	3
absButyrosperum	0,2543	0,0361	0,6916	0,3005	0,215	0,0456	2
absAutres	1,0621	0,2334	-0,1764	0,0072	0,7385	0,1993	1

Annexe 8 : Contribution des différents types de matière organique au carbone organique du sol suivant les modes d'utilisation des terres, la profondeur et la topo-séquence

sources	ddl	EC F200		EC F50		EC FOM	
		F Value	Pr > F	F Value	Pr > F	F Value	Pr > F
MUT	3	5,33	0,0144	21,85	<0,0001	0,0103	5,9
Position	2	0,38	0,6914	6,64	0,0114	0,2309	1,66
Profondeur	2	5,99	0,0157	22,36	<0,0001	0,0546	3,74
MUT * Position	6	0,63	0,7057	4,16	0,0171	0,7553	0,56
MUT * Profondeur	6	2,01	0,1431	9,1	0,0007	0,0161	4,23

Annexe 9 : Probabilités des déterminants de la perception des agriculteurs sur les difficultés dans le BSM

Déterminants	Khi²	Probabilités
Age	27,4761	0,0012
Sexe	13,7622	0,131
Statut social	162,8661	<0,0001
Niveau d'instruction	89,9274	<0,0001
Principale activité secondaire	12,4325	0,2190

Annexe 10 : Probabilité des déterminants des causes de l'appauvrissement du sol

Déterminants	Khi²	Probabilités
Age	40,6334	<,0001
Sexe	15,3165	0,0179
Statut social	113,517	<,0001
Niveau d'instruction	105,9623	<,0001
Principale activité secondaire	12,3005	0,0614

Annexe 11 : Probabilités sur les impacts socio-économiques de l'appauvrissement des sols

Déterminants	Khi²	Probabilités
Age	19.4194	0.007
Sexe	4.9825	0.6621
Statut social	114.0906	<.0001
Niveau d'instruction	60.2303	<.0001
Principale activité secondaire	14,3155	0,0034

Annexe 12 : Probabilités sur les stratégies d'adaptation à l'appauvrissement des sols

Déterminants	Khi²	Probabilités
Age	27.7873	<.0001
Sexe	22.3147	0.0002
Statut social	26.2713	0.0009
Niveau d'instruction	128.1025	<.0001
Principale activité secondaire	25.0713	0.0007

Annexe 13 : Effets des Modes d'utilisation des terres, de la profondeur et de la topo-séquence sur les stocks de carbone

Sources	ddl	F Value	Pr > F
Mode d'utilisation des terres	3	3,34	0,04
Position	2	1,37	0,27
Profondeur	2	31,8	0,0001
Mode d'utilisation des terres * Position	6	3,37	0,01
Mode d'utilisation des terres * Profondeur	6	1,78	0,0161
Mode d'utilisation des terres * Position * Profondeur	12	1,36	0,2054

Annexe 14 : Résultats d'analyse de variance sur l'effet des modes d'utilisation des terres, de la profondeur et de la topo-séquence sur le stock de COS

sources	**ddl**	**F Value**	**Pr > F**
Mut	3	5,45	0,002
Position	2	2,24	0,1142
Profondeur	2	31,8	<,0001
Mut * Position	6	5,5	<,0001
Mut * Profondeur	6	1,78	0,1161
Position * Profondeur	4	1,01	0,4065
Mut * Position * Profondeur	12	1,36	0,2054

Annexe 15 : Effet des modes d'utilisation des terres, de la profondeur et de la topo-séquence sur le stock de carbone lié au F200, au F50 et au FOM

sources	**ddl**	**F200**		**F50**		**FOM**	
		F Value	Pr > F	F Value	Pr > F	F Value	Pr > F
MUT	3	5,33	0,0144	21,85	<0,0001	5,9	0,0103
Position	2	0,38	0,6914	6,64	0,0114	1,66	0,2309
Profondeur	2	5,99	0,0157	22,36	<0,0001	3,74	0,0546
MUT * Position	6	0,63	0,7057	4,16	0,0171	0,56	0,7553
MUT * Profondeur	6	2,01	0,1431	9,1	0,0007	4,23	0,0161

Annexe 16 : Probabilités de l'effet des MUT, de la position et de la topo-séquence sur le C/N

sources	**ddl**	**F Value**	**Pr > F**
MUT	3	5,82	0,0108
Position	2	4,92	0,0275
Profondeur	2	8,23	0,0056
MUT * Position	6	6,43	0,0032
MUT * Profondeur	6	2,19	0,1162

Annexes 17 : Analyse de varaiance sur la significativité du modèle dans les champs

	ddl	sum sq	mean sp	F value	Pr (>|t|)	
F200	1	1,04524	1,04524	34,1444	0,000112	***
F50	1	0,18327	0,18327	5,9869	0,032428	*
FOM	1	0,39944	0,39944	13,0482	0,004082	**
Residuals	11	0,33674	0,03061			

Annexe 18: Test de significativité des coefficients du modèle dans les champs

	Estimate	Std, Error	t value	Pr (>|t|)	
(Intercept)	4,98272	0,09228	53,997	1,08E-14	***
F200	0,32685	0,09188	3,557	0,00449	**
F50	-5,19543	2,34913	-2,212	0,04908	*
FOM	8,28731	2,29424	3,612	0,00408	**

Annexe 19 : Analyse de varaiance sur le significativité du modèle dans les formations naturelles

	ddl	sum sq	mean sp	F value	Pr (>|t|)	
F200	1	7,7313	7,7313	149,5453	9,58E-08	***
F50	1	0,0053	0,0053	0,1031	0,0441	*
FOM	1	0,0058	0,0058	0,1128	0,0433	*
Residuals	11	0,5687	0,0517			

Annexe 20: Test de significativité des coefficients du modèle dans les formations naturelles

	Estimate	Std, Error	t value	Pr (>|t|)	
(Intercept)	-5,4178	1,4828	-3,654	0,0038	**
F500	12,5667	1,2105	10,381	5,08E-07	***
F50	0,6723	1,5053	0,447	0,00638	**
FOM	-1,2771	3,8023	-0,336	0,00433	**

Annexe 21 : Analyse de varaiance sur le significativité du modèle dans les jachères

	ddl	sum sq	mean sp	F value	Pr (>|t|)	
F200	1	42,542	42,542	31,9308	0,0001487	***
F50	1	22,763	22,763	17,0854	0,0016624	**
FOM	1	0,002	0,002	0,0014	0,00708408	**
Residuals	11	14,655	1,332			

Annexe 22: Test de significativité des coefficients du modèle dans les jachères

	Estimate	Std, Error	t value	Pr (>|t|)	
(Intercept)	3,4359	1,0695	3,213	0,00827	**
F200	1,9396	0,8715	2,226	0,04789	*
F50	3,5574	0,8935	3,982	0,00215	**
FOM	0,2989	7,9932	0,037	0,007084	

Annexe 23 : Analyse de varaiance sur le significativité du modèle dans les plantations

	ddl		sum sq	mean sp	F value	Pr (>|t|)
F200	1	9,8049	9,8049	27,4873	0,0002756	***
F50	1	0,7588	0,7588	2,1273	0,00726525	**
FOM	1	1,2941	1,2941	3,628	0,00832812	**
Residuals	11	3,9237	0,3567			

Annexe 24 : Test de significativité des coefficients du modèle dans les plantations

	Estimate	Std, Error	t value	Pr (>|t|)	
(Intercept	32,3592	5,1475	6,286	5,95E-05	***
F200	-18,8889	3,4324	-5,503	0,000185	***
F50	-0,4077	2,4892	-0,164	0,00726525	**
FOM	13,2524	6,9576	1,905	0,00832812	**

Annexes 25 : Coordonnées géographiques des positions de prise de vue

	Coordonnées géographiques
Photo 1	31P0295092 ; UTM1164536
Photo 2	31P0301674 ; UTM1161660
Photo 3	31P0294431 ; UTM1164338
Photo 4	31P093952 ; UTM1182714
Photo 5	31P0295092 ; UTM1164536
Photo 6	31P093952 ; UTM1182714

Liste des figures

Figure 1 : Cycle du carbone entre les quatre enveloppes de la terre..... 22
Figure 2 : Situation géographique du bassin supérieur de Magou..... 42
Figure 3 : Variation interannuelle des températures moyennes à la station synoptique de Natitingou..... 44
Figure 4 : Variation des températures moyennes mensuelles à la station synoptique de Natitingou entre 1988 et 2017..... 45
Figure 5 : Variation pluviométrique interannuelle à la station synoptique de Natitingou..... 46
Figure 6 : Diagramme climatique de Natitingou (Modèle Franquin, 1969)..... 48
Figure 7 : Altitudes du bassin supérieur de Magou..... 50
Figure 8 : Pédologie du bassin supérieur de Magou..... 52
Figure 9 : Occupation du sol du bassin supérieur de Magou..... 58
Figure 10 : Evolution des rendements du maïs, du sorgho et du petit mil de 1997 à 2017 dans le bassin supérieur de Magou..... 61
Figure 11 : Profil agroécologique du transect de prélèvement de Ouankou..... 73
Figure 12 : Profil agroécologique du transect de prélèvement de N'Dahonta..... 75
Figure 13 : Profil agroécologique du transect de prélèvement de Pingou..... 77
Figure 14 : Modes d'accès à la terre dans le bassin supérieur de Magou..... 91
Figure 15: Systèmes culturaux adoptés dans le bassin supérieur de Magou..... 91
Figure 16 : Technique du travail du sol dans le bassin supérieur de Magou..... 92
Figure 17 : Outils agricoles dans le bassin supérieur de Magou..... 93
Figure 18 : Technique de gestion de la fertilité du sol dans le Bassin Supérieur de Magou..... 94
Figure 19 : Sources de revenus des agriculteurs du Bassin Supérieur de Magou..... 95
Figure 20 : Principales difficultés rencontrées par les agriculteurs dans le bassin supérieur de Magou..... 97

Figure 21 : Indicateurs d'appauvrissement du sol suivant les caractéristiques sociodémographiques 102
Figure 22 : Causes de l'appauvrissement du sol dans le bassin supérieur de Magou 103
Figure 23 : Impacts de l'appauvrissement des sols dans le bassin supérieur de Magou 106
Figure 24 : Stratégies d'adaptation à l'appauvrissement des sols dans le bassin supérieur de Magou 108
Figure 25: Evolution de la teneur en COS en fonction de la profondeur et des modes d'utilisation des terres dans le bassin supérieur de Magou 119
Figure 26 : Effet combiné du mode d'utilisation et de la profondeur sur le stock de COS. 123
La figure 27 montre la variation du stock de carbone organique des sols suivant la topo-séquence et les modes d'utilisation des terres. 124
Figure 28 : Variation du stock de COS en fonction de la texture (argile + Limon) et des modes d'utilisation des terres 126
Figure 29 : Stock de COS entre 0-30 cm par modes d'utilisation des terres à Ouankou en 2017 128
Figure 30 : Stock de COS entre 0-30 cm par modes d'utilisation des terres à N'Dahonta en 2017 130
Figure 31 : Stock de COS entre 0-30 cm par modes d'utilisation des terres à Pingou en 2017 132
Figure 32 : Proportion du carbone de chaque fraction par rapport au carbone organique du sol suivant le mode d'utilisation des terres 138
Figure 33 : Coefficients d'enrichissement en carbone des différentes fractions suivant les modes d'utilisation des terres 138
Figure 34 : Proportion du carbone de chaque fraction par rapport au carbone organique du sol suivant la topo-séquence 139
Figure 35 : Coefficients d'enrichissement en carbone des différentes fractions suivant la topo-séquence 140

Figure 36 : Proportion du carbone de chaque fraction par rapport au carbone organique du sol suivant la profondeur 141
Figure 37: Coefficients d'enrichissement en carbone des différentes fractions suivant la profondeur 141
Figure 38 : Distribution normalisée des valeurs résiduelles de la régression dans les champs 143
Figure 39 : Distribution normalisée des valeurs résiduelles de la régression dans les formations naturelles 145
Figure 40 : Distribution normalisée des valeurs résiduelles de la régression dans les jachères 146
Figure 41 : Distribution normalisée des valeurs résiduelles de la régression dans les plantations 147

Liste des photos

Photo 1: Photo d'une savane boisée à *Vitellaria paradoxa* à N'Dahonta, Août 2017 86
Photo 2 *:* Photo d'une jachère à *Andropogon gayanus* à Ouankou, Août 2017 . 87
Photo 3 : Photo d'une plantation de *Gmelina arborea* à N'Dahonta, Août 2017 88
Photo 4 : Photo d'une Plantation d'*Acacia auriculiformis* à Pingou, Août 201788
Photo 5 : Photo d'un champ de maïs (*Zea mays* L.,) à N'Dahonta, Août 2017 . 89
Photo 6 : Photo d'un champ de coton (*Gossypium arboreum*) à Pingou, Septembre 2017 90

Liste des tableaux

Tableau I: Caractéristiques socio-démographiques des enquêtés 68
Tableau II: Détail du nombre d'échantillons prélevés. 72
Tableau III : Classes granulométriques considérées 78
Tableau IV : Superficies des unités d'occupation des terres entre 2002 et 2017 dans le bassin supérieur de Magou 84
Tableau V : Effet de l'âge, du statut social et du niveau d'instruction sur la perception des agriculteurs sur les difficultés rencontrées 99
Tableau VI : Effet de l'âge, du sexe, du statut social et du niveau d'instruction sur la perception des agriculteurs des causes de l'appauvrissement du sol dans le bassin supérieur de Magou 105
Tableau VII : Effets de l'âge, du statut social, du niveau d'instruction et de l'activité secondaire sur la perception des agriculteurs des impacts de l'appauvrissement des sols 107
Tableau VIII: Effets de l'âge, du sexe, du niveau d'instruction, du statut social et de l'activité secondaire sur la perception des agriculteurs des stratégies d'adaptation à l'appauvrissement des sols. 110
Tableau IX : Teneur en carbone organique du sol par classes texturales, par mode d'utilisation des terres, par profondeur et par topo-séquence 120
Tableau X : Corrélations entre fractions granulométriques et % C dans les Formations naturelles 120
Tableau XI : Corrélations entre fractions granulométriques et % C dans les plantations 121
Tableau XII : Corrélations entre fractions granulométriques et % C dans les Jachères 121
Tableau XIII : Corrélations entre fractions granulométriques et % C dans les champs 121
Tableau XIV : Moyennes et écarts-types du stock de COS par mode d'utilisation des terres, par topo-séquence et par profondeur. 122

Tableau XV: Relation entre le stock de carbone organique et la proportion d'argile et de limon dans les unités d'occupation 126
Tableau XVI : Moyennes et écarts-types de la teneur en carbone lié aux sables grossiers suivant le mode d'utilisation des terres, la profondeur et la top-séquence 135
Tableau XVII : Moyennes et écarts-types de la teneur en carbone lié aux sables fins suivant le mode d'utilisation des terres, la profondeur et la top-séquence 136
Tableau XVIII : Moyennes et écarts-types de la teneur en carbone lié à la fraction organo-minérale suivant le mode d'utilisation des terres, la profondeur et la top-séquence 137
Tableau XIX : Rapport C/N suivant les modes d'utilisation des terres, la topo séquence et la profondeur 142

Table des matières

Sommaire 1
Sigles, abreviations & acronymes 3
Dédicace 5
Remerciements 6
Résumé 8
Abstract 10
INTRODUCTION GENERALE 12
PREMIERE PARTIE : *CADRES THEORIQUE ET GEOGRAPHIQUE DE L´ETUDE ET APPROCHE METHODOLOGIQUE* 15
CHAPITRE I : CADRE THEORIQUE 16
1.1 Problématique 16
1.1.1 Justification et questions de recherche 16
1.1.2 Hypothèses de travail 19
1.1.3 Objectifs de recherche 19
1.2 Etat des connaissances 20
1.2.1 Recherche documentaire 20
1.2.2 Gaz à effet de serre et réchauffement climatique 21
1.2.3 Cycle du carbone 21
1.2.4 Rôle du carbone dans la fertilité des sols 27
1.2.5 Impacts du travail du sol sur la teneur en carbone organique des sols 27
1.2.6 Effet de la pâture sur le stockage de carbone dans le sol 31
1.2.7 Autres facteurs influençant le stockage du carbone 32
1.3 Clarification des concepts 35
Conclusion 40
CHAPITRE II : CADRE GEOGRAPHIQUE 41
2.1 Milieu biophysique 41
2.1.1 Situation géographique 41
2.1.2 Facteurs climatiques 43
2.1.2.1 Vents 43
2.1.2.2 Température et insolation 43

2.1.2.3 Précipitations et évapotranspiration 45
2.1.3 Morpho-pédologie 49
2.1.3.1. Relief 49
2.1.3.2 Sols 51
2.1.4 Hydro-géologie 55
2.1.4.1 Géologie 55
2.1.4.2 Hydrologie 56
2.1.5 Flore et faune 57
2.2 Traits humains 59
2.2.1 Données socio-démographiques 59
2.2.2 Facteurs socio-économiques 60
2.2.2.1 Agriculture 60
2.2.2.2 Elevage 61
Conclusion 62
CHAPITRE III : APPROCHE METHODOLOGIQUE 64
3.1 Méthodes de caractérisation des modes d'utilisation des terres et des systèmes de culture. 64
3.1.1 Choix des sites 64
3.1.2 Méthodes de collecte des données 65
3.1.2.1 Pré-enquête 65
3.1.2.2 Enquête formelle 66
3.1.3 Méthodes de traitement des données 67
3.2 Méthodes d'analyse des perceptions des agriculteurs sur la fertilité des sols 67
3.2.1 Méthodes de collecte des données 67
3.2.2 Caractéristiques socio-démographiques des enquêtés 68
3.2.3 Analyse des données socio-économiques 69
3.3 Méthodes d'évaluation de la teneur et du stock de COS en fonction des modes d'utilisation des terres 70
3.3.1 Réalisation des profils pédologiques 71
3.3.2 Technique d'échantillonnage et de prélèvement 71
3.3.3 Méthodes d'analyse des échantillons de sols 78
3.3.4 Méthodes de calcul des stocks de carbone organique du sol 79

3.3.4.1 Teneur en carbone organique 79
3.3.4.2 Densité apparente 79
3.3.4.3 Stock de carbone organique du sol 79
3.3.5 Analyse statistique de la variabilité des stocks de carbone organique du sol 80
3.3.6 Méthode de spatialisation des stocks de carbone organique du sol 80
3.4 Méthodes d'analyse de la distribution du carbone dans les différentes fractions organiques du sol 81
3.4.1 Méthodes d'analyse des échantillons 81
3.4.2 Traitement statistique 82
Conclusion 82
DEUXIEME PARTIE : *RESULTATS* 83
CHAPITRE IV : CARACTERISATION DES MODES D'UTILISATION DES TERRES ET DES SYSTEMES DE CULTURE DANS LE BASSIN SUPERIEUR DE MAGOU 84
4.1 Modes d'utilisation des terres 84
4.1.1 Dynamique d'occupation des terres entre 2002 et 2017 84
4.1.2 Formations naturelles 85
4.1.3 Jachères 86
4.1.4 Plantations 87
4.1.5 Champs 89
4.2 Techniques et systèmes de culture 90
4.2.1 Modes d'accès à la terre 90
4.2.2 Système cultural 91
4.2.3 Travail du sol 92
4.2.4 Outils agricoles 93
4.2.5 Gestion de la fertilité du sol 94
4.3 Importance des activités agricoles dans l'économie du bassin supérieur de Magou 95
Conclusion 95
CHAPITRE V : PERCEPTIONS LOCALES SUR LA FERTILITE DES SOLS DANS LE BASSIN SUPERIEUR DE MAGOU 97
5.1. Principales difficultés rencontrées par les agriculteurs 97

5.2. Indicateurs et causes d'appauvrissement des sols 100
5.2.1 Indicateurs d'appauvrissement des sols 100
5.2.2 Causes de l'appauvrissement des sols 103
5.3. Impacts de l'appauvrissement des sols et stratégies d'adaptation 106
5.3.1 Impacts de l'appauvrissement des sols 106
5.3.2 Stratégies d'adaptation à l'appauvrissement des sols 108
Conclusion 111
CHAPITRE VI : TENEURS ET STOCKS DE CARBONE ORGANIQUE EN FONCTION DES MODES D'UTILISATION DES TERRES, DE LA TOPO-SEQUENCE, DE LA PROFONDEUR ET DE LA TEXTURE 113
6.1 Description morphologique des sols des sites étudiés 113
6.1.1 Site de Ouankou 113
6.1.2 Site de N'Dahonta 115
6.1.3 Site de Pingou 117
6.2 Variation de la teneur en carbone organique du sol 118
6.2.1 Variation de la teneur en carbone en fonction de la profondeur et des modes d'utilisation des terres 118
6.2.2 Variation de la teneur en carbone en fonction de la profondeur, de la topo-séquence, de la texture et des modes d'utilisation des terres 120
6.3 Stocks de carbone organique du sol 122
6.3.1 Variation du stock de carbone organique des sols en fonction des modes d'utilisation des terres, de la topo-séquence et de la profondeur 122
6.3.1.1 Effets des modes d'utilisation des terres, de la profondeur et de la topo-séquence sur les stocks de carbone 122
6.3.1.2 Variation du stock de COS suivant la profondeur et le mode d'utilisation des terres 123
6.3.1.3 Variation du stock de carbone organique des sols suivant la topo-séquence et les modes d'utilisation des terres 124
6.3.2 Variation du stock de carbone organique des sols en fonction de la texture, des modes d'utilisation des terres et des sites 125
6.3.2.1 Variation du stock de COS en fonction de la texture et des modes d'utilisation des terres 125
6.3.2.2 Spatialisation des stocks de COS par mode d'utilisation des terres et par site. 127

Conclusion..... 133

CHAPITRE VII : DISTRIBUTION DU CARBONE DANS LES FRACTIONS ORGANIQUES DU SOL SUIVANT LES MODES D'UTILISATION DES TERRES 134

7.1 Variation du type de matière organique suivant les modes d'utilisation des terres, la topo-sequence et la profondeur 134

7.1.1 Variation de la teneur en carbone lié aux sables grossiers suivant le mode d'utilisation des terres, la profondeur et la topo-séquence 134

7.1.2 Variation de la teneur en carbone lié aux sables fins suivant le mode d'utilisation des terres, la profondeur et la topo-séquence 135

7.1.3 Variation de la teneur en carbone lié à la fraction organo-minérale suivant le mode d'utilisation des terres, la profondeur et la topo-séquence 136

7.2 Variation de la contribution des différents types de matière organique au carbone organique du sol suivant les modes d'utilisation des terres, la profondeur et la topo-séquence 137

7.2.1 Variation de la contribution des différents types de matière organique au carbone organique des sols suivant les modes d'utilisation des terres 137

7.2.2 Variation de la contribution des différents types de matière organique au carbone organique du sol suivant la topo-séquence 139

7.2.3 Variation de la contribution des types de matière organique au carbone organique du sol suivant la profondeur..... 140

7.3 Variation du rapport C/N 142

7.3.1 Variation du rapport C/N suivant les modes d'utilisation des terres, la topo- séquence et la profondeur 142

7.3.2 Variation du rapport C/N suivant les fractions organiques des sols et les différents modes d'utilisation des terres 143

7.3.2.1 Champs..... 143

7.3.2.2 Formations naturelles..... 144

7.3.2.3 Jachères 145

7.3.2.4 Plantations..... 146

Conclusion..... 147

TROISIEME PARTIE : DISCUSSION..... 149

CHAPITRE VIII : FONDEMENT DES SYSTEMES DE CULTURE ET PERCEPTIONS DES AGRICULTEURS SUR LA FERTILITE DES SOLS DANS LE BASSIN SUPERIEUR DE MAGOU 150

8.1 Fondement des systèmes de cultures et leurs influences sur la fertilité des sols 150
8.2 Perceptions des agriculteurs sur les modes d'utilisation des terres et leurs effets sur la fertilité des sols dans le bassin supérieur de Magou 153
8.2.1 Pertinence des difficultés rencontrées par les agriculteurs et des indicateurs d'appauvrissement des sols 153
8.2.2 Effets des pratiques agro-pastorales sur l'appauvrissement des sols 155
8.2.3 Adaptabilité des mesures endogènes de gestion de la fertilité du sol 158
CHAPITRE IX : DYNAMIQUE DU CARBONE ORGANIQUE DES SOLS ET SON MODE DE REPARTITION DANS LES DIFFERENTES FRACTIONS GRANULOMETRIQUES 161
9.1 Dynamique du carbone organique des sols 161
9.1.1 Dynamique du carbone organique suivant la morphologie des sols . 161
9.1.2 Dynamique du stock de COS suivant les modes d'utilisation des terres 162
9.1.3 Dynamique du stock de COS suivant la topo-séquence 164
9.1.4 Dynamique du stock de COS suivant la profondeur 166
9.1.5 Dynamique du stock de COS en fonction de la texture 167
9.2 Répartition du carbone organique du sol dans les différentes fractions granulométriques du sol suivant les modes d'utilisation des terres dans le bassin supérieur de Magou 168
Conclusion 170
CONCLUSION GENERALE 171
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 175
ANNEXES 193
Liste des figures 208
Liste des photos 211
Liste des tableaux 212