



INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
LOME (TOGO)

ETUDES TOGOLAISES

Revue Togolaise
des
Sciences

Vol 14, n°1 - Janvier - Juin 2020 - ISSN 0531 - 2051

Publication Semestrielle

ETUDES TOGOLAISES

Revue Togolaise des Sciences

Vol 14, n°1 – Janvier – Juin 2020 - ISSN 0531 - 2051



Publication semestrielle

Institut National de la Recherche Scientifique (INRS)

BP 2240 LOME – TOGO

Tél (228) 22 21 01 39 / (228) 22 21 39 94

Email: inrstogo@yahoo.fr

ETUDES TOGOLAISES

Revue publiée sous le haut patronage du Ministre de
l'Enseignement Supérieur et de la Recherche

Directeur de Publication : Prof. Kouami KOKOU

Rédacteur en chef : Dr. Sénamé Dodzi KOSSI

Responsables Administratifs et Financiers : M. Frédéric Adjagnon
NADOR / M. Wakilou BONFOH

Comité scientifique de lecture

- Pr. Messanvi GBEASSOR, Lomé – Togo
- Pr. Kouami KOKOU, Lomé – Togo
- Pr. Fidèle Messan NUBUKPO, Lomé – Togo
- Pr. Mireille PRINCE-DAVID, Lomé – Togo
- Pr. Kossi KOUMAGLO, Lomé – Togo
- Pr. Moustapha KASSE, Dakar – Sénégal
- Pr. Adolé GLITHO, Lomé –Togo
- Pr. Serge GLITHO, Lomé - Togo
- Pr. Kossi NAPO, Lomé – Togo
- Pr. Comla de SOUZA, Lomé – Togo
- Pr. Akuetey SANTOS, Lomé – Togo
- Pr. Nandedjo BIGOU-LARE, Lomé – Togo
- Pr. Taladidia THIOMBIANO, Ouagadougou – Burkina Faso
- Pr. Koffisa BEDJA, Lomé - Togo
- Pr. Mawuena GUMEDZOE, Lomé – Togo
- Pr. Koffi NDAKENA, Lomé – Togo
- Pr. Koffi AKPAGANA, Lomé – Togo
- Pr. Komla SANDA, Lomé – Togo
- Pr. Komi TCHAKPELE, Lomé – Togo
- Pr. Maurille AGBOBLI, Lomé –Togo
- Pr. Aimé GOGUE, Lomé –Togo
- Pr. Egnonto M. KOFFI-TESSIO, Lomé – Togo
- Pr. Gauthier BIAOU, Cotonou – Bénin
- Pr. Koffi AHADZI-NONOU, Lomé – Togo
- Pr. Badjow TCHAM, Lomé – Togo
- Pr. Edinam KOLA, Lomé – Togo
- Pr. Kokou Folly Lolowou HETCHELI, Lomé – Togo
- Pr. Pépévi KPAKPO (MC), Lomé – Togo
- Pr. Adzo Dzifa KOKOUTSÈ, Lomé – Togo
- Pr Adou YAO, Abidjan – Côte d'Ivoire
- Pr.Gbati NAPO (MC), Lomé– Togo
- Prix du numéro : 2 500 Fcfa
- Abonnement : 4 500 Fcfa / An

Toute correspondance concernant la revue doit être adressée à :
Etudes Togolaise « Revue Togolaise des Sciences »,BP 2240 LOME –
TOGO ; Tél. (228) 22 21 01 39 / (228) 22 21 39 94
Email: inrstogo@yahoo.fr

SOMMAIRE

1. Impact sanitaire des ambiances bioclimatiques dans la Région Maritime au Togo, **Nana Gamba DARE**, Université de Lomé (Togo), **Thiou Tanzidani Komlan TCHAMIE**, Université de Lomé (Togo), **Euloge OGOUWALE**, Université d'Abomey-Calavi (Bénin).....5
2. Mécanismes de séquestration et de réduction des émissions de carbone du système agricole des peuples Mahi des collines au Bénin, **Makpondéou MAKPONSE**, Université d'Abomey-Calavi, (Bénin).....19
3. Analyse prospérité des risques d'inondations dans la basse vallée du Mono au Bénin à partir du modèle avancé Holt-Winter, **Fernando Joseph Gbèdégbé GBYETIN**, Université d'Abomey-Calavi (Bénin), **Alix Servais AFOUDA**, Université de Parakou (Bénin), **Hervé KOUMASSI**, Université d'Abomey-Calavi (Bénin), **Ibouraïma YABI**, Université d'Abomey-Calavi (Bénin), **Fulgence AFOUDA**, Université d'Abomey-Calavi (Bénin)42
4. Variabilité climatique et risque d'infection palustre dans la région des savanes au Nord-Togo, **Yénhale DJAME**, Université de Lomé (Togo), **Faya LEMOU**, Université de Lomé (Togo), **Tinguedame LAMBONI**, Université de Lomé (Togo), **Yendoukoa Lalle LARE**, Université de Lomé (Togo)52
5. Perceptions paysannes de la variabilité climatique et stratégies adaptatives dans le terroir de Garin Yari Idi (commune urbaine de Tibiri – Maradi au Niger), **Ibrahim MAMADOU**, Université de Zinder (Niger), **Mahaman Saminou CHITOU DAN MAZA**, Université de Zinder (Niger).....69
6. Climat et organisation de la vie des wemenu en pays wemɛ, **Akibou Abaniché AKINDELE**, Université d'Abomey-Calavi (Bénin).....84
7. Perceptions des agro-pasteurs des effets des changements climatiques dans la commune de Tchaourou au Nord du Bénin, **Offin Lié Rufin AKIYO**, Université de Parakou (Bénin).....98
8. Facteurs de vulnérabilité des maraichers aux changements climatiques dans la zone agro-écologique 8 au Bénin, **Gbègnonnoudo Fortuné DEGUENON**, Université d'Abomey-Calavi (Bénin), **Waidi SEYDOU**, Université d'Abomey-Calavi (Bénin), **Barnabé HOUNKANRIN**, Université d'Abomey-Calavi (Bénin), **Euloge OGOUWALE**, Université d'Abomey-Calavi (Bénin).....111
9. Changement climatique et agroforesterie à base de palmier à huile dans la commune de Covè, **Cossi Guy WOKOU**, Université d'Abomey-Calavi (Bénin).....132
10. Stratégies de gestion post-récolte des produits horticoles dans l'arrondissement de Hevie au Bénin dans le contexte actuel du changement climatique, **Ayédeguê Biaou Philippe CHABI**, Université Nationale d'Agriculture (Bénin), **Cyr Gervais ETENE**, Université d'Abomey-Calavi (Bénin), **Nounagnon Emile HOUNGBO**, Université Nationale d'Agriculture (Bénin), **Ibouraïma YABI**, Université d'Abomey-Calavi

(Bénin), Pascal SAGNA , Université Cheikh Anta Diop (Sénégal), Fulgence AFOUDA , Université d'Abomey-Calavi (Bénin)...	151
11. Mouvements migratoires et gestion de la transhumance dans la commune de Tanguieta, Sylvestre Bio DAKOU , Université d'Abomey Calavy (Bénin), Aboudou Ramanou ABOUDOU YACOUBOU MAMA , Université de Parakou (Bénin), Azizou SABI YO BONI , Université d'Abomey Calavy (Bénin), Janvier Dèhou GUEDENON , Université d'Abomey Calavy (Bénin), Abdoul-Madjid TONDRO MAMAM , Université d'Abomey Calavy (Bénin), Moussa GIBIGAYE , Université d'Abomey Calavy (Bénin).....	164
12. Perceptions des agriculteurs familiaux de la commune de Glazoue sur les perturbations climatiques, Appolinaire ALINENOU , Université d'Abomey-Calavi (Bénin), Ibouraïma YABI , Université d'Abomey-Calavi (Bénin), Koudzo SOKEMAWU , Université de Lomé (Togo), Euloge OGOUWALE , Université d'Abomey-Calavi (Bénin).....	176
13. Évaluation des zones potentielles de recharge des eaux souterraines du paléocène supérieur dans le bassin du Mono-Couffo, Kouété Hervé KOUDJEGA , Université d'Abomey-Calavi (Bénin), Damiho Japhet KODJA , Université d'Abomey-Calavi (Bénin), Expedit Wilfrid VISSIN , Université d'Abomey-Calavi (Bénin).....	196
14. Apport de l'occupation du sol et des techniques statistiques a la caractérisation des risques hydroclimatiques dans le bassin versant Béninois du Mono, Yvon Lionel AMOUSSOU , Université d'Abomey Calavi (Bénin), Mama DJAUGA , Université d'Abomey Calavi (Bénin), Ringo Fernand AVAHOUNLIN , Université de Natitingou (Bénin), Ismaïla TOKO IMOROU , Université d'Abomey Calavi (Bénin), Jean AÏNAMON , Université d'Abomey Calavi (Bénin), Expedit Wilfrid VISSIN , Université d'Abomey Calavi (Bénin), Omer THOMAS , Université d'Abomey Calavi (Bénin).....	213
15. Dynamique hydro-climatique et exploitation des héritages géomorphologiques du secteur de Togblekope-kegue dans la basse vallée du Zio au Togo, Massama-Esso KABISSA , Université de Lomé (Togo), Tak Youssif GNONGBO , Université de Lomé (Togo), Somiyabalo PILABINA , Université de Lomé (Togo).....	222
16. Dividende démographique et entrepreneuriat des jeunes au Togo, Latévi Senam LAWSON-HELLU , Université de Lomé (Togo), Gbati NAPO , Université de Lomé (Togo).....	236

MÉCANISMES DE SÉQUESTRATION ET DE RÉDUCTION DES ÉMISSIONS DE CARBONE DU SYSTÈME AGRICOLE DES PEUPLES MAHI DES COLLINES AU BÉNIN

Makpondéou MAKPONSE
Université d'Abomey-Calavi (Bénin)
makpons18@yahoo.fr

Résumé

La présente recherche vise la valorisation des techniques et pratiques culturelles protectrices des écosystèmes. Comment concilier les techniques agricoles endogènes et exogènes pour rendre les populations rurales moins vulnérables aux excès de carbone dans l'atmosphère.

Une recherche documentaire, des observations du terroir à l'aide d'une grille d'observation, des entretiens avec les parties prenantes grâce à un guide d'entretien, un échantillon représentatif de 150 personnes constitué suivant des critères et soumis à des questionnaires ont permis de mener la recherche.

Pour 75,3 % des personnes interrogées le système agricole traditionnel utilise l'association des cultures, l'engrais biologique et des pratiques religieuses pour protéger l'environnement. L'abondance des espèces biologiques dans ce système permet l'absorption des carbones libérés et la régularisation de leur taux dans l'atmosphère. Pour 24,7 %, la monoculture et des pratiques exogènes détruisent la végétation. La conciliation des capacités de résilience des acteurs locaux avec des solutions innovantes pourrait contribuer à la réduction des émissions des gaz à effets de serre pour un développement durable.

Mots clés : Département des Collines– Carbone- Ecosystèmes- Vulnérabilité- Aléas climatiques.

Abstract

This research aims to enhance the techniques and cultural practices that protect ecosystems. How to reconcile endogenous and exogenous agricultural techniques to make rural populations less vulnerable to excess carbon in the atmosphere.

Documentary research, observations of the terroir using an observation grid, interviews with stakeholders using an interview guide, a representative sample of 150 people formed according to criteria and subjected to questionnaires. allowed to conduct the research.

For 75, 3% of respondents the traditional agricultural system uses the combination of crops, organic fertilizer and religious practices to protect the environment. The abundance of biological species in this

system allows the absorption of the released carbons and the regulation of their level in the atmosphere. For 24.7%, monoculture and exogenous practices destroy vegetation. Reconciling the resilience capacities of local actors with innovative solutions could contribute to the reduction of greenhouse gas emissions for sustainable development.

Keywords: Department of Collines - Carbon- Ecosystems- Vulnerability- Climatic hazards

Introduction

Le réchauffement de la terre et les dérèglements persistants des climats avec leurs impacts négatifs sur les écosystèmes sont devenus depuis des décennies des préoccupations de la communauté internationale. Les émissions des gaz à effets de serre (GES) dans l'atmosphère par radiations solaires et les activités humaines sont identifiées comme les causes de cette situation de dégradation de l'environnement. Parmi ces gaz le dioxyde de carbone est plus répandu. L'oxygène étant assimilable par les êtres vivants, le carbone sous forme gazeuse constitue un des principaux éléments de la dégradation de la couche d'ozone. En effet, l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME, 2018, p. 5) révèle que :

L'atmosphère contient 829 milliards de tonnes de carbone dont 240 proviendraient des activités humaines depuis 1750. Le flux annuel le plus important est enregistré au niveau des zones industrielles et urbaines avec 7,8 Md de tonnes. Ces émissions sont partiellement compensées par le bilan de la photosynthèse et de la respiration des végétaux ainsi que la dissolution du carbone dans les océans pour 2,6 et 2,3 Md de tonnes respectivement. Au final, 4 Md de tonnes de carbone s'ajoutent dans l'atmosphère chaque année.

La préservation de la planète terre et la protection des écosystèmes passe nécessairement par la réduction du taux du carbone dans l'atmosphère. Il urge de maintenir en deçà de 2°C, voire 1,5°C, l'élévation de la température moyenne mondiale et de mettre en place toutes les actions nécessaires, séquestration comprise (INRA, 2002, p. 1). Le protocole de Kyoto de 1997 propose un calendrier de réduction des émissions de gaz à effet de serre d'origine anthropique considérées comme la principale cause du réchauffement climatique (ONU, 1998 p.10). La réduction de cette production continue ne passera-t-elle pas par un captage suivi d'un stockage, piégeage, emprisonnement ou séquestration à travers le système sol-plante. Pour la FAO (2013, p. 13), le sol agit comme un puits de carbone ; il y a séquestration lorsque les flux entrants (puits) sont supérieurs aux flux sortants (source) et cette séquestration implique un retrait des plantes et un stockage du Carbone fixé dans la matière organique du sol. La taille du stock de carbone

organique dans le sol varierait selon la gestion ou l'affectation des sols. Selon J.P. Soussana (2016, p. 18), la séquestration du carbone dans les sols est possible à travers une restauration des pratiques d'utilisation des terres : agriculture de conservation, agroforesterie, utilisation de plantes de couverture ou de mulch, utilisation de composts et de fumiers ; les techniques agroécologiques sont censées permettre une séquestration de carbone dans les sols et lutter ainsi contre le réchauffement climatique et ces formes d'agriculture sont également connues sous le nom de 'Climate-smart agriculture.

Au Bénin, l'agriculture continue d'être la base de l'économie, occupe 80 % des populations (K.S. Adam et M. Boko, 1983, p. 46) et est pratiquée avec plusieurs systèmes agraires et culturales avec des variantes liées aux différents groupes socio-culturels. Parmi ceux-ci, les populations Mahi du département des Collines utilisent des systèmes culturels traditionnels en grande partie respectueux (gestion des terres, choix des plantes cultivées, assolement, rotation, association de cultures ou polyculture, intégration de l'élevage à l'agriculture, enfouissement dans le sol de résidus de récolte et de débris végétaux, la jachère, etc.) de l'environnement. De nos jours, le système cultural est dominé par la monoculture de plantes héliophiles comme le coton et l'igname. Les cultures vivrières et saisonnières et annuelles dominent l'agroforesterie. La déforestation est perceptible et évolue de façon exponentielle. Les sols principaux puits de conservation sont mis à nu, subissent une érosion progressive au point de libérer dans l'atmosphère les carbones entre temps stockés dans les matières organiques des matériels pédologiques. Comment concilier les techniques et pratiques agricoles endogènes et exogènes pour rendre les populations rurales moins vulnérables aux excès de carbone dans l'atmosphère. Cette recherche vise à analyser la contribution des systèmes culturels traditionnels du groupe socio-culturel Mahi à la protection de la terre contre le réchauffement et les dérèglements climatiques. L'évaluation des pratiques agricoles permettra de retenir celles ayant un potentiel de séquestration additionnel significatif.

1. Matériel et méthodes

1.1. Matériel utilisé dans un espace géographique à caractères naturels et humains variés

Dans le cadre de la présente étude plusieurs instruments ont été utilisés. Il s'agit notamment d'un GPS (Global Positioning System), d'une chaîne d'arpenteur, de la carte pédologique des sols au 1/200000 établie par B. Volkoff et P. Willaime (1976, p.16), des cartes géologiques couvrant le département des Collines établie par R. Pougnet et M. Slansky (1957, p. 12), des imageries satellitaires de 1986 et 2018 du secteur de recherche, d'une tarière, d'un clinomètre, d'une houe, d'un coupe-coupe, d'un mètre ruban et d'un étrier. Le GPS, la chaîne d'arpenteur, la houe et le coupe-coupe ont servi à réaliser des transects, des levés altimétriques et planimétriques, des fosses pédologiques. Le GPS a permis particulièrement de localiser des éléments géographiques intéressants

pour cette recherche à partir des coordonnées géographiques. Les cartes géologiques ont permis d'établir les corrélations entre les natures des sols et les roches préexistantes. Des mottes de terre ont été prélevées à l'aide de la tarière pour être analysées au laboratoire afin d'identifier la teneur des sols en humus. Les fosses pédologiques quant à elles ont permis de constater l'importance des systèmes racinaires dans les différentes couches. Le clinomètre associé à une boussole a non seulement permis de s'orienter dans le secteur de recherche mais de mesurer les pentes topographiques et des couches géologiques afin de pouvoir identifier les facteurs de différenciation des épaisseurs des couches superficielles des sols. Le mètre ruban a permis de prendre les dimensions des éléments intéressants pour la présente recherche. Il est à la fois utilisé avec l'étrier pour mesurer le Diamètre Hauteur de Poitrine des espèces végétales surtout arborescentes. Des fiches d'enquête et un enregistreur de sons ont été utilisés pour faciliter les prises de notes et de ne pas dénaturer les informations.

Le département des Collines couvre une superficie de 13931 km² (F. Médénouvo, 2012, p. 143) et représente une collectivité territoriale décentralisée. Ce territoire est situé entre 7° 20' et 8° 48' latitude nord et entre 1°35' et 2° 45' longitude est (Figure 1).

Le département des Collines est limité au nord par les départements de la Donga et du Borgou ; au sud par les départements du Zou et du Plateau ; à l'ouest par la République du Togo et à l'est par la République Fédérale du Nigéria. Le type de relief est un plateau qui résulte de l'aplanissement d'une ancienne région de montagnes dont les témoins sont les reliefs résiduels que sont les collines et les inselbergs. Il s'agit d'une pénéplaine cristallophyllienne du socle précambrien présentant une altitude moyenne variant entre 200 et 300 m (K.S. Adam et Boko, 1983, p. 14). Cet espace géographique est soumis à un climat de transition qui balance entre le type soudano-guinéen à deux saisons sèches (une saison de pluies allant de mi-mars à mi-octobre et une saison sèche allant de mi-octobre à mi-mars) et le type subéquatorial avec une alternance de deux saisons de pluies et de deux saisons sèches (N. Agoïnon et al, (2010, p.32).

La pluviométrie varie entre 900 et 1200 mm. Les dérèglements climatiques font de plus en plus disparaître le caractère bimodal du régime pluviométrique (Figure 2).

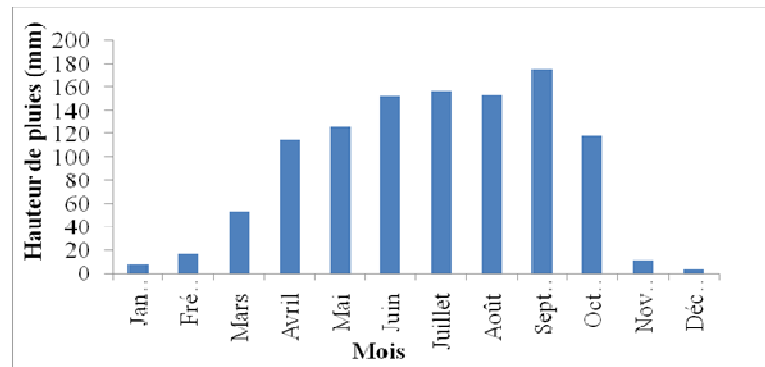


Figure 2 : Régime pluviométrique du département des Collines au Bénin de 1988 à 2018.

Source : ASECNA-Bénin, 2019.

L'observation de la figure 2 permet de constater la tendance à une saison pluvieuse de mars à novembre et une saison sèche de novembre à décembre. L'harmattan souffle sur le secteur de recherche de novembre à mars et réduit l'humidité de l'air. La température est élevée et constante. Les sols sont à dominance ferrugineuse avec les variantes de sols ferrugineux faiblement concrétionnés en gravillons isolés.

La pédologie est caractérisée par l'existence des sols minéraux bruts et peu évolués sur les affleurements rocheux. Le long des cours d'eau et dans les bas-fonds, il y a des sols hydromorphes. Ils constituent des pièges à carbone. Ce carbone du sol est 700 fois plus important que l'augmentation annuelle en CO₂ (CIRAD, 2002, p. 38).

Ces différents sols portent des formations végétales dominées par des savanes arborées, arbustives et herbeuses avec par endroits des forêts claires, des forêts denses sèches, des forêts-galeries et des formations saxicoles sur les collines et les inselbergs. Il est observé une mosaïque de champs et de jachères. Les principales espèces végétales du secteur d'étude sont *Isobertinia doka*, *Pterocarpus erinaceus*, *Parkia biglobosa*, *Prosopis africana*, *Chlorophora excelsa*, *Daniellia oliveri*, *Anogeissus leiocarpus*, *Antarias africana*, *Annona senegalensis*, *Borassus aethiopum*, *Imperata cylindrica*, *Andropogon gayanus*, des plantations de *Elaeis guineensis*, *Anacardium occidentale*, etc. Une microfaune constituée en l'occurrence de fourmis, de termites, des vers de terre et des rongeurs permet l'aération et la fertilisation des

sols par la création de petits trous et la remontée en surface des nutriments des plantes.

Le département des Collines est traversé par un réseau hydrographique constitué essentiellement des cours moyens du fleuve Ouémé et de ses principaux affluents que sont l'Okpara et le Zou qui fertilisent les sols des vallées par des apports de limons et d'alluvions. L'ensemble de ce capital naturel (relief peu accidenté, climat pluvieux, diversité de sols, de formations végétales, de faune, hydrographie relativement dense, etc.) permet à la population de mener des activités économiques dont la plus importante est l'agriculture. Les activités secondaires sont l'élevage, la pêche, la chasse, la sylviculture, l'exploitation forestière, la cueillette, le ramassage, etc., qui d'une manière à une autre, participent à la production du carbone.

Selon l'Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique (INSAE, 2013, p. 215), la population du département des Collines a connu de 2002 à 2013, une évolution en passant de 535923 à 717477 habitants avec un taux de croissance de 2,62 %. Ceci dénote de l'ampleur de la pression que les populations exercent sur les ressources naturelles notamment la végétation et les sols. Les terres agricoles sont surexploitées et devenues pauvres en substances organiques et minérales et incapables de satisfaire les besoins alimentaires et socio-économiques des populations. Au-delà de ces fonctions, les sols jouent les rôles de filtre en transformant, épurant ou polluant les eaux qui les traversent ; régulent le régime des cours d'eau et le remplissage des nappes souterraines ; influencent la composition chimique et biologique, la composition de l'atmosphère ; en particulier, stockent et relâchent les gaz à effet de serre (dont le CO₂ : il y a jusqu'à 3 fois plus de carbone dans le sol que dans la végétation qui le recouvre) ; biologique car c'est le lieu de vie pour de nombreuses espèces animales et végétales ainsi qu'une très grande diversité de microorganismes, ; technologique car fournissent des matériaux que l'homme utilise pour construire et pour ses activités industrielles et artisanales ; de mémoire en conservant les traces de l'histoire (P. Stengel, 1998, p. 85). Dans le cadre de cette recherche, ce sont les mécanismes de séquestration et de réduction des émissions de carbone du système agricole des peuples Mahi des collines au Bénin qui ont été stigmatisés.

1.2. Méthodes

La collecte des données a commencé en février 2019 pour s'achever en décembre de la même année. Dans le cadre de la présente recherche, les données collectées sont de natures quantitatives et qualitatives. Celles quantitatives concernent les statistiques pluviométriques de 1988 à 2018, les effectifs de la population issus

des recensements généraux de la population et de l'habitat, les mesures des dimensions des parcelles ou soles et des placettes agricoles, des espèces ligneuses, des poids des biomasses et des litières par unité de surface ou volume, les quantités de carbone piégées, captées, emprisonnées, stockées ou séquestrées par les végétaux et les sols, etc. Quant aux données qualitatives, elles sont relatives aux modes d'occupation des sols, à la gestion des terres agricoles, des types de cultures, des structures et paysages agraires, des facteurs et moyens de production, des facteurs de déforestation et de dégradation des sols, des méthodes d'adaptation aux réchauffements et aux dérèglements climatiques.

Une recherche documentaire a été entreprise à travers les centres de documentation et dans les bibliothèques des organisations ou institutions spécialisées dans les domaines de protection de l'environnement en général et spécifiquement dans le réchauffement de la terre et dans les dérèglements climatiques. Pour ce faire, des documents ont été consultés aux niveaux de l'Organisation des Nations Unies pour l'Agriculture et l'Alimentation (FAO), du Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE), du Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD), de l'Agence Internationale de l'Energie (AIE), de l'Agence Béninoise de l'Environnement (ABE), du Groupement d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GEIEC), l'Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne en Afrique et à Madagascar (ASECNA), l'Institut de Recherche Agricole du Bénin (INRAB), etc. Les données socio-économiques ont été collectées notamment à l'Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique (INSAE). En outre, une exploration de l'internet a été réalisée.

Le territoire a été subdivisé en zones agroforestières, de cultures, de jachères, de formations végétales et en agglomérations. L'élevage étant une activité économique très liée à la gestion de la terre, ses types sont identifiés et le pâturage analysé pour connaître leurs effets sur l'environnement. La disponibilité des ressources naturelles par unité de surface ou zone est évaluée pour estimer leur teneur en matières organiques, les entrées et les sorties de carbone. Au sein de chaque unité de surface, des placettes d'expérimentation ont été créées. Pour la quantification de la teneur en carbone superficiel, enfoui dans un sol et le potentiel de séquestration du système sol-plante, la méthodologie a tourné autour de l'étape des inventaires des matières organiques pour mesurer les volumes de la biomasse et les stocks de carbone dans les placettes réparties sur les différentes unités de surface. Autrement dit dans chaque zone des inventaires phytoécologiques ont été réalisés pour déterminer le potentiel en production de bois et de la biodiversité végétale et même faunique.

Les superficies des placettes de sondage ont varié en fonction des types de formations végétales et des occupations du sol par les activités humaines. Elles sont de 1000 m², soit 100 m x 100 m. La formule $t (\%) = Sp * N / SF * 100$ avec t = taux de sondage ; Sp = superficie de la placette ; SF = superficie de l'unité cartographique ou type de formation végétale ou unité de surface a été utilisée pour déterminer le taux de sondage ou le nombre de placettes à inventorier. Tous les pieds d'arbres de diamètre supérieur à 10 cm ont été pris en compte. Le Diamètre à Hauteur de Poitrine (DHP) est une des mesures forestières les plus acquises au niveau mondial. Elle est définie à 1,3 m ou 4,5 pieds au-dessus du sol. Elle est la hauteur standard internationalement reconnue à laquelle le diamètre des arbres est mesuré. Des entretiens ont permis d'avoir la perception des agriculteurs sur les émissions des gaz à effet de serre (GES) et leurs impacts sur le réchauffement et les dérèglements climatiques d'une part et sur les mécanismes de séquestration et de réduction des émissions de carbone dans le système agricole des peuples Mahi dans le Département des Collines au Bénin d'autre part. L'installation de six focus group dont un par commune a permis de confirmer ou d'infirmer les informations individuelles recueillies au cours des enquêtes de terrain. L'application de ces techniques a été possible grâce à la constitution d'un échantillon et à l'usage des outils de collecte des données.

La population-mère de cette étude compte 717477 habitants. A défaut de pouvoir interroger chacun d'entre eux, un échantillon a été constitué par quota et par choix raisonné à partir des critères comme avoir exercé des activités agricoles au moins pendant 30 ans, être âgé d'au moins 50 ans, avoir vécu dans le département des Collines pendant au moins 30 ans, être un exploitant forestier, un artisan utilisant des bois comme matière première, un chasseur, une personne ressource, un sage, etc. Ces critères ne sont pas cumulatifs car il suffit qu'un critère soit respecté. Le département des Collines compte soixante (60) arrondissements dont huit (08) urbains et 52 ruraux. Ces différents arrondissements comptent au total 297 villages dont 111 Mahi et quatre quartiers de ville Mahi. L'échantillon interrogé a été constitué par quota stratifié ou hiérarchisé avec 2 personnes par village et une personne par quartier de ville. Il y a eu 222 ruraux, 04 urbains et par choix raisonné 24 personnes des services techniques publics et privés ont été interrogées dans le cadre de cette étude. Au total, 250 personnes ont formé un échantillon représentatif dans le cadre de cette recherche. Une grille d'observation a permis de détecter sur le terrain notamment dans les champs les pratiques agricoles peu respectueuses de l'environnement, favorables à la dégradation des sols et celles protectrices et régénératrices des sols. Un questionnaire a été administré à des hommes et femmes agriculteurs et chefs de ménages afin de recueillir les difficultés liées aux modes d'accès et de gestion

des terres/sols d'une part et les actions correctives appliquées d'autre part. Le guide d'entretien a servi à obtenir les points de vue de certains spécialistes des questions de gestion, conservation et protection des sols. Les informations recueillies ont été traitées et les résultats analysés.

1.3. Traitement des données et analyse des résultats

A l'aide d'une vision stéréoscopique, les photographies aériennes de 1986 et 2018 ont été interprétées. L'analyse des images satellitaires de 1986 et de 2018 du territoire du département des Collines a permis d'utiliser une méthode diachronique qui a permis de matérialiser par observation indirecte la dynamique de l'occupation du sol en général et du couvert végétal en particulier. Pour rendre les interprétations conformes aux réalités, des observations directes ont été réalisées. Les milieux stables, peu stables et instables ont été identifiés. Le mode de traitement des images a été basé sur les systèmes d'acquisition photographiques et la photo-interprétation. Ainsi, la méthode morphodynamique fondée sur le rapport morphogénèse/pédogénèse a permis de localiser les sols en dégradation susceptibles de libérer de carbone. Pour rendre les données dendrométriques comparables, l'unité de surface de référence choisie est l'hectare. Pour extrapoler une donnée à cette surface de référence, celle-ci est multipliée par un coefficient appelé « facteur d'extension » (F_{ext}) dont la valeur varie en fonction de la placette dans laquelle la donnée a été récoltée. $F_{ext} = 10000/S$ où F_{ext} = facteur d'extension ; 10000 = Unité de surface de référence (ha) exprimée en m^2 ; S = Surface de la placette expérimentée en m^2 . Le DHP est utilisé dans le calcul des estimations du volume, de la surface terrière et de la biomasse aérienne de bois (carbone) des arbres individuels et des forêts entières. Le volume est calculé par la formule $V = 10 * G * P$ avec V = Volume de bois en m^3 , 10 = Constante, G = Surface terrière = $C/4M$, C = Circonférence de l'arbre à 1,30 m au-dessus du sol. $M = 3,14$ et P = Précipitation moyenne annuelle laquelle sur le site ou la station la plus proche est exprimée en mètre. P est égal à 1200 mm ou 1,2 m par an dans le cadre de la présente recherche. Il existe cette égalité : 1 m^3 de bois exploité = 1 tonne de CO_2 = 0,27 tonnes de carbone. Le calcul de la biomasse étant très complexe n'est pas prise en compte dans le cadre de la présente recherche.

Un traitement statistique des données climatiques a permis d'élaborer un diagramme des moyennes annuelles de pluies qui renseigne sur les saisons sèches et les saisons humides. Un dépouillement manuel des questionnaires récupérés et des fiches d'enquête a été réalisé. Les enregistrements ont été attentivement réécoutés afin de repreciser la nature et les contenus de chacune des informations fournies par les personnes oralement interrogées. Les données recueillies ont été classées par catégorie. Celles quantitatives ont été rangées sous forme

de tableaux et de graphiques par le tableur Excel. Par contre les données qualitatives ont été soumises à un raisonnement cartésien à travers des explications, des analyses, des comparaisons et des conclusions. Des cartes ont été réalisées à l'aide du logiciel ArcView. Des coupes morpho-pédologiques ont été interprétées. Les méthodologies utilisées ont permis d'aboutir à des résultats qui sont analysés par les modèles SWOT (Strength, Weaknesses, Opportunités, Menaces) qui signifie (Forces, Faiblesses, Opportunités, Menaces) et PEIR (Pressions, Etats, Impacts et Réponses).

Dans le cadre de la présente recherche, le volume de fumée dégagée par une certaine quantité de matières ligneuses a été estimé. En effet, dans une cuisine de trois (3) mètres de long et de deux (2) mètres de large et plafonnée avec des nattes en grandes nervures principales de palmier à huile à la hauteur de 2,5 m, cinq kilogrammes de *Pterocarpus erinaceus* furent consommés. Signalons que la cuisine a été hermétiquement fermée pendant tout le temps de l'opération. A l'ouverture de la cuisine, cette dernière était pleine de fumée et aucun objet n'était visible. Cinq (5) kilogramme de *Pterocarpus erinaceus* ont ainsi produit 15 m³ de fumée qui contiennent de monoxyde de carbone (CO) et de la suie. Ce volume est la moyenne journalière consommée par ménage.

2. Résultats

2.1. Caractéristiques du système agricole des Mahi du département des Collines au Bénin

La présente recherche révèle que la gestion foncière est déterminée par une organisation sociale, technique et politique chez les peuples Mahi du département des Collines au Bénin. Le système agricole repose à la fois sur des modes de succession des cultures dans le temps et leur répartition sur l'espace cultivé, les modes de production animale, d'association de cultures, les outils ou moyens de production et la main-d'œuvre utilisés, etc. Les enquêtes de terrain dans le cadre ce travail ont montré que le système cultural fonctionne principalement avec 21, 2 % d'assolement et 74, 8 % de rotation de cultures. Dans la pratique de rotation l'espace cultivable réparti en soles prévient contre l'épuisement spécifique d'une catégorie de nutriments en cultivant la même espèce végétale sur le même type de sole. Ces modes de cultures sont pratiqués respectivement par 29, 6 % et 70, 4% des agriculteurs. Ces assolements et rotations sont peu intensifs. Les ménages agricoles ont besoin de vastes surfaces de terre pour pouvoir produire une quantité vitale. A peine 1 % des producteurs agricoles utilisent des charrues et des équipements motorisés. Les 99 % restants utilisent un outillage léger composé notamment de houe, daba, de coupe-coupe, de hache, de pioche, de

faucille, etc., et sont obligés de pratiquer une agriculture extensive basée sur la culture itinérante sur brûlis.

La production vivrière composée de céréales notamment le maïs, le sorgho, le mil, le fonio ; de tubercules comme le manioc, l'igname, la patate, le taro ; des légumineuses (haricots, le pois d'angole, le vandzou, etc.) et des cultures maraichères comme les légumes, les tomates les piments, etc., est une partie importante de l'agriculture du secteur de recherche. Pour 72,9 % des producteurs interrogés, cette agriculture est pratiquée pour leur subsistance ; elle est surtout une agriculture familiale. La production de cultures industrielles et commerciales dont la plus importante est le coton connaît d'année en année un essor. Selon les enquêtes de terrain réalisées dans le cadre de cette recherche 45,3 % des producteurs agricoles se donnent à cette agriculture commerciale. L'introduction de cette nouvelle culture dans le système agricole endogène n'a pas pour autant bousculé la technique d'association des cultures, mais a instauré par endroit le système de monoculture. Sur 65,7 % des terres cultivées, il est observé une combinaison à base de maïs associé au manioc, au haricot ou à l'arachide ; une autre combinaison à base du maïs ou de mil associé au manioc ou l'igname apparaît en deuxième position après le manioc. Le mil ou le sorgho est combiné avec l'igname. Il y a également, la combinaison du maïs de l'arachide et du haricot, du coton avec le niébé. La monoculture occupe 34,3% des terres cultivées.

L'analyse des effets environnementaux de la culture itinérante sur brûlis a conduit à l'observation de l'usage du feu dans les activités agricoles. Des observations sur le terrain ont permis de constater que le nettoyage des superficies à cultiver est réalisé au début des saisons pluvieuses et en moyenne après trois à quatre pluies au moment où certaines espèces végétales notamment des herbacées ont poussé et certaines espèces arborescentes portaient leurs jeunes feuillages. Pour 65,1 % des agriculteurs usant de cette technique, les jeunes plantes et feuillages rendent les feux moins incandescents et très peu nuisibles aux microorganismes et aux matières organiques du sol. Ceci atteste de la préoccupation des producteurs à protéger les ressources naturelles en l'occurrence les sols. Cette préoccupation est perceptible dans leur système de labour. Les labours en billons et en buttes font enterrer des matières organiques dont la décomposition donne de l'humus qui contribue à la fertilisation des sols. Pour éviter que la biomasse vivante nuise aux cultures, certains labours sont réalisés plusieurs mois avant la semence. C'est le cas de la culture de l'igname dont les buttes sont édifiées courant juin-juillet et la semence a lieu courant novembre et décembre de la même année. Des feuillages secs et notamment ceux des herbacées sèches sont érigés au-dessus des buttes après la semence de l'igname afin d'éviter l'échaudage des jeunes plants. La combinaison culturale à base du sorgho, avec

l'igname et le haricot permet à l'agriculteur de prélever à maturité les feuillages des sorgho ou mil et de les enfouir dans les buttes devant porter les semis d'igname. Au cours de la formation des buttes des résidus de récolte sont également enrôlés dans ces dernières en augmentant ainsi le taux de l'humus. L'observation du terrain a permis de constater que 81,6 % des terres cultivées sont labourées en billons, 17,3 % en buttes et 1,1 % sans labours. L'observation du système d'élevage a permis de constater la prédominance du petit élevage très peu intégré au système cultural.

Le désherbage des champs est fait par arrachage à la main et par sarclage à l'aide des houes. Cette biomasse recueillie, laissée dans les sillons ou entre les buttes, ou enfouies sous du sable sur sol ferrugineux et dans la boue sur les sols hydromorphes meurt, pourrit, se transforme en humus ou se minéralise. Les carbones libérés sont séquestrés par les sols. Ceci participe à une agriculture biologique qui se sert uniquement que des nutriments naturels. L'estimation de cette biomasse montre qu'elle varie en moyenne entre 12,5 t et 41,8 t/ha, soit entre 3,375 t et 11,286 t de carbone. L'association des cultures et la phase de pleine végétation augmentent le taux de couverture végétale du sol qui varie entre 60 et 89,6 %. Ceci constitue une voûte qui empêche les carbones libérés de se disperser dans l'atmosphère. L'énergie des eaux pluviales est brisée par les matières organiques des cultures. Elles s'infiltrent en grande partie dans le sol et favorisent la formation et le développement de ce dernier. Pour 82,6 % des agriculteurs septuagénaires interrogés, la durée de la jachère variait entre 10 et 20 ans. Avant la réoccupation agricole des terres mises en jachère, 85,6 % de celles-ci portent des savanes boisées. Dans les champs, il est observé des espèces arborescentes volontairement laissées compte tenu de leurs utilités sociales (médicaments par exemple) et économiques (fruits à commercialiser par exemple) et environnementales (favorable à la zoochorie, anémochorie et hydrochorie, ombrage pour le repos). Pour 44,6 % des personnes interrogées, il s'agit des espèces végétales qui abritent des divinités qui favorisent la prospérité des champs, le bien-être des agriculteurs ; 55,4 % révèlent que les prélèvements des racines, écorces et feuilles de ces arbres servent à faire des fusions, des décoctions et autres pour traiter certaines maladies.

En dehors des cultures saisonnières et annuelles, les populations rurales entretiennent des plantations de palmiers naturels qui de par leur système racinaire protègent le sol contre l'érosion pluviale. Il est observé dans ces plantations des parcelles de combinaison culturale à base du maïs avec l'arachide et du haricot. Autour des pieds des arbres fruitiers, les agriculteurs rassemblent des débris végétaux et animaux pour les alimenter en humus et pour les protéger contre l'assèchement rapide des parties du sol les environnant. Pour sauvegarder leurs

récoltes et leurs plantations des pare-feux sont organisés un peu après les dernières pluies. L'organisation et la cohésion sociales des Mahi ont imprimé des marques aux paysages rural, agraire et foncier. La population du département des Collines au Bénin est polythéiste avec une dominance des religions endogènes. Pour 62, 8 % des septuagénaires interrogés, la terre appartient à la communauté, aux aïeux ou aux morts et à la divinité Sakpata pourvoyeuse des maladies infectieuses comme la variole, la varicelle, la rougeole, etc., lorsqu'elle est fâchée contre les déviances humaines. La terre est alors sacrée, inaliénable et administrée par le chef de la collectivité pour les personnes attachées à la tradition. La gestion des ressources naturelles est planifiée, 75, 32 % des rites d'initiation ont lieu notamment dans des forêts, des forêts galeries ou marécageuses, aux pieds ou sur des collines et des grands arbres, dans les vallées des cours ou plans d'eau où sont logés les grandes divinités.

De nos jours 70,6 % des forêts du secteur de recherche sont des forêts sacrées. Ces lieux sont interdits d'accès aux non-initiés et de prélèvements de matières minérales et organiques à toute personne. La totalité de leurs sols est couverte de litières abondantes d'épaisseurs variant en moyenne entre 10,5 à 50, 8 cm, le bilan morphogénèse/pédogénèse est en faveur de la pédogénèse. L'indice de concentration de propriété était nul car il y avait égalité de chance et presque tous les individus ont de terre à cultiver et les surfaces de terre au repos sont plus importantes que celles qui sont exploitées dans la société traditionnelle affirment 68,4 % des septuagénaires interrogés. Par contre pour 52, 8 % des jeunes interrogés, la pression démographique et la multiplicité des besoins sont évoquées comme les causes fondamentales de la destruction du couvert végétal et des sols par ricochet de la libération des carbones dans l'atmosphère.

De tout ce qui précède, il y a à retenir que le système agricole des Mahi du département des Collines est respectueux de l'environnement. Il constitue des écosystèmes qui participent à la régularisation du climat, approvisionnent les êtres-vivants en aliments, contrôlent l'érosion des terres ou sols et maintiennent la biodiversité. Ce système cultural prend en compte l'Economie, le Social et l'Environnement. Il s'agit alors d'un système agricole durable. Ce type d'agriculture a des mécanismes de séquestration et de réduction des émissions de carbone.

2.2. Origines des émissions de carbones dans le département des Collines au Bénin

Le carbone produit dans le secteur de recherche a des origines naturelles et humaines. La principale source naturelle repose sur les radiations solaires. La surface cultivable du département des Collines est parsemée de collines et des inselbergs dont les rochers sont en

grandes parties dénudées. La commune de Dassa-Zoumè compte à elle seule 41 collines. En plus, il est dénombré par hectare dans les zones encore boisées en moyenne 61 arbres morts. Ces derniers sont calcinés aux pieds par les agriculteurs afin de permettre aux cultures héliophiles de bénéficier des rayonnements solaires. Ils libèrent leurs feuillages qui alimentent les sols en matières organiques et ont une résistance de se maintenir sur pied pendant une durée qui varie en moyenne entre 2 et 7 ans suivant la nature et la qualité des matières ligneuses. Ces arbres morts sur pied et rochers réfléchissent des radiations solaires. Au cours de la première année des jachères, les sols à dominance ferrugineuses sont nus à plus de 71,8 % et sont à l'origine de fort albédo.

Les sources humaines concernent les multiples activités notamment économiques menées par la population. Pour 63,2% des personnes interrogées les carbones proviennent des feux de végétation, 24,5 % indexent la culture itinérante sur brûlis, 8,3 % les foyers de ménages et 4 % les usines. La production humaine serait plus importante que la production naturelle. En effet, 65,2 % des personnes septuagénaires interrogées, la culture itinérante sur brûlis est l'une des principales techniques culturelles dans le système cultural des Mahi. Ils précisent que parfois des imprudences conduisaient à des incendies de vastes surfaces de forêts avec des dégâts matériels, des pertes de la biodiversité végétale et animale, voire des pertes en vies humaines surtout dans le rang des chasseurs. Des fumées sont également dégagées par des foyers domestiques. Au niveau des ménages, les feux allumés (foyers domestiques) pour cuire les aliments produisent des fumées chargées de dioxyde de carbone, du monoxyde de carbone et de la suie. La principale source d'énergie pour la cuisson des aliments est le bois de chauffe. Avec les 129159 ménages que compte le département des Collines en 2013, la production moyenne journalière serait de $15 \text{ m}^3 \times 129159 = 1937385 \text{ m}^3$. A ces foyers domestiques s'ajoutent 1026 moulins à maïs qui consomment en moyenne par an chacun 600 litres de gas-oil en libérant des fumées. En plus, il y a des vulcanisateurs qui brûlent des pneus usés et des mécaniciens qui déversent les huiles de vidange dans la nature.

Le secteur secondaire est basée essentiellement sur l'usine de transformation du manioc de Logozohè, la Société Sucrière de Savè (SUCOBE), les usines d'égrenage de coton de Dassa-Zoumé, de Savalou, de Glazoué et les unités industrielles de la Société Nationale de la Production Agricole (SONAPRA). Les consultations menées dans les archives de chacune de ces usines ont révélé qu'en moyenne par an 305960 litres de gas-oil sont consommés. Il est observé sur chaque site industriel des cheminées qui dégagent des fumées contenant de monoxyde de carbone (CO) et de dioxyde de carbone. Toutes les unités industrielles ont chacune plus de quinze ans de durée

de vie. Au-dessus de chaque site industriel s'est formée une concentration massive de fumée avec des points noirs en suspension dans l'air qui absorbent de la lumière, créent de l'ombrage même en pleine saison sèche. Les enquêtes dans les infirmeries de ces différentes usines ont montré que 68,5 % des travailleurs déclarés malades souffrent de bronchite et il y a une prévalence des maladies de l'appareil respiratoire et une diminution de la fonction respiratoire.

Des carbones proviennent aussi du trafic routier. Il est remarquable sur la Route-Inter-Etat n° 2. Les jours ouvrables ce trafic est de 58 véhicules à quatre roues et 18 motos par heure sur cette voie. Les samedis et dimanches, il est de 82 véhicules à quatre roues et 42 motos par heure. Un smog est souvent observé surtout au niveau des feux tricolores et des parcs automobiles. L'analyse des brouillards a révélé la présence des oxydes d'azote (NOx), des fumées noires, du monoxyde de carbone (CO), etc. Les véhicules Diesels sont responsables de 90 % de ces émissions. Les enquêtes menées dans le cadre de la présente recherche ont révélé qu'au niveau des riverains des routes et des gares, 78,5 % ont reconnu l'existence des risques accrus d'exacerbation de l'asthme, des infections, de crises d'asthme, de bronchite, d'atteinte au système respiratoire, d'altérations du système cardiovasculaire et de décès liés à proximité liée au trafic routier. Le long des voies, les personnes les plus exposées au dioxyde de carbone (CO₂) et du monoxyde (CO) ont leur domicile situé entre 5 à 160 m. Concernant les parkings et les gares, les victimes sont les personnes situées dans un rayon de 110 m.

La décomposition de la biomasse à la surface de la terre, libère des carbones dans l'atmosphère sous forme gazeuse. Celle enfouie dans les buttes, billons et sols participe au renforcement des aptitudes agronomiques des terres agricoles et leur quantité de carbones libérés est embrigadée par les sols. Ces matières organiques enterrées subissent par les activités microbiennes une dégradation qui mène à leur minéralisation. Toutes les plantes, y compris les arbres et les autres plantes forestières, utilisent la photosynthèse pour absorber le CO₂ et le transformer en différents composés organiques qui constituent le matériel végétal comme le bois, l'écorce ou les feuilles. Cela contribue donc à la diminution du CO₂ dans l'atmosphère.

La déforestation et la dégradation du couvert végétal constituent une source importante d'émission de carbone. La fabrication du charbon constitue aujourd'hui dans le secteur de recherche une activité génératrice de revenus. Ceci implique des abattages systématiques des espèces végétales de dimensions variables. Une fois relativement secs, ils sont consommés et libèrent de carbones. En effet, 12869 ha sont défrichés chaque année. Des activités économiques sont à l'origine des émissions massives de carbone ; mais le système agricole des

Mahi participe à la réduction des émissions de carbone et de sa présence dans l'atmosphère.

2.3. Mécanismes de réduction des émissions et de séquestration du carbone par le système cultural des Mahi du département des Collines au Bénin

L'observation des pratiques agricoles actuelles des populations du département des Collines au Bénin a permis de constater l'existence de trois types de systèmes de culture : les systèmes de culture conventionnels, les systèmes de culture intégrés, les systèmes de culture en agriculture biologique. Ils représentent respectivement 40, 8 %, 55,7% et 3, 5 % du système agricole du secteur de recherche. Les systèmes intégré et biologique relèvent de l'agriculture traditionnelle. Dans le système conventionnel, les agriculteurs procèdent à une utilisation massive d'engrais chimique notamment des engrais azotés, des pesticides, des herbicides et des glyphosates à raison respectivement de 250 kg/ha, 25 l/ha et 5 l/ha. La transformation de ces engrais azotés dans le sol donne des gaz à effets de serre comme le protoxyde d'azote (N₂O) et du dioxyde de carbone. La visite des champs de coton, une semaine après leur pulvérisation aux pesticides a permis de constater la mort des insectes, des rongeurs, des reptiles, des plantules, etc., aboutissant ainsi à une perte de la diversité biologique. La décomposition de ces éléments organiques permet la libération de carbone dans l'atmosphère. La mauvaise et la trop grande utilisation des pesticides et du glyphosate ont rendu des sols compacts après la destruction des microorganismes en rendant les mécanismes naturels de dégradations inefficaces. Ces intrants chimiques ont contribué ainsi à l'appauvrissement de certains sols, voire à leur érosion et infertilités. Ces puits de carbones ainsi éclatés libèrent leur contenu gazeux dans l'atmosphère. Les enquêtes réalisées dans le cadre de cette étude ont permis de constater la réticence de 49, 3 % des producteurs agricoles à user de façon réfléchi et modérée les intrants agricoles exogènes. Les variétés de cultures améliorées qui exigent des apports d'engrais chimiques sont abandonnées à plus de 51, 4%. Pour une production quantitative et variée, les techniques d'association de cultures sont de plus en plus pratiquées pour protéger aussi les sols contre l'érosion. Ceci constitue un des objectifs des systèmes de culture intégrés.

Dans l'esprit d'intégration, les agriculteurs pratiquent des cultures intermédiaires comme le manioc et le pois d'angole qui jouent les rôles de brise-vents, de couverture des sols. En dehors des forêts sacrées et de celles reliques, l'agroforesterie prend de plus en plus corps dans le système cultural. Pour 68, 1 % des producteurs agricoles interrogés, les plantations d'arbres constituent des sources intarissables de richesses et d'assurance retraite. Le territoire Mahi du

département des Collines au Bénin est occupé par endroits par des plantations de *Elaeis guineensis*, de *Anacardium occidentale*, de *Tectona grandis*, de *Eucalyptus*, etc. Les champs de palmier à huile ont occupé pour la plupart les sols *hydromorphes* tandis que les autres espèces sont surtout sur les sols ferrugineux. La taille des exploitations individuelles varie de 1 à 10 ha. Quant aux plantations de la Société Nationale de Bois (ONAB), la taille varie entre 30 et 50 ha. A cela, s'ajoutent les savanes boisées des terres mises en friche ou en jachère pendant plus de 10 ans. Ce couvert végétal permanent limite pendant les saisons pluvieuses le déstockage de l'azote et du carbone. Les systèmes de culture intégrés sont en rapport avec la topographie. Sur les pentes moyennes (5 à 10 %) et sur celles fortes (supérieures à 10 %), une des techniques culturales adaptées est le labour en courbes de niveau où le paillage du sol est entre 60 et 82 % afin de protéger les sols contre l'érosion pluviale. Ces types de labours occupent 10% de la surface agricole utile du département. Ils permettent pendant les saisons pluvieuses d'embrigader des eaux pluviales qui forment des flaques d'eau qui peuvent durer plusieurs jours. Ces dernières s'infiltrent et favorisent le développement de la biomasse qui consolide la résistance du sol en faveur de sa fonction de conservation de carbone. Les systèmes de cultures intégrés sont renforcés par un ensemble de valeurs socio-culturelles et religieuses comme l'interdiction formelle de faire des feux inorganisés et la crainte du mécontentement de la divinité « Gou », dieu du fer, du feu qui punira le coupable par une mort tragique. L'agriculture biologique se résume à l'utilisation de compost, des résidus de récolte et autres débris organiques enfouis dans les billons et les buttes. Le couvert végétal est l'un des principaux facteurs d'absorption du CO₂ libéré dans l'atmosphère. La conservation du carbone dans les végétaux ou la réduction du rythme de libération du CO₂ réduit très sensiblement les émissions des gaz à effet de serre dont le plus important est le dioxyde de carbone. Ce gaz provient également de la déforestation et de la dégradation des forêts.

La séquestration est principalement dépendante de la transformation des molécules carbonatées et du maintien de la structure du sol. L'association ou la combinaison des cultures permet non seulement la couverture du sol pendant la phase de pleine végétation jusqu'à 89,6 % et favorise un développement intense des systèmes racinaires des multiples plantes entretenues sur la même parcelle de terre agricole. Ainsi, ces zones de cultures deviennent stables car le rapport

morphogénèse/pédogénèse est en faveur de la pédogénèse. La polyculture est alors une solution à la captation et à la conservation des carbones émis par les radiations solaires et les activités anthropiques. La densité du système racinaire, des microorganismes rend en moyenne les 30 premiers centimètres de la surface du sol vers l'intérieur meuble, poreux favorable à l'entrée dans le sol du carbone à l'état gazeux et l'absorption des ions carbonatés. En établissant dans le cadre de la présente recherche deux placettes voisines de 1000 m² chacune, l'une portant une seule culture de maïs et l'autre une association du maïs, d'arachide et du haricot ; la quantité de terre perdue de la placette de monoculture est 937, 2 kg/ha de sédiments contre 72, 5 kg/ha sur celle de polycultures. Le sol de la placette de la monoculture s'assèche plus vite que celui de la placette de polycultures à cause de l'importance de la biomasse vivante sur cette dernière. Dans le système cultural des Mahi du département des Collines au Bénin, les espèces végétales de la jachère, de l'agroforesterie (plantations de *Elaeis guineensis*, *Anacardium occidentale*, *Tectona grandis*, etc.) permettent un stockage additionnel, donc de façon significative quand il y a la promotion de pratiques agricoles et sylvicoles adaptées. Dans les champs, les agriculteurs ont laissé de grands arbres compte tenu de leurs fonctions sociales, économiques et environnementales. Sur les sols en jachère de plus de 10 ans, se sont formés des savanes boisées. Dans chacune des six (06) communes que compte le département des Collines, deux (02) placettes de 1000 m² chacune ont été créées dont une dans des zones de jachère et une autre dans les zones d'agroforesterie.

Des inventaires forestiers ou phytoécologiques réalisés ont permis de déterminer le potentiel en production de bois, de la biodiversité végétale voire animale. Les sols de ces placettes sont riches en microfaune des sols (vers de terre, fourmis, termites, etc.). Leur densité est révélée par le nombre de terricoles par unité de surface, soit en moyenne 30/ m². Celle des végétaux est mesurée par le nombre d'espèces végétales par unité de surface. Dans chaque placette à inventorier, tous les pieds d'arbres de diamètre basal supérieur ou égal à 10 cm ont fait objet de mesure. Les valeurs moyennes de disponibilité des ressources naturelles en jachère varient entre 41, 8 à 52, 3 m³/ha/an. Celles des agroforesteries varient entre 30,5 à 43, 9 m³/ha/an. Prenant par exemple. Pour un *Parkia biglobosa* se trouvant dans une zone de jachère de 5, 8 ha et sur une placette de 1000 m², le taux de sondage (t (%)) = $0,1ha \cdot 6 \cdot 100 / 5,8 \text{ ha} = 10, 34 \%$. Le Diamètre Hauteur Poitrine (DHP) de cette espèce végétale est égale à 65,2 cm. Dans le cas d'espèce, $G = 0, 652 \text{ m} / 12,56$; $P = 1, 2 \text{ m}$. $V1 = 10 \cdot 0,652 \text{ m} \cdot 1, 2 \text{ m} / 12, 56 = 0, 62 \text{ m}^3$. L'espèce végétale (*Parkia biglobosa*) ici analysée contiendrait alors 0,27 tonne de carbone x 0, 62 = 0,1674 tonne de carbone. Sur une des « 06 placettes témoins » dans une zone agroforestière de 12, 6 ha, se trouve une espèce

végétale, *Vitellaria paradoxa* dont le DHP mesure 0,856 m. Le taux de sondage est égal à $t (\%) = 0,1 \text{ ha} * 6 * 100 / 12, 6 \text{ ha} = 4, 76 \%$. $G = 0,856 \text{ m} / 12,56$. Le volume de bois du *Vitellaria paradoxa* est égal à $V = 10 * 0,856 \text{ m} / 12, 56 * 1,2 \text{ m} = 0, 81 \text{ m}^3$. L'analyse du système agricole des Mahi du département de Collines au Bénin permet de constater que les agriculteurs utilisent des techniques agroécologiques qui permettent une séquestration de carbone dans les sols et de lutter contre le réchauffement climatique. En effet, les entrées de carbones dans les sols sont favorisées par des pratiques culturales qui protègent le système sol-plante. Il s'agit notamment de l'association de cultures, les jachères et la pratique d'une agriculture naturelle voire biologique qui planifie l'usage des feux. Elle est très peu associée à l'élevage. L'élevage le plus pratiqué est le petit élevage ou l'élevage de case, sans surpâturage pouvant contribuer aux sorties du carbone des sols. Il y avait un peu partout des arbres fétiches, à palabre, d'animation ou de réunion, des forêts sacrées et une pluralité de cultures intermédiaires. Le pois d'angol est une culture pérenne qui non seulement protège le sol contre l'érosion mais aussi l'alimente en azote. Les plantes médicamenteuses comme *Newbouldia laevis*, *Moringa*, *sp*, *Khaya senegalensis*, *Azadirachta indica*, etc., qui entourent les habitations sont de véritables puits de séquestration de carbone. De tout ce qui précède, il est à retenir que la conservation et l'aménagement responsables des systèmes agricoles, des forêts et le développement de nouvelles forêts font parties des stratégies les plus rentables de la modération du changement du climat par voie de séquestration de carbone et en même temps engendrant d'autres bénéfices comme l'atténuation de la pauvreté et la conservation de la biodiversité.

3. Discussion

La présente recherche révèle d'une part que le carbone est émis naturellement par l'énergie solaire et surtout par les activités notamment économiques des hommes ; d'autre part elle a abouti à un résultat selon lequel le système sol-plante se trouve être un maillon essentiel dans les mécanismes de séquestration et de réduction des émissions de carbone. Elle a prouvé que le système agricole des Mahi du département des Collines au Bénin utilise des techniques agricoles comme l'association des cultures, la jachère, l'usage des feux précoces, l'utilisation des outils légers, des techniques de fertilisation des sols par humification, le développement de l'agroforesterie, etc., qui sont dans leur ensemble respectueuses de l'environnement. Ces résultats montrent que chaque groupe socio-culturel ou communauté humaine à ses modes de gestion de son cadre de vie qui se construit de génération en génération. Même si les déterminants naturels et technologiques influencent les différentes mesures d'adaptation, il y a des ressemblances. La destruction de l'environnement et le réchauffement climatique sont des difficultés communes à toutes les

communautés du monde, les solutions préconisées par des travaux scientifiques (FAO, 2013, p.12 ; J. Mousset , 2014, p. 1 ; J. F. Soussana, 2016, p. 48, etc.) sont généralement une agriculture respectueuse de l'environnement, la réduction et l'optimisation de la fertilisation azotée, le développement de la culture des légumineuses, des cultures intermédiaires pièges à nitrates (CIPAN), procéder à des semis sous couvert, faire appliquer le principe pollueur-payeur, etc. Des différences sont observées dans les pays industrialisés où la production des GES est surtout due aux activités industrielles, de transport et pastorales. Il est très difficile de quantifier les carbonés émis et séquestrés.

Dans le présent travail, il ne s'agit que des estimations. Il se pose la problématique du développement économique et la protection de l'environnement. De nos jours, le système cultural Mahi est ébranlé par la monoculture, la disparition presque totale de la jachère, l'utilisation presque abusive des engrais chimiques, des pesticides et des herbicides parfois de mauvaise qualité avec un cortège de problèmes environnementaux. Il importe de remédier très tôt à cette situation comme cela a été sous d'autres cieux. Aux USA par exemples, le Programme Environnemental Quality Incentives Programm (EQIP) permet aux agriculteurs situés dans certains bassins-versants de recevoir des aides pour le développement de pratiques agricoles respectueuses de l'environnement. Il s'agit des mesures incitatives pour encourager les agriculteurs à mettre en place des pratiques agricoles de conservation qu'ils ne développeraient pas autrement. En France, les Contrats d'Agriculture Durable (CAD) consistent en un engagement volontaire d'une durée de 5 ans entre le producteur agricole et l'Etat français, à travers duquel le producteur s'engage à mettre en place des pratiques agricoles respectueuses de l'Environnement en échange d'une compensation économique. Dans le département des Collines au Bénin, il importe de nos jours de commencer par lutter contre la déforestation en développant massivement l'agroforesterie, en systématisant les cultures intermédiaires, de réformer en profondeur les politiques de protection de l'environnement et renforcer l'Education Relatives à l'Environnement (ERE). Les estimations des quantités de carbone séquestrées sont difficiles et rendent les résultats approximatifs. Les approches pour estimer les stocks de carbone forestier dans les pays tropicaux peuvent être regroupés en moyennes de biomes, en mesures au sol et en mesures de télédétection (H. K. Gibbs et al., 2007, p. 5). Le niveau de la technologie dans les pays en voie de développement rend les estimations difficiles, voire incomplètes. Peu de pays en développement disposent d'inventaires nationaux exhaustifs et les données qui y figurent se rapportent souvent à des forêts de valeur commerciale seulement (R. DeFries et al., 2006, p. 22).

Conclusion

L'organisation socio-économique des Mahi a élaboré un système agricole respectueux de l'environnement en se basant sur la combinaison des cultures sur la même parcelle, la jachère, l'agroforesterie, la croyance en certaines espèces animales et végétales comme des totems, des symboles et représentants des divinités ou lignées et la terre considérée comme sacrée. La cosmogonie Mahi permet de craindre et de conserver les ressources naturelles dont notamment la terre (sols) considérée comme la déesse nourricière très respectée et crainte. Cette conservation du système sol-plante leur permet de jouer pleinement leurs rôles d'émissions et de séquestration de carbone. Les sols étant des puits de carbone, la conservation de ces derniers dépendrait de la gestion faite de la terre. Le système cultural Mahi répond à quelques exceptions près aux normes de bonne gestion des ressources naturelles. La pression démographique, l'acculturation et la déculturation ont fait transcender et ébranler cet important arsenal de protection de la terre contre son réchauffement et les dérèglements des climats. Il urge de nos jours de trouver les techniques de stockage à long terme du dioxyde de carbone hors de l'atmosphère. L'intérêt ne réside pas que dans le captage de carbone, mais aussi et surtout dans la production d'autres services environnementaux comme la lutte contre l'érosion, la réduction de la pollution diffuse, le maintien ou la hausse de la diversité biologique, l'amélioration du paysage.

Références bibliographiques

- AGENCE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA MAITRISE DE L'ENERGIE (ADEME), 2014, « Carbone organique des sols. L'énergie de l'agroécologie, une solution pour le climat. Collectivité territoriales et monde agricole. Connaître et agir ». Grésillé, p. 28.
- AGOÏNON Norbert, OVEDE Lucien Marc, TCHIBOZO Cohovi François et AGBAHOUNGBA Edwige, 2010, « Erosion pluviale et gestion des terres dans le bassin-versant supérieur de l'Agbado (Bénin en Afrique de l'ouest) ». In Revue *Climat et développement* n° 10 Laboratoire Pierre Pagnet -Climat-Eau-Ecosystème et Développement (LACEEDE), UAC/FLASH, p.30-41.
- CIRAD, 2002, *Dossier séquestration de carbone*, 64p. Paris, L'Harmattan.
- DeFRIES Ruth, HANSEN Andrew, TURNER Bazile, REID Robin and LIU Jianguo, 2007, « Land use, change around protected areas: management to balance human needs and ecological function », *Ecological Application* 17: 1031, p. 48-50.
- FAO, 2013, *La séquestration du carbone pour une meilleure gestion des terres*. Rome, FAO, 23p.

- GIBBS Holly, BROWN Sandra, NILES John Sandra and FOLY Jonathan, 2007, *Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: making REDD a reality*. California, 45p.
- INRA, 2002, *Stocker du carbone dans les sols français : quel potentiel au regard de l'objectif 4 pour 1000 et à quel coût ?* Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation et l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie, Paris, ADEME, 36p.
- INSAE, 2013, *Rapport du Recensement Général de la Population et de l'Habitat (RGPH) du Bénin*, Cotonou, 54p.
- SOUSSANA Jean-François, 2016, *Séquestration de carbone dans le sol du 4/1000 à Paris*, INRA, 172p.
- MOUSSET Jérôme, 2014, « Carbone des sols : enjeu pour le climat et l'agronomie. In ADEME, 2014 : Carbone organique des sols. L'énergie de l'agroécologie, une solution pour le climat. Collectivité territoriales et monde agricole. Connaître et agir », Grésillé, p. 28.
- NATIONS UNIES, 1998, *Protocole de Kyoto à la convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques*. FCCC/INFORMAL/83GE.05661647 (F) 070605 090605, Kyoto, ONU.
- POUGNET Robert et SLANSKY Maurice, 1957, *Carte géologique de reconnaissance 1/500000*. Notice explicative sur la feuille Porto-Novo-Est, Haut-commissariat de la République en AOF, Dakar, IGN.
- STENGEL Pierre et GELIN Sandrine, 1998, *Sol, interface fragile*, Paris, INRA, 123p.
- VOLKOFF Boris et WILLIAME Pierre, 1976, *Carte pédologique de reconnaissance de la République Populaire du Bénin à 1/200 000 : feuille de Porto-Novo*. Notice explicative. OROSTOM. Paris, IGN.



Institut National de la Recherche Scientifique. INRS
BP: 2240 LOME - TOGO
Tél. (228) 22 21 01 39 / (228) 22 21 39 94
E-mail : inrstogo@yahoo.fr