



CENTRE REGIONAL AGRHYMET



DEPARTEMENT FORMATION ET RECHERCHE

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTERE EN GESTION DURABLE DES TERRES

Promotion : 2013-2014

Présenté par : M. Maman Salissou DAYABOU HAROUNA

Evaluation du stock de carbone au niveau des plantations à *Acacia senegal* au Niger.

Soutenu le 20 Novembre 2014 devant le jury composé de :

Président : Dr. Hassan Bismarck NACRO, Centre Régional AGRHYMET, Niger

Membres : Dr. Nomaou DAN LAMSO, Faculté d'Agronomie/UAM, Niger

Dr. Ablassé BILGO, Centre Régional AGRHYMET, Niger

Maître de stage : Col Mounkaila ZAKOU, Coordonnateur projet biocarbone au PAC

Directeur de mémoire : Dr Maguette KAIRE, Centre Régional AGRHYMET, Niger

Dédicace

Je dédie ce travail à :

Mes parents : Malam Tsayabou Tambari et Tsaibatou Ibrahim ;

Mon épouse : Nana Rabiadou Harou Dagounou ;

Mon fils : Ibrahim Maman Salissou.

Remerciements

Je remercie Allah le Bon Dieu, le Tout Puissant de m'avoir donné la force et les moyens de suivre cette formation jusqu'à son terme.

Au terme de ce travail, je tiens à remercier très sincèrement :

- L'Union Européenne et la Banque Africaine de Développement (BAD) à travers le projet ISACIP pour avoir financé cette formation de mastère en Gestion Durable des Terres ;
- Le Directeur Général du Centre Régional AGRHYMET et l'ensemble de son personnel pour les appuis multiples ;
- Le **Pr Hassan Bismarck NACRO**, Coordonnateur du mastère pour ses appuis multiformes. Sa rigueur et son souci pour le travail bien fait ont été pour nous un enseignement ;
- L'ensemble du corps enseignant pour les connaissances acquises et la qualité de la formation que j'ai reçu ;
- Mon Directeur de mémoire **Dr Maguette KAIRE**, Expert forestier au Département de Formation et Recherche du Centre Régional Aghrymet (CRA). Mes profondes gratitude.
- Mon Maître de stage, **Col Zakou Mounkaila**, coordonateur du projet Bio carbone ;

Mes remerciements vont aussi à l'endroit de :

- **Col Ahmed Omar**, Spécialistes des questions environnementales au Programme d'Actions Communautaires;
- **Col Ibro Adamou**, Directeur des Aménagements forestiers, du Reboisement et de la restauration des Terres à la DGE/EF ;
- **Cdt Assoumane Garba**, chef de la division Aménagements forestiers à la DGE/EF ;
- **Mme Beidari Amina** pour sa constante disponibilité et ses conseils ;
- A tous le personnel du Programme D'Actions Communautaires
- Tous mes amis (es) et camarades de promotion;

Enfin, nous remercions tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à la réalisation de ce travail.

Liste des tableaux

Tableau I: Localisation géographique des sites retenus	17
Tableau II: principales caractéristiques des différents sites d'étude.....	1
Tableau III: Distribution des catégories de types de terres sur l'ensemble des régions.....	1
Tableau IV: Répartition des placettes en fonction des superficies.....	4
Tableau V : Facteurs de conversion de la phytomasse verte en masse sèche d'Acacia senegal	5
Tableau VI: Modèles allométriques calculés pour l'estimation des phytomasses sèches aérienne et souterraine de l'Acacia senegal au Niger :	6
Tableau VII: Estimation de la biomasse au niveau des terres vacantes	9
Tableau VIII: Estimation de la biomasse au niveau des terres agricoles	10
Tableau IX: Estimation de la biomasse au niveau des terres vacantes + les terres agricoles ..	11
Tableau X: Estimation de la biomasse au niveau de la forêt classée	12
Tableau XI: résultats du stock de carbone au niveau des terres	17
Tableau XII: Clé de répartition des revenus issus des plantations d'acacia senegal.....	21

Liste des figures

Figure 1: Emplacement des sites biocarbone du PAC/ Source : PAC (2012).....	16
Figure 2: Distribution de la biomasse en fonction des superficies.....	14
Figure 3: Distribution de la biomasse en fonction de la moyenne par placette	15
Figure 4: Biomasse en moyenne/hectare.....	15
Figure 5: Distribution de la biomasse en fonction de la moyenne selon le nombre de sujet ...	16
Figure 6: Stock de carbone selon les types de terres	17

Liste des photos

Photo 1: Plantation d'acacia senegal de cinq ans sur les terres vacantes.....	19
Photo 2: plantation d'acacia senegal de six ans sur les terres vacantes	19
Photo 3: Pépinière de Chéri.....	20

Sigles et Abréviations

AGB : biomasse totale

BEF : Coefficient d'expansion

C : Carbone

CCNUCC : Convention cadre des Nations Unies sur les changements climatiques

CER : Carbon Exchange Rates

CIRAD : Centre International de la Recherche Agronomique pour le Développement

CO₂ : Dioxyde de carbone

CO₂eq : Dioxyde de carbone équivalent

DBH: Diamètre à hauteur

EIDE : Echange International de Droits d'Emissions

FAO : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture

GDT : Gestion Durable des Terres

GES : Gaz à Effets de Serre

GIEC : Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'évolution du Climat

GPS: Global Positioning System

INS : Institut National de la Statistique

MDP : Mécanisme pour un Développement Propre

MOC : Mise en Œuvre Conjointe

PAC : Programme d'Actions Communautaires

PFP/N : Plateforme Paysanne du Niger

Pg/an : Pictogramme/an

VOB : Volume bois fort inventorié sur écorce

WD ou **WSD** : Densité anhydre du bois

Table de matières

Dédicace	i
Remerciements	ii
Liste des tableaux	iii
Liste des figures	iii
Liste des photos	iii
Sigles et Abréviations.....	iv
Table de matières	1
Résumé	3
Abstract	4
Introduction	5
Chapitre I : Etat des connaissances.....	11
1.1. Généralités sur la photosynthèse et la séquestration du carbone	11
1.2. Généralités sur les méthodes d'estimation de la biomasse	12
1.2.1. Estimation à partir du volume de bois fort sur écorce (calibrage du paramètre de Brown (1997)).....	13
1.2.2. Estimation à partir des tables d'inventaires et des modèles allométriques.....	14
1.2.3. Les modèles allométriques	14
Chapitre II: Matériels et méthodes d'étude	16
2.1. Matériel	16
2.1.1. Présentation de la zone d'étude	16
2.1.2. Matériels d'étude	1
2.1.3. Méthodes d'étude	1
2.2. Méthodologie	1
2.2.1. Choix des réserves de carbone à mesurer	2
2.2.2. Définition d'un plan d'échantillonnage	2
2.2.3. Sélection de l'échantillon	2
2.2.4. Nombre de placettes	3
2.2.5. Collecte des données d'inventaire	4
2.2.5.1. Choix du type et installation des placettes :	4
2.2.5.2. Analyse des données	5
2.2.5.3. Estimation de la biomasse et du carbone séquestré	5
2.2.5.4. Analyse des données	7

Chapitre III: Résultats	8
3.1. Estimation de la biomasse	8
3.1.1. Terres vacantes	8
3.1.2. Terres agricoles.....	10
3.1.3. Terres vacantes + Terres agricoles	11
3.1.4. La forêt classée	12
3.2. Estimation du stock de carbone.....	16
3.3. Evaluation des opportunités pour les populations	18
3.3.1. Sur le plan écologique	18
3.3.2. Sur le plan économique	19
3.3.3. Sur le plan social.....	20
Chapitre IV : Discussions.....	22
4.1. Estimation de la biomasse	22
4.1.1. Terres vacantes :.....	22
4.1.2. Terres agricoles :	23
4.1.3. Terres vacantes + Terres agricoles :	23
4.1.4. La forêt classée :.....	24
4.2. Estimation du stock de carbone	25
4.2.1. Terres vacantes :.....	25
4.2.2. Terres agricoles :	25
4.2.3. Terres vacantes + Terres agricoles :	26
4.2.4. La forêt classée :.....	26
4.3. Opportunités pour les populations à la base	26
Conclusion.....	28
Bibliographie.....	30
Annexe: Fiche de Collecte des données d'inventaire.....	v

Résumé

Le projet bio-carbone est un volet inscrit dans le programme d'actions communautaires qui vise à encourager la plantation d'*acacia senegal* au Niger. Le concept de ce projet a été approuvé par le Conseil des Investisseurs du Fonds Bio-Carbone, administré par la Banque Mondiale. L'objectif premier du projet vise le développement au Niger, d'une filière « gomme arabique » au bénéfice des communautés rurales, ainsi qu'à la réhabilitation des terres dégradées. Cependant, pour accéder aux marchés internationaux à travers la valorisation de leurs produits (gomme arabique) et tirer le meilleur profit du marché de carbone, il faut se soumettre à une comptabilité précise des stocks de carbone. C'est dans ce contexte que cette étude a été entreprise avec pour objectif général, l'évaluation environnementale et socio-économique du potentiel de carbone dans le système sol-végétation des plantations d'*acacia senegal* réalisées dans le cadre du projet bio-carbone. Plus spécifiquement, elle vise à estimer la biomasse des arbres au niveau des plantations à *Acacia senegal* puis à évaluer le stock de carbone au niveau des plantations à *Acacia senegal* et les opportunités dans le cadre du marché du carbone pour les porteurs de projet et les communautés à la base. C'est ainsi que quatre (4) catégories de terres ont été identifiées et parmi lesquelles, un échantillon de dix (10) sites a été choisi. Sur ces 10 sites, soixante (60) placettes de 50mx50m chacune ont été réparties proportionnellement à la superficie de chaque site. Les circonférences à 20cm au-dessus du sol ont été prises sur 4210 sujets. Les estimations ont donné **6770,07 tonne** de biomasse pour un stock de **3385,035 tonne C** au niveau des terres vacantes ; **52061,152 tonne** de biomasse pour un stock **26030,576 tonne C** pour les terres agricoles ; **4004,59 tonne** de biomasse pour **2002,295 tonne C** sur les terres vacantes + les terres agricoles ; et **4808,62 tonne** de biomasse pour **2404,31 tonne C** au niveau de la forêt classée. Ce qui constitue de véritables opportunités pour les populations à la base.

Mots-clés : Biocarbone, *acacia senegal*, Niger.

Abstract

The bio-carbon project is a component part of the Community action program that aims to encourage the planting of acacia senegal in Niger. The concept of this project was approved by the Board of Investors of Bio-Carbon Fund, administered by the World Bank. The primary objective of the project is the development in Niger, a die "gum arabic" for the benefit of rural communities, as well as rehabilitation of degraded lands. However, for access to international markets through the development of their products (gum arabic) and make the most of the carbon market, it must submit an accurate accounting of carbon stocks. It is in this context that this study was undertaken with the overall aim, environmental assessment and socio-economic potential of carbon in the soil-vegetation planting acacia senegal made in the bio-carbon project. More specifically, it aims to estimate the biomass of trees in plantations of Acacia senegal , to Assess the carbon stock in plantations of Acacia senegal and opportunities in the carbon market for project leaders and grassroots communities. Thus, four (4) categories of land have been identified and among them, a sample of ten (10) sites were selected. Of these 10 sites (60) 50mx50m plots each were allocated in proportion to the area of each site. Circumferences 20cm above the ground have been taken on 4210 subjects. Estimates gave 6770.07 tonne of biomass for stock 3385.035 tonne C at the vacant land; 52061.152 tonne of biomass for stock 26030.576 tonne C for farmland; 4004.59 to 2002.295 tons of biomass per tonne C + on vacant land agricultural land; 4808.62 and 2404.31 tonne for tonne biomass C at the forest reserve. What constitutes real opportunities for people at the base.

Keywords: Biocarbone, acacia senegal, Niger.

Introduction

Le changement climatique constitue la contrainte majeure du XX^{ème} siècle (GIEC, 2007). Dans le contexte actuel, ce sont surtout les pays en développement, particulièrement les pays africains du sahel, qui sont écologiquement, économiquement et socialement les plus vulnérables aux impacts des changements climatiques. C'est pourquoi, la communauté mondiale a adopté au cours des années 90, deux accords clés sur la nécessité de réduire les émissions de Gaz à Effets de Serre (GES) qui constituent les principales causes des perturbations climatiques, il s'agit de: (i) la Convention cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC/1992) et (ii) le protocole de Kyoto (1997) qui a fixé des objectifs chiffrés de limitation ou de réduction de gaz à effet de serre (GES) aux pays industrialisés.

Pour aider ces pays à atteindre leurs objectifs au moindre coût, le protocole a introduit trois mécanismes de flexibilité qui sont : (i) le Mécanisme pour un Développement Propre (MDP), (ii) le mécanisme de Mise en OEuvre Conjointe (MOC) et (iii) l'Echange International de Droits d'Emissions (EIDE).

Le MDP vise à : aider les pays en développement à parvenir à un développement durable et contribuer à l'objectif ultime de la CCNUCC, et à aider les pays industrialisés à remplir leurs engagements chiffrés de limitation et de réduction de leurs émissions.

La séquestration de CO₂ par afforestation rentre théoriquement dans le marché du Carbone. C'est pourquoi Les interventions de boisement comme les plantations, selon les Mécanismes de Développement Propre (MDP) peuvent être des actions qui en plus des bénéfiques directes dans la préservation de l'environnement, l'aide aux populations par création de sources de revenu complémentaires et la mitigation des changements climatiques, peuvent avoir aussi une valeur adjointe dans le marché du Carbone. Donc, toutes les actions mirées au stockage de la quantité de CO₂, pourraient entrer dans le marché des quotas, appelées Carbon Exchange Rates (CER).

Sur ces bases, Tarchiani *et al*, (2007), pensent qu'il est donc possible d'estimer la valeur de la séquestration de carbone dans le sahel par afforestation ou boisement en utilisant des espèces appropriées à la zone.

Selon TerrAfrica, (2009), la dégradation et le changement d'affectation des terres constituent les sources principales d'émissions de gaz à effet de serre en Afrique.

En effet, les sols et la végétation conservent trois fois le volume de carbone présent dans l'atmosphère de notre planète (Scherr & Sthapit 2009). Le défrichage et la dégradation sont tels que ces importants puits de carbone se transforment en une source majeure d'émissions de gaz à effet de serre. Avec la dégradation continue des terres, les choix qui s'offrent à plus de 485 millions d'Africains pour assurer leur subsistance diminuent aussi.

Canadell et al (2009), estiment qu'au total, 43 % des émissions de CO₂ proviennent de terres défrichées au profit de l'agriculture, des terres cultivées et de celles où se pratique l'alternance des cultures. Il est donc probable que 5 millions d'hectares de forêts disparaîtront chaque année en Afrique dans les dix prochaines années, libérant ainsi près de 2 milliards de tonnes de CO₂eq par an selon Sohngen, *et al* (2008).

Les terres arables en Afrique conservent actuellement 316 milliards de tonnes CO₂eq (Henry, Valentini & Bernoux cités par Mbow(2009)). Ce qui a fait dire Pender et collab., cités par Mbow(2009)) que deux tiers des terres cultivées, pâturages et terres boisées d'Afrique sub-saharienne sont déjà dégradés, libérant ainsi un important volume de carbone.

L'atténuation des émissions par une gestion durable des terres agricoles pourrait être une alternative face aux défis actuels de gestion de la base productive qu'est la terre.

En effet, les techniques de gestion durable des terres (GDT) renferment un potentiel formidable d'atténuation des émissions de gaz à effet de serre, notamment à partir des terres agricoles. En effet, les stratégies et pratiques de GDT visent à prévenir la dégradation des terres, restaurer les terres dégradées et réduire le besoin de nouvelles conversions de forêts naturelles. Les agriculteurs peuvent ainsi réduire les émissions de gaz à effet de serre, accroître la séquestration de carbone et maintenir des stocks de carbone à la surface et dans les sols avec un coût d'intervention relativement modeste, tout en améliorant également la production alimentaire et les conditions de vie.

Aussi, tout comme la GDT accroît le stockage de carbone dans le sol avec de meilleures pratiques agricoles, elle utilise aussi les arbres et autres plantes vivaces qui stockent du carbone dans les exploitations agricoles (TerrAfrica, 2009). Contrairement aux cultures annuelles, les arbres et autres plantes vivaces survivent de nombreuses années, séquestrant et stockant du carbone dans les parties hypogées et épigées au cours de leur croissance. Dans le cadre des activités de GDT, les agriculteurs exploitent les arbres et autres plantes dans les champs et aux alentours afin de récolter des produits utiles comme

les fruits, le fourrage pour le bétail et des médicaments. Ces pratiques sont bénéfiques à la fois pour la réduction des émissions et pour les écosystèmes.

C'est pourquoi, la CCNUCC, à travers les MDP du Protocole de Kyoto a, pendant ces dernières années, suscité un grand enthousiasme auprès des pays semi arides qui y voient une possibilité d'améliorer l'environnement à travers une augmentation des surfaces forestières tout en bénéficiant des crédits de carbone mis en place à travers des instruments financiers internationaux.

Pour tirer le meilleur profit de ce marché, il faut cependant se soumettre à une comptabilité précise des stocks et des processus qui influencent le bilan du carbone. C'est à ce niveau que se posent plusieurs problèmes pour l'Afrique.

Dans les pays en développement, il existe des vastes opportunités pour réaliser des réductions d'émission de carbone et en même temps contribuer au développement durable. C'est le cas de la conservation et l'aménagement responsable des forêts, et le développement de nouvelles forêts qui font part 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.

L'enrichissement en jeunes arbres des terres récemment déboisées permet, dans les activités de régénération, de reconstituer un couvert forestier naturellement ou artificiellement afin de restituer le plus précisément possible les fonctions écologiques et socio-économiques des forêts naturelles (GIEC, 2007).

Les travaux existants portent cependant pour la plupart sur les stocks de carbone du sol. Ceci est lié au fait que les sols tropicaux présentent des stocks de carbone supérieurs à ceux de la biomasse végétale. Il faut toutefois noter que l'équilibre de ces sols et le maintien durable de leur capacité de séquestration de carbone passe par une bonne conservation de l'élément protecteur majeur qu'est la végétation subséquente et qui constitue le début du cycle du carbone à travers la photosynthèse.

Le calcul des variations des stocks de carbone soulève le problème du temps, en particulier pour les projets de régénération. En effet, cette activité fixatrice de carbone s'effectue à long terme. Les variations de carbone s'en trouvent alors difficilement quantifiables précisément (GIEC, 2007). Le développement d'outils d'estimation des

réserve de carbone permet aux communautés d'asseoir des projets de séquestration du carbone ayant un impact réel sur la réduction de la vulnérabilité des populations face aux changements climatiques (KAIRE *et al* ,2013).

Le Niger, à l'instar de plusieurs pays du monde, a ratifié ces deux accords respectivement en juillet 1995 et mars 2004. Il s'inscrit ainsi dans ce mécanisme pour apporter sa contribution aux objectifs escomptés de réduction d'émissions de GES.

Avec 1 267 000 km² de superficie et plus de **17 129 076** d'habitants estimés par l'Institut National de la Statistique (INS, 2012), le Niger est caractérisé par un climat de type sahélien avec une longue saison sèche de 8 à 10 mois; une courte saison de pluies qui dure 3 à 4 mois (Rives et al, 2010) cité par MAIDA (2013).

Les écosystèmes naturels constituent pour l'essentiel des ressources naturelles renouvelables et sont situés en majorité dans la bande sud du pays entre les isohyètes 350 et 700 mm (MAIDA, 2013).

Les superficies forestières d'environ 338.180 ha sont perdues du fait des sécheresses de 1968, 1973, 1977, 1985 et 2004 et par bien d'autres facteurs anthropiques qui font perdre environ cent mille (100.000) à cent vingt mille (120.000) ha de superficies forestières chaque année selon la plateforme paysane du Niger (PFP/N, 2010).

Aussi, on a observé une forte dégradation de la végétation liée à de nombreux facteurs naturels et anthropiques. La variabilité de la pluviométrie est un élément important dans ce processus, mais il est essentiel de considérer les facteurs humains comme l'exploitation du bois, la dynamique des espaces agraires, les feux de brousse, etc. Les conséquences directes et indirectes de cette dégradation de la végétation ligneuse sur le bilan du carbone sont peu connues. Cependant, il est certain que la réduction de la dégradation pourrait contribuer, à travers une gestion durable des terres, d'une part à réduire la quantité de carbone libérée par la décomposition de la matière organique et d'autre part à l'augmentation de la capacité de séquestration du carbone atmosphérique par la végétation naturelle régénérée.

L'effet de serre à l'origine des changements climatiques devient de plus en plus inquiétant. En droite ligne des recommandations de la Conférence de Kyoto et face à la nécessité de réhabiliter les terres dégradées et de multiplier au niveau communautaire les initiatives de lutte contre la pauvreté et la protection de l'environnement, le Programme

d'Action Communautaire (PAC) inscrit alors à ses activités un volet bio-carbone. Cette nouvelle initiative se traduit sur le terrain par l'encouragement à la plantation d'*Acacia senegal* qui produit de la gomme arabique.

Ainsi, après plus de neuf ans d'existence, il est opportun de faire l'évaluation de ces plantations et de voir leur capacité de séquestration de carbone à travers la lutte contre les changements climatiques.

La présente étude s'inscrit dans ce cadre et se veut comme une contribution à **l'évaluation du stock de carbone au niveau des plantations à *acacia senegal* : Cas du projet biocarbone du Programme d'Actions communautaires (PAC) au Niger.**

Elle permettra, à partir des modèles allométriques adaptés pour la quantification de la phytomasse aérienne et souterraine des trois espèces ligneuses productrices de gomme (dont *acacia senegal*) au Niger, de déduire le stock de carbone au niveau des plantations d'*acacia senegal* réalisées dans le cadre du Programme d'Actions communautaires (PAC) au Niger.

L'objectif général de cette étude est de procéder à l'évaluation du stock de carbone au niveau des plantations à *Acacia senegal*.

Spécifiquement elle vise à :

- Estimer la biomasse des arbres au niveau des plantations à *Acacia senegal*
- Evaluer le stock de carbone au niveau des plantations à *Acacia senegal*
- Evaluer les opportunités dans le cadre du marché du carbone pour les porteurs de projet et les communautés à la base

Ce travail s'est bâti autour des questions de recherche suivante :

Q1 : Les techniques d'inventaires forestiers permettent-elles d'estimer la biomasse des plantations d'*Acacia senegal* ?

Q2 : Les outils et méthodes disponibles permettent-ils d'évaluer les stocks de carbone dans les plantations d'*Acacia senegal* ?

Q3: Le stock de carbone et les produits tirés des gommiers constituent-ils des opportunités économiques pour les populations à la base ?

Les hypothèses de recherche suivantes ont été formulées :

H1 : Les techniques d'inventaires forestiers permettent d'estimer correctement la biomasse des plantations d'*Acacia senegal*.

H2 : Les outils et méthodes validés par la CCNUCC (équations allométriques, ratio biomasse/carbone, dispositifs permanents de suivi) permettent d'évaluer et de suivre les stocks de carbone des plantations d'*Acacia senegal*

H3 : le marché du carbone ainsi que les autres services des produits des gommiers représentent une opportunité économique pour les populations à la base.

Le présent travail s'articulera autour des chapitres suivants :

- Premier chapitre consacré à la synthèse bibliographique relative au thème et à la présentation de la zone d'étude ;
- Deuxième chapitre qui présente le matériel et méthodologie utilisés pour la production des résultats de l'étude ;
- Troisième chapitre résultats et ;
- Quatrième chapitre discussion

Et enfin, une conclusion accompagnée des quelques recommandations.

Chapitre I : Etat des connaissances

1.1. Généralités sur la photosynthèse et la séquestration du carbone

Toutes les plantes 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 végétation est l'élément déterminant dans les échanges de carbone à l'interface terre-atmosphère. Le moteur de ces échanges de carbone est assuré par la photosynthèse qui permet de fixer le gaz carbonique et la respiration qui en libère. La base de la séquestration de carbone par les formations forestières repose sur le bilan entre les deux processus :

Le rôle de la photosynthèse dans la dynamique de séquestration de carbone qui a été largement étudiée par les biologistes (physiologistes) et les écologues (Schimel, 1995; Waring et Running, 1998; Saugier, 2003) ; et La photosynthèse, qui est activée par le rayonnement solaire, permettant ainsi à une plante de capter le CO₂ de l'atmosphère afin de synthétiser des glucides.

La photosynthèse utilise la radiation solaire visible (400 nm à 700 nm) qui représente environ 50 % de la radiation solaire globale (Waring et Running, 1998). De cette fraction, environ 85 % de l'énergie solaire est absorbée par les feuilles mais cette valeur peut varier considérablement selon leur structure et l'âge des formations végétales.

Les écosystèmes tropicaux sont une source nette de carbone relativement importante (de 1,63177;0,4 Pg/an en 1990). (GIEC 2003). Cette source équivaut selon Waring et Running (1998) à près de 30 % des émissions annuelles de CO₂ dues à l'utilisation des combustibles fossiles.

La séquestration du carbone par l'aménagement forestier n'est qu'une solution temporaire (Mbow , 2009). Il permet de produire de la biomasse pendant un temps limité au-delà duquel peu de carbone supplémentaire peut être accumulé. Ce processus peut prendre plusieurs dizaines d'années, selon l'âge des formations ciblées, la densité maximale de carbone qui peut être obtenue, le type de forêt et les espèces choisies.

Pour réduire le carbone atmosphérique, on peut aussi procéder à la substitution de certaines énergies non renouvelables par la biomasse forestière. Il s'agit d'accroître

l'utilisation des forêts pour satisfaire les besoins combustibles, soit en créant de nouvelles forêts et des plantations, soit en augmentant la croissance et par conséquent la production potentielle de bois. Dans le cas des forêts plantées sur des terres non boisées pour la production de sources d'énergie comme le bois de feu, il est possible à la fois d'augmenter la quantité de carbone stocké au sol et, si le bois est brûlé comme combustible, de réduire les émissions de CO₂ issu des combustibles fossiles.(Mbow,2009).

La question du carbone n'a été que récemment un centre d'intérêt pour les pays sahéliens (Mbow ,2009). le carbone des écosystèmes est devenu une source d'enjeu économique, écologique et social en relation avec les développements récents relatifs aux changements climatiques comme l'ont abordé (Woomer *et al.*, 2001; Elberling *et al.*, 2002; Woomer, 2003; Liu *et al.*, 2004; Parton *et al.*, 2004; Tschakert *et al.*, 2004; Tschakert et Tappan, 2004; Tschakert, 2004; Wood *et al.*, 2004; Woomer *et al.*, 2004a; Woomer *et al.*, 2004b; Mbow, 2005; Mbow *et al.*, 2008). La littérature montre que très peu d'études ont été consacrées au stock de carbone ligneux dans les écosystèmes de savane. La plupart des études portent soit sur le carbone du sol (Elberling, *et al.*, 2002;) Tieszen *et al.*, 2004; Tschakert *et al.*, 2004; Takimoto *et al.*, 2008), soit sur une estimation de la biomasse ligneuse basée sur des modèles écologiques (Manlay *et al.*, 2002; Manlay *et al.*, 2004; Gray *et al.*, 2005; Mbow, 2005; Lufafa *et al.*, 2008). cités par (Mbow,2009),

1.2. Généralités sur les méthodes d'estimation de la biomasse

Selon Sambou (2004) cité par Mbow., (2009), l'estimation du carbone ligneux requiert une base d'information consistante à partir de données d'inventaire.

Le stock de carbone des formations forestières est généralement divisé en "compartiments" : les arbres vivants (biomasse aérienne et souterraine), le bois mort (sur pied et au sol, encore appelé "nécromasse"), la végétation du sous-bois (herbacées et ligneux bas), la litière et le sol (matière organique principalement). (KAIRE *et al.*, 2013).

Dans une étude qui a porté sur des plantations mono-spécifiques de *Rhizophora* spp., GAYE (2010) a estimé la quantité de carbone que peut séquestrer ces plantations et a trouvé que la séquestration du carbone est proportionnelle à l'âge des plantations. L'étude de la biomasse par la méthode directe ou de pesée, lui a permis d'estimer le carbone au niveau des différentes plantations,

La réalisation d'une méthodologie de mesure ou d'estimation du carbone, peut passer par la mise en place d'équations allométriques permettant d'évaluer la biomasse stockée dans les troncs et les houppiers d'un parc arboré, à partir de paramètres simples tels que le diamètre à hauteur de poitrine ou la surface du houppier (absorption de carbone) (Morillon V., 2007). Elle peut aussi passer par le calcul de la production annuelle de biomasse récoltable par émondage (donc sans destruction du tronc et de la majeure partie du houppier), pour éviter de faire appel à l'énergie fossile (réduction d'émission de carbone).

En foresterie, il existe deux principales méthodes de mesure de biomasse : la méthode directe ou de pesée et la méthode indirecte ou de multiplication qui consiste à multiplier le volume des arbres par leur masse volumique. Cependant, la méthode indirecte bien que pouvant être rapide si le volume et la masse volumique des bois sont connus d'avance peut devenir fastidieuse au cas où il faut estimer le volume des bois et déduire leur masse volumique qui est loin d'être un facteur constant car dépendant de l'essence des bois, de leur provenance, des variations climatiques annuelles, des facteurs topographiques et écologiques Gaye (2010).

L'évaluation de la biomasse forestière basée sur l'utilisation de ces relations allométriques comportera quatre étapes: (1) sur le terrain les mesures des variables d'entrée telles que le diamètre et la hauteur totale des arbres, (2) le choix d'une forme fonctionnelle appropriée au modèle, (3) le choix des valeurs appropriées pour tous les paramètres réglables dans l'équation, et (4) le calcul de la biomasse aérienne de chaque arbre puis la sommation pour obtenir l'estimation globale de la biomasse aérienne du peuplement (AGB) Weldenson D, (2010).

Pour Chave (2006), deux méthodes d'estimation de la biomasse sont à retenir :

1.2.1. Estimation à partir du volume de bois fort sur écorce (calibrage du paramètre de Brown (1997))

Cette méthode permet une conversion du volume commercial sur écorce classiquement calculé par les forestiers, en biomasse épicée totale des arbres (bois et feuilles). Elle est appliquée aux inventaires forestiers réalisés par classes de diamètre incluant toutes essences et utilisant un diamètre de pré-comptage de 10 cm. Elle se base sur la conversion du volume bois fort inventorié sur écorce (VOB) en biomasse totale (AGB),

par application de la densité anhydre du bois (WD ou WSD) et d'un coefficient d'expansion (BEF) représentant le rapport entre biomasse totale et biomasse commerciale. Weldenson D, (2010) ;

1.2.2. Estimation à partir des tables d'inventaires et des modèles allométriques

Cette méthode, mise au point par CHAVE et al (2005), permet de calculer la biomasse totale arbre par arbre à partir d'un modèle allométrique. Ce modèle peut être employé pour des inventaires précis de type « placettes permanentes » mais aussi à partir de données brutes d'inventaires forestiers à la condition de corriger les données par classe de diamètre en faisant des hypothèses sur la distribution diamétrique continue du peuplement. Jérôme Chave (2005) suggère l'utilisation de l'équation suivante lorsque la hauteur n'est pas disponible : Weldenson D, (2010)

1.2.3. Les modèles allométriques

De façon générale, il est possible de définir l'allométrie comme étant la différence entre les proportions des différentes parties ou organes d'un organisme en fonction de la taille de cet organisme (Gould, 1966, Bastien, 2008). Un modèle allométrique permet de convertir des mesures facilement disponibles, en quantités difficilement accessibles directement sur le terrain. La plupart des études sur la biomasse emploient des modèles allométriques basés sur la quantification de l'AGB. Malgré la progression des méthodes en raison de l'accessibilité des ordinateurs (Wirth et al. 2004, Pili et al. 2006), il est difficile de développer un modèle allométrique général pour tous les arbres tropicaux. La plupart des modèles ont été développés en utilisant des données provenant de zones équatoriales (Ketterings et al. 2001). Weldenson D, (2010)

Beaucoup d'auteurs ont développé des modèles allométriques reposant sur le DBH, la hauteur totale, et la densité du bois. Ces modèles ont été proposés sur la base d'une, deux ou trois variables indépendantes: 1) le DBH uniquement; 2) le DBH et la densité du bois, et 3) le DBH, la densité du bois et la hauteur totale. Weldenson D, (2010)

Le modèle de Brown (1997), basée uniquement sur des mesures de DBH, a été élaboré à partir des données recueillies par plusieurs auteurs de différents pays tropicaux et à différents moments selon Weldenson D, (2010).

Afin d'évaluer la contribution des grands types de plantations tropicales à l'effort global de réduction de l'effet de serre, le Cirad a acquis des compétences en mesure des flux d'eau et de CO₂ par la méthode micrométéorologique « eddy-covariance » (covariances turbulentes) dans les plantations pérennes d'eucalyptus au Congo, de cocotier au Vanuatu, d'hévéa en Thaïlande et bientôt dans les systèmes agro-forestiers au Costa-Rica. CIRAD (2008).

On peut également passer directement d'une donnée hauteur ou diamètre ou les deux à une estimation de la biomasse (en masse de matière sèche) à l'aide d'équations allométriques ajustées statistiquement. Ces équations sont faites par pays, par essence et ont un domaine de validité limité en hauteur et diamètre (PEARSON *et al.* 2005).

Pour (Ichaou 2010), les équations allométriques sont des expressions mathématiques qui peuvent permettre d'estimer la taille, le volume ou le poids d'un élément du végétal en tant que fonction d'un autre élément. Différents modèles allométriques (type et valeur de paramètres) peuvent être obtenus pour la même espèce, en raison (i) des variations génétiques, (ii) des variations dues à l'environnement, (iii) des variations de gestion, de l'échelle considérée d'âges et de dimensions de l'échantillon, etc. Le modèle à élaborer permettra de calculer la biomasse aérienne totale (c.-à-d. tige + branches+ feuillage+ biomasse souterraine) à partir des mesures du diamètre à la base ou de la circonférence; ce qui permettrait une déduction de la quantité de carbone séquestrée.

Les approches jusqu'à lors utilisées font appel à deux méthodes qui se valident mutuellement. L'une est une modélisation globale du fonctionnement écophysologique de l'écosystème à l'échelle d'une parcelle de plantation ou d'un peuplement naturel. L'autre est fondée sur un modèle dendrométrique qui évalue l'accroissement de la biomasse (Ichaou, 2010).

On constate alors que les équations allométriques développées et établies par Chave et al. (2005) sont de loin les plus utilisées dans les études de biomasse en Afrique. Pourquoi alors utiliser l'équation de Chave et al. (2005) quand on dispose d'équations locales ?

Chapitre II: Matériels et méthodes d'étude

2.1. Matériel

2.1.1. Présentation de la zone d'étude

Elle s'étend sur l'ensemble de la zone d'intervention du Programme d'Actions communautaires (au Niger), plus précisément au niveau des plantations d'*Acacia senegal*, réparties en quatre zones selon le type d'utilisation des terres. Il s'agit de : (1) Terres vacantes ; (2) Terres agricoles ; (3) terres vacantes + terres agricoles ; (4) Forêt classée.

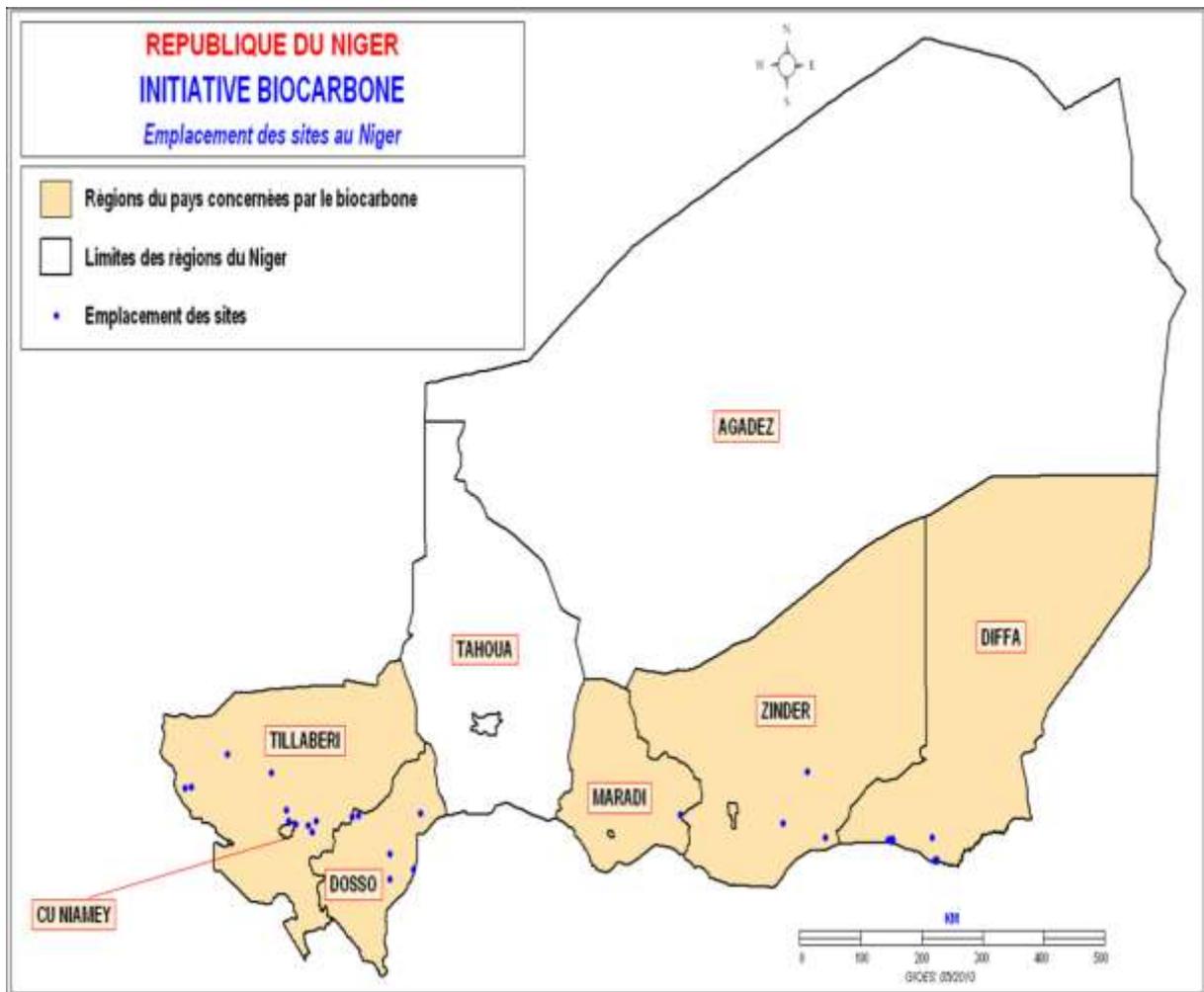


Figure 1: Emplacement des sites biocarbone du PAC/ Source : PAC (2012)

Tableau I: Localisation géographique des sites retenus

Sites	Coordonnées géographiques		Superficie (ha)
	Longitude	Latitude	
Tam	12.133	13.138	307.45
Chéri	12.091	13.429	787.9
Lido	4.076	13.027	158.05
Boukki	3.699	12.907	262.25
Maourey dey	4.179	13.727	139.72
Chabaré	3.232	13.717	885.24
Bégorou tondo	3.712	13.215	576.15
Tchida	0.546	14.044	186.95
Koné béri	2.149	14.129	329.75
Karguéri	2.445	13.574	810.48

Tableau II: principales caractéristiques des différents sites d'étude

Catégories de terres	Sites	Localisation	Climat	Végétation	Sols	Utilisation des terres
Vacantes	Tchida, Koné béry, Bégorou Tondo, Boukki	Sud de l'isohyète 450 mm	Sahélien	Brousse tigrée composée de combrétacées	Vallées sablonneuses et les terrasses sableuses	L'agriculture sur les sols dunaires des vallées et des bas-fonds, Les plateaux supportent le parcours du bétail et la satisfaction des besoins en bois de la population. Les ressources ligneuses utilisées pour la satisfaction des besoins énergétiques proviennent des plateaux alors que le bois de service provient de quelques parcs arborés situés dans les vallées dunaires champêtres.
Agricoles	Maourey dey, Lido, Kayatawa	Frange climatique nord soudanienne et sud sahélienne	Nord soudanien-Sud sahélien	Ligneuse, Combretum michrantum et Cassia sieberiana Herbacée réduite à quelques touffes de Sida cordifolia.	Sols ferrugineux tropicaux lessivés ou non, Sols hydromorphes	Les terres dunaires des vallées sablonneuses sont intensément mises en valeur pour la culture associée mil/niébé avec une forte occupation. Le long du dallol maouri la pression est plus forte avec une occupation de mise en valeur intense de culture de contre saison portant principalement sur la canne à sucre et les tubercules.
Vacantes + Agricoles	Chéri ,Tam	Isohyètes 50 et 350 mm.	Nord sahélien	Steppe arbustive de <i>Leptadenia pyrotechnica</i> , et de plus en plus rarement de <i>Salvadora persica</i> .	Grandes étendues de dunes vives ; Cuvettes oasiennes densément peuplées de palmiers (<i>Hyphaene thebaica</i>)	Production agricole (mil, sorgho) Pâturage Culture de contre saison .
Forêt classée	Chabaré	Isohyètes 300-450 mm,	Sahélienne	Forêt classée	•Sols ferrugineux lessivés compacts imperméables ; •sols ferrugineux lessivés sur erg ancien ; •Sols ferrugineux lessivés en fer typiques ; •Sols isolumiques (sols bruns subarides).	Production vivrière (mil, sorgho, niébé et arachide). Elevage extensif et itinérant

2.1.2. Matériels d'étude

Pour la réalisation des travaux d'inventaire, les matériels ci-dessous ont été utilisés :

- un GPS
- 6 jalons de 2 mètres
- trois rubans de couturier de 1, 50 mètre chacun ;
- 3 paires de gants ;
- Un (1) marteau en caoutchouc ;
- Deux (2) rubans métriques (100m et 30m) ;
- Des fiches d'inventaire ;
- Des écritoires ;
- Deux sécateurs ; et
- Un appareil photo numérique ;
- Un (1) kg de peinture couleur rouge

Tableau III: Distribution des catégories de types de terres sur l'ensemble des régions

REGION	Catégories				Total
	Terres vacantes	Terres agricoles	Terres vacantes + Terres agricoles	Forêt classée	
Diffa	2	2	2	0	6
Dosso	2	3	1	0	6
Maradi	0	0	0	1	1
Tillabéry	6	2	1	0	9
Zinder	1	2	0	0	3
CU Niamey	0	1	0	0	1
Total	11	10	4	1	26

Source : PDD (2012)

2.1.3. Méthodes d'étude

2.2. Méthodologie

La méthodologie de recherche utilisée dans cette étude s'est déroulée en deux étapes : tout d'abord, elle est partie d'une recherche bibliographique qui a consisté à rassembler les documentations traitant des méthodes d'évaluation du stock de carbone et de la séquestration

de carbone atmosphérique par les plantes. Cette recherche a permis l'élaboration du protocole de recherche qui a défini la méthode de collecte de données et les méthodes et outils de traitement. Cette recherche bibliographique qui a précédé les travaux de terrain s'est poursuivie sur le terrain jusqu'à la phase de rédaction du document final en vue d'éventuels compléments d'informations.

Ensuite des enquêtes (focus groupe) ont été menées auprès des populations membres et acteurs des grappes. Les entretiens ont porté sur les services des écosystèmes (services d'approvisionnement, services de régulation, services socioculturels) et l'apport des plantations dans le renforcement de ces services. Un accent a été mis sur les bénéfices tirés de l'exploitation des produits d'*Acacia senegal*.

2.2.1. *Choix des réserves de carbone à mesurer*

Selon Kaire et *al*, (2013) Le stock de carbone des formations forestières comprend le carbone des arbres vivants, du bois mort sur pied et au sol (nécromasse), de la végétation du sous-bois (les herbacées et les ligneux bas), de la litière et de la matière organique du sol.

Le choix des réserves à mesurer a porté uniquement sur les arbres vivants et sur pied au niveau des sites de plantation d'*acacia senegal*. Pour les autres compartiments du stock de carbone, ils n'ont pas été pris en compte du fait d'une part que le bois mort, la nécromasse et la végétation (les herbacées et les ligneux bas) ne sont pas en permanence sur le site du fait du prélèvement et de l'utilisation qu'en font les populations quotidiennement.

2.2.2. *Définition d'un plan d'échantillonnage*

La taille et la forme des placettes échantillons est un compromis entre l'exactitude, la précision, le temps et le coût de la mesure. L'expérience a montré que les placettes échantillons contenant de plus petites sous-unités de formes et tailles variées (compartiments ou placettes nids) sont efficaces.

2.2.3. *Sélection de l'échantillon*

La zone d'intervention du projet concerne 26 sites repartis en 22 communes sur l'ensemble du territoire Nigérien. Ces 26 sites sont identifiés en quatre (4) catégories de terres qui sont : les terres vacantes (11), les terres agricoles (10), les terres vacantes plus les terres agricoles (4) et les forêts classées (1) repartis dans l'ensemble des régions du Niger.

Pour déterminer les nombres des sites représentatifs la méthode suivante a été utilisée :

$$E = \left(\frac{n}{N}\right) \times 10$$

Avec E = les nombres de sites retenus

n = les nombres des catégories de terres vacantes

N = le nombre total des sites du projet

C'est ainsi que quatre (4) sites des terres vacantes (Tchida (commune de Dantchandou), Koné Bery (commune de Karma), Bégorou Tondo (commune de Begorou tondo) et Boukki (commune de Loga)), trois (3) sites des terres agricoles (Maourey dey (commune de Tibiri), Lido (commune de Guéchémé) et Kayatawa (commune de Mainé Soroa)), deux (2) sites des terres vacantes et terres agricoles (Cheri et Tam tous en commune de Mainé Soroa) et un site de forêt classée (Chabaré dans le département de Téssaoua) ont été sélectionnés à partir d'un échantillonnage aléatoire simple (c'est-à-dire au hasard).

2.2.4. Nombre de placettes

Le niveau de précision requis pour faire un inventaire de carbone a un effet direct sur les coûts de l'inventaire. Une estimation précise de la variation nette des stocks de carbone, dans les limites de 10% de la vraie valeur de la moyenne jusqu'au niveau de confiance de 95%, peut être atteint à un coût raisonnable. C'est pourquoi nous avons utilisé le niveau de précision de $\pm 10\%$ de la moyenne.

A cet effet, un pré-inventaire a été réalisé sur 18 placettes au niveau de trois (3) sites d'intervention du projet biocarbone. Des parcelles unitaires de 50m X 50m ont été placées et des mesures portant sur la circonférence (le diamètre à la base) ont été prises sur tous les individus qui s'y trouvent. Le calcul de la moyenne de ces mesures a permis de calculer la variance ainsi que l'écart type. Ce qui nous a permis de calculer le nombre de placette qui sera concerné par notre travail à partir de la formule suivante établie par Kaire et al (2013):

$$n = \frac{(N \times s)^2}{\frac{N^2 \times E^2}{t^2} + N1 \times V1}$$

Où

n est le nombre de placette de notre étude ;

E est la moitié de la largeur de l'intervalle de confiance, calculée en multipliant la moyenne du pré-inventaire par la précision requise (10%) ;

t est la statistique de la distribution-t pour un niveau de confiance de 95 % ; t est généralement établi à 2 puisque la taille de l'échantillon n'est pas encore connue à cette étape ;

N représente le nombre d'unités d'échantillonnage dans la population (= surface du projet ou strate en hectares/ surface de la placette en hectares) ;

s représente l'écart type ; et V la variance

Ce qui nous a permis de trouver ainsi 60 placettes que nous avons repartis par pondération sur les 10 sites qui sont concernés par notre étude (Tableau 3).

Tableau IV: Répartition des placettes en fonction des superficies

Commune	Site	Superficie du Site (ha)	Nombre de placette	Catégorie de terre
Dantchandou	Tchida	186,95	3	Terre vacante
Karma	Koné Bery	329,75	4	Terre vacante
Téra	Begorou	576,15	7	Terre vacante
	Tondo			
Loga	Boukki	262,25	4	Terre vacante
Dosso	Maourey	139,72	2	Terre agricole
	Dey			
Guechémé	Lido	158,05	2	Terre agricole
Gouré	Karguéri	810,48	11	Terre agricole
Mainé Soroa	Cheri	787,9	11	TV+TA
Mainé soroa	Tam	307,45	4	TV+TA
Maijirgui	Chabaré	885,24	12	Forêt classée

2.2.5. Collecte des données d'inventaire

2.2.5.1. Choix du type et installation des placettes :

La collecte des données d'inventaire a porté sur l'ensemble des placettes d'échantillonnage. L'Installation des placettes a été effectuée de la façon suivante : Un premier jalon est placé au hasard sur le site. Puisque les placettes retenues sont de formes carrées, elles ont été orientées de telle sorte que les coins du terrain soient en ligne avec les quatre points cardinaux. Un membre de l'équipe déroule le mètre-ruban sur 50m pour déterminer la direction (**azimut**) vers le premier des quatre coins du terrain. A ce niveau, la méthode 3-4-5 a été mise à profit.

Après que les quatre coins du terrain aient été localisés, il a été procédé au marquage des pieds d'*acacia senegal* afin d'identifier les arbres qui sont à l'intérieur et à l'extérieur de la placette. L'inventaire a concerné uniquement les pieds d'*acacia senegal* au niveau des sites biocarbone (Plantation réalisée). Sur tous les individus vivants et sur pied, il a été effectué des mesures de la circonférence du fût à 20 Cm au-dessus du sol.

Ensuite des enquêtes (focus groupe) ont été menées auprès des populations (en majorité, les membres de la GRAPPE) et ont porté sur les services des écosystèmes (services d'approvisionnement, services de régulation, services socioculturels) et l'apport des plantations d'*acacia senegal* dans le renforcement de ces services. Un accent a été mis sur les bénéfices tirés de l'exploitation des produits d'*Acacia senegal*.

2.2.5.2. Analyse des données

Les logiciels Ms Office (Word et Excel 2010), ainsi que des outils statistiques et des extrapolations ont été mis à contribution pour l'analyse des données.

2.2.5.3. Estimation de la biomasse et du carbone séquestré

Elle s'est appuyée dans un premier temps sur les données d'études antérieures réalisées sur l'espèce *Acacia senegal*, notamment les facteurs de conversion et les modèles allométriques pour l'estimation des phytomasses sèches aérienne et souterraine de l'*Acacia senegal* au Niger (Tableau 4).

Tableau V : Facteurs de conversion de la phytomasse verte en masse sèche d'Acacia senegal

Compartment de la phytomasse	Coefficient de conversion
Masse sèche/Masse verte du fût et des branchages	0,580
Masse sèche/Masse verte des feuilles	0,366
Masse sèche/masse verte des racines	0,647

Source : Ichaou (2010)

Tableau VI: Modèles allométriques calculés pour l'estimation des phytomasses sèches aérienne et souterraine de l'Acacia senegal au Niger :

Types de phytomasses sèches à estimer (Equations allométriques correspondantes	Signification des résultats du calcul
Biomasse sèche du fût (kg)	$Y = 0,115 C(m) + 4,497$	$P = 0,000$ et $R^2 = 74\%$
Biomasse sèche des branchages (kg)	$Y = 0,146 C(m) + 4,80$	$P = 0,000$ et $R^2 = 76\%$
Biomasse sèche des rameaux (kg)	$Y = 1,880 C(m) + 3,064$	$P = 0,000$ et $R^2 = 98\%$
Biomasse sèche des feuilles (kg)	$Y = 1,089 C(m) + 0,287$	$P = 0,000$ et $R^2 = 93\%$
Biomasse sèche des racines (kg)	$Y = 0,257 C(m) + 1,891$	$P = 0,000$ et $R^2 = 90\%$
Biomasse sèche aérienne et souterraine (kg)	$Y = 4,502 C(m) + 14,379$	$P = 0,000$ et $R^2 = 78\%$

Source : Ichaou (2010)

Puisque nous nous intéressons uniquement à l'estimation de la biomasse totale, c'est-à-dire, la biomasse sèche aérienne et souterraine (AGB), nous avons retenu, parmi les équations allométriques présentées dans le tableau 5, l'équation allométrique correspondante qui est :

$$Y = 4,502 C(m) + 14,379 \text{ (Ichaou, 2010)}$$

La biomasse ayant été obtenue à partir de l'équation allométrique et la circonférence du fût à la base (c'est-à-dire à 20 Cm au-dessus du sol), nous avons déduit le stock de carbone au niveau des différentes placettes de cette étude.

D'où :

$$\text{Carbone} = \frac{\text{Biomasse}}{2}$$

Pour extrapoler des valeurs des placettes jusqu'aux valeurs par hectare, nous avons utilisé un facteur d'expansion. Ce facteur a été déterminé selon la formule ci-après établie par Kaire (2012) :

$$\text{Facteur d'expansion} = \frac{10.000 \text{ m}^2}{\text{Surface de la placette}}$$

2.2.5.4. *Analyse des données*

Les logiciels Ms Office (Word et Excel 2010), ainsi que des outils statistiques et des extrapolations ont été mis à contribution pour l'analyse des données.

Chapitre III: Résultats

3.1. Estimation de la biomasse

D'une manière générale, le mode de croissance d'un arbre est une expression du patrimoine génétique de l'espèce qu'il représente. Le développement morphogénétique de cet arbre décrit donc l'organisation endogène de sa croissance, qui elle-même établit un modèle architectural ou une forme intermédiaire entre plusieurs modèles. Il définit également un diagramme architectural (nombre d'ordres de ramification, phyllotaxie des différents types d'axes), ainsi qu'un seuil réitératif à partir duquel l'arbre édifie des complexes réitérés reprenant tout ou partie de la séquence morphogénétique qui a établi le modèle initial.

En ce qui concerne la relation qui existe entre les caractéristiques dendrométriques (principalement le diamètre d'un fût ou d'une branche) et l'âge correspondant, nous nous référons pour le cas de l'espèce *acacia senegal*, à Ichaou 2002 et 2005 qui après une analyse dendrochronologique de 1.200 échantillons de sections de l'espèce prélevés dans diverses conditions stationnelles du Manga et de l'ouest nigérien, a établi des corrélations fortes entre l'âge et le diamètre du fût et/ou des branches secondaires de l'espèce *acacia senegal*.

3.1.1. Terres vacantes

Le calcul de la biomasse à partir de l'équation allométrique établie pour les espèces *acacia senegal* en zone sahélo-saharienne du Niger, nous a permis de trouver les résultats consignés dans le tableau 6. Ces résultats traduisent la capacité des terres vacantes en production de biomasse, qui en considérant le type de terre, est relativement moyenne.

Tableau VII: Estimation de la biomasse au niveau des terres vacantes

N° Placette	Nombre de sujet	Moyenne Circonférence (m)	Biomasse (Kg)
	81	0,21	1244,38
1	115	0,27	1795,44
2	125	0,21	1920,9
3	50	0,37	803,72
4	67	0,43	1093,18
5	44	0,27	686,56
6	48	0,26	747,27
7	129	0,15	1946,57
8	60	0,13	900,1
9	155	0,12	2314,95
10	54	0,11	805,54
11	25	0,12	373,25
12	20	0,19	304,82
13	97	0,32	1537,48
14	116	0,15	1750,44
15	102	0,16	1541,66
16	89	0,2	1363,64
17	87	0,28	1362,17
18			
Total	18	1464	22492,07
Moyenne/Placette	81,33	1249,56	

L'estimation de cette biomasse a porté sur dix-huit (18) placettes totalisant 1464 sujets, avec une moyenne de 81,33 sujets par placette. Le calcul de la biomasse a donné un total de 22492,07 kg, soit 22,492 tonnes.

La biomasse moyenne par placette est estimée à 1249,07 kg soit 1,249 tonne. Ce qui nous a permis d'extrapoler cette biomasse au niveau de toute la superficie concernée et de trouver le résultat suivant :

- Biomasse moyenne : 1,249 tonne

- Facteur d'expansion : 4

Soit donc : $1,249 \text{ tonne} \times 4 = \mathbf{4,996 \text{ tonnes à l'hectare}}$.

Les terres vacantes ayant une superficie de 1355,1 ha, la biomasse totale s'élève donc à : **6770,07 tonnes**.

3.1.2. Terres agricoles

Le calcul de la biomasse au niveau des terres agricoles nous a permis de trouver les résultats ci-dessous (Tableau VIII) : Ils traduisent la forte production de biomasse due aux activités qui y sont menées pour l'amélioration de la production agricole.

Tableau VIII: Estimation de la biomasse au niveau des terres agricoles

N° Placette	Nombre de sujet	Moyenne Circonférence (m)	Biomasse (Kg)
	22	0,26	318,94
1	10	0,03	145,14
2	35	0,05	512,26
3	51	0,03	740,84
4	51	0,03	741,34
5	53	0,02	768,97
6	63	0,05	920,64
7	54	0,11	805,54
8	25	0,12	373,25
9	20	0,19	304,82
10	0	0	0
11	102	0,3	1608,24
12	97	0,35	1549,49
13	107	0,26	1668,03
14	84	0,21	1287,34
15			
Total	15	774	11744,84
Moyenne/Placette	51,6		782,98

Ces résultats ont été obtenus à partir des mesures de circonférence du fût à 20 cm au-dessus du sol, et ont porté sur 774 sujets répartis dans 15 placettes. La moyenne par placette est de 51,6 sujets, et la biomasse estimée est de 11744,84 kg, soit 11,744 tonne.

La biomasse moyenne étant de 11744 kg soit 11,744 tonne, l'extrapolation au niveau de toute la superficie concernée nous a donné les résultats suivants :

Biomasse moyenne : 11,744 tonne

Facteur d'expansion : 4

Soit donc : $11,744 \text{ tonne} \times 4 = \mathbf{46,976 \text{ tonnes à l'hectare}}$

Cette catégorie de terres totalisant 1108,25 ha, la biomasse totale s'élève donc à : **52061,152 tonnes**

3.1.3. *Terres vacantes + Terres agricoles*

Au niveau de cette catégorie de terres, le calcul de la biomasse a donné les résultats suivants : (Tableau IX).

Tableau IX: Estimation de la biomasse au niveau des terres vacantes + les terres agricoles

N° Placette	Nombre de sujet	Moyenne Circonférence (m)	Biomasse (Kg)
	67	0,18	1019,39
1	56	0,16	846,82
2	40	0,18	609,06
3	20	0,26	311,35
4	60	0,08	886,91
5	31	0,1	460,15
6	74	0,09	1094,65
7	56	0,09	828,45
8	50	0,09	740,64
9	65	0,11	968,35
10	31	0,16	469,2
11	143	0,2	2189,32
12	66	0,2	1009,2
13	50	0,24	773,87
14	98	0,23	1511,06
15			
Total	15	907	13718,42
Moyenne/Placette	60,46	914,56	

Sur 907 sujets qui ont fait l'objet de mesure de circonférence du fût à 20 cm au-dessus du sol et répartis dans 15 placettes, et avec une moyenne de 60,46 sujets par placette, nous avons obtenu une biomasse totale de 13718,42 kg, soit 13,718 tonne.

La biomasse moyenne étant de 914,56 kg soit 0,914 tonne, l'extrapolation au niveau de toute la superficie concernée nous a donné les résultats suivants :

- Biomasse moyenne : 0,914 tonne
- Facteur d'expansion : 4

Soit donc : $0,914 \text{ tonne} \times 4 = \mathbf{3,656 \text{ tonnes à l'hectare}}$

Cette catégorie de terres totalisant 1095,35 ha, la biomasse totale s'élève donc à :

4004,59 tonnes

3.1.4. La forêt classée

A ce niveau, le calcul de la biomasse a donné les résultats suivants : (Tableau X)

Tableau X: Estimation de la biomasse au niveau de la forêt classée

N° Placette	Nombre de sujet	Moyenne Circonférence (m)	Biomasse (Kg)
	102	0,19	1556,02
1	75	0,21	1151,58
2	95	0,23	1465,76
3	100	0,22	1538,38
4	81	0,19	1237,09
5	108	0,17	1638,69
6	59	0,21	905,17
7	96	0,23	1483,43
8	87	0,22	1338,44
9	95	0,22	1462,25
10	95	0,13	1424,44
11	72	0,19	1098,36
12			
Total	12	1065	16299,61
Moyenne/Placette		88,75	1358,3

Les mesures ont porté sur 1065 sujets répartis dans 12 placettes, avec une moyenne de 88,75 sujets par placette et totalisant une biomasse qui est estimée à 16299,61 kg, soit 16,299 tonne. La biomasse moyenne par placette est estimée à 1358,3 kg soit 1,358 tonne. Ce qui nous a permis d'extrapoler cette biomasse au niveau de toute la superficie concernée et de trouver le résultat suivant :

Biomasse moyenne : 1,358 tonne

Facteur d'expansion : 4

Soit donc : $1,358 \text{ tonne} \times 4 = \mathbf{5,432 \text{ tonnes à l'hectare.}}$

La forêt classée ayant une superficie de 885,24 ha, la biomasse totale s'élève donc à : **4808,62 tonnes.**

L'estimation de la biomasse au niveau de ces quatre (4) types de terre nous montre effectivement que les terres agricoles présentent le stock de biomasse le plus important par rapport aux autres catégories de terres. La distribution de la biomasse en fonction des superficies (Figure 2), laissent apparaître un stock de biomasse plus élevé au niveau des terres agricoles avec 52061,152 tonnes pour 1108,25 ha. Les deux (2) autres catégories de terres (terres vacantes et terres vacantes + terres agricoles) présentent respectivement 6770,07 tonnes pour 1355,1 ha et 4004,59 tonnes pour 1095,35 ha. Bien que ces trois premières catégories dépassent 1000 ha, il y'a une nette différence dans la biomasse produite. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que les plantations réalisées bénéficient de beaucoup plus d'entretien de la part des populations participantes aux activités du projet (adoption des pratiques agro forestières massive). Cette régression de la biomasse au niveau des deux autres catégories ayant dépassé 1000 ha, s'explique par le fait que les sites de plantation sont en extension d'année en année et ne bénéficient pas d'un entretien conséquent. Cet état de fait expose la biomasse aérienne de ces plantations (surtout les jeunes plants), aux animaux qui la trouvent appétissante.

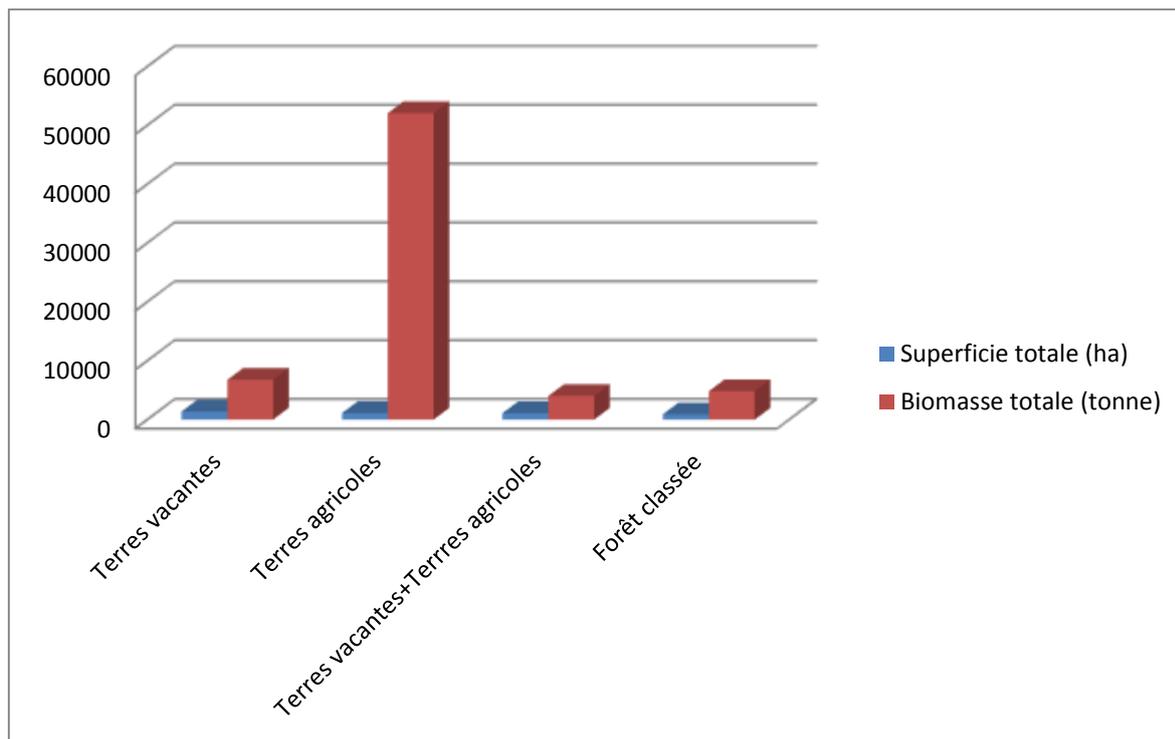


Figure 2: Distribution de la biomasse en fonction des superficies

La distribution de la biomasse en fonction de la moyenne par placette (Figure 3), montre que la forêt classée présente la plus forte moyenne (88,75 sujets/placette). Elle est de 81,33 au niveau des terres vacantes, de 51,6 pour les terres agricoles et de 60,46 au niveau des terres vacantes + les terres agricoles. Malgré la moyenne la plus faible au niveau des terres agricoles, elle produit la biomasse la plus élevée. Ce qui témoigne de la bonne réussite des plantations d'*acacia senegal* et d'un engouement dans la pratique de l'agroforesterie à ce niveau.

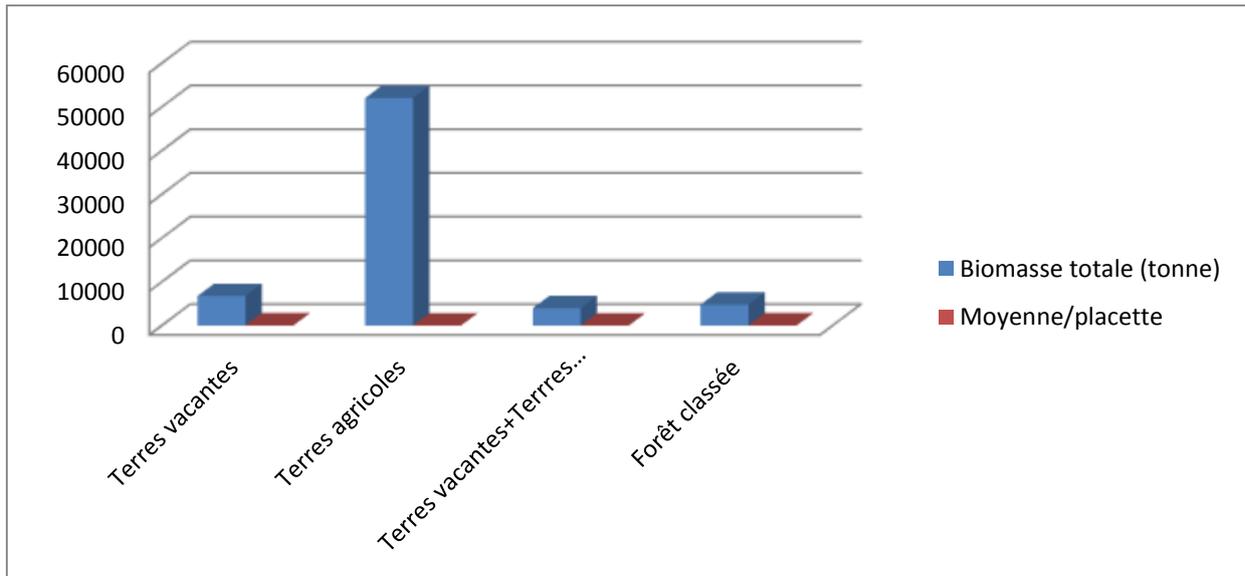


Figure 3: Distribution de la biomasse en fonction de la moyenne par placette

La distribution de la biomasse en moyenne par hectare (figure 4) montre que la plus forte moyenne est observée au niveau des terres agricoles (46,976 tonnes/ha). Ensuite la forêt classée (5,4 tonnes/ha), les terres vacantes (4,9 tonnes/ha) et enfin les terres vacantes +les terres agricoles avec 3,65 tonne/ha. Ces résultats traduisent la forte production de biomasse au niveau des terres agricoles et la forêt classée et s'expliquent par le fait que, la variété *d'acacia senegal* utilisée (Kordofan) pour les plantations produit beaucoup de biomasse.

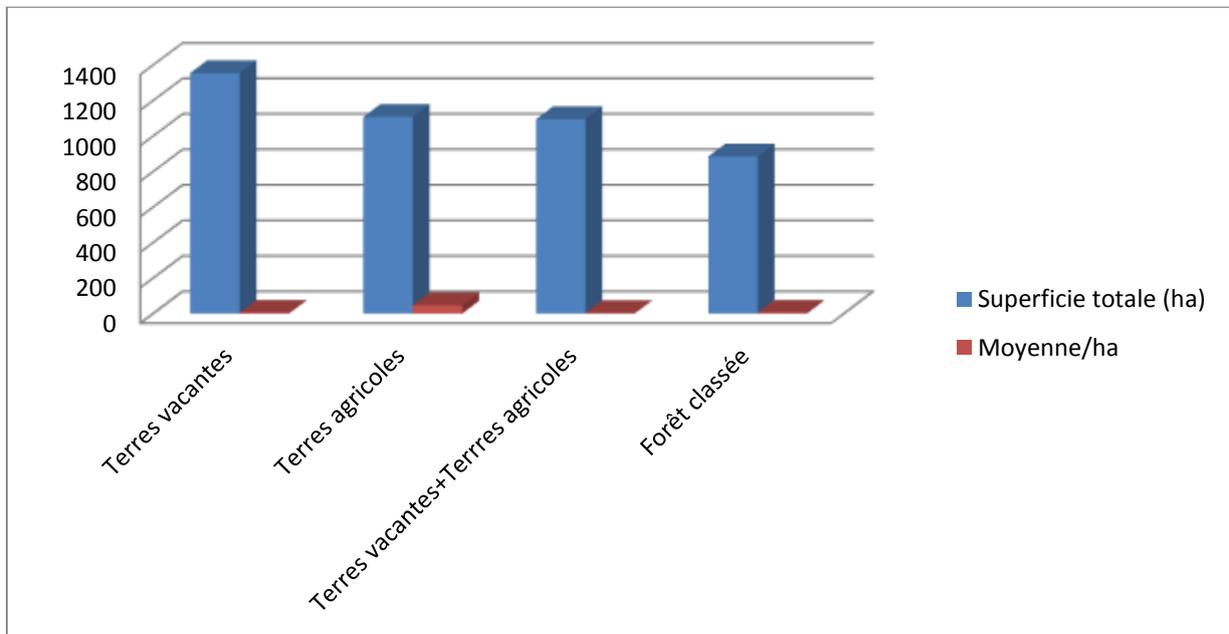


Figure 4: Biomasse en moyenne/hectare

La densité de peuplement est relativement plus importante au niveau des terres vacantes et la forêt classée avec respectivement 1464 et 1065 sujets ayant fait l'objet de mesure de circonférence à 20 cm au-dessus du sol des fûts. La distribution moyenne de la biomasse (Figure 5) montre que les plus fortes s'observent au niveau de ces deux types de terre. Elle est de 51,6 pour les terres agricoles et de 60,46 pour les terres vacantes + les terres agricoles.

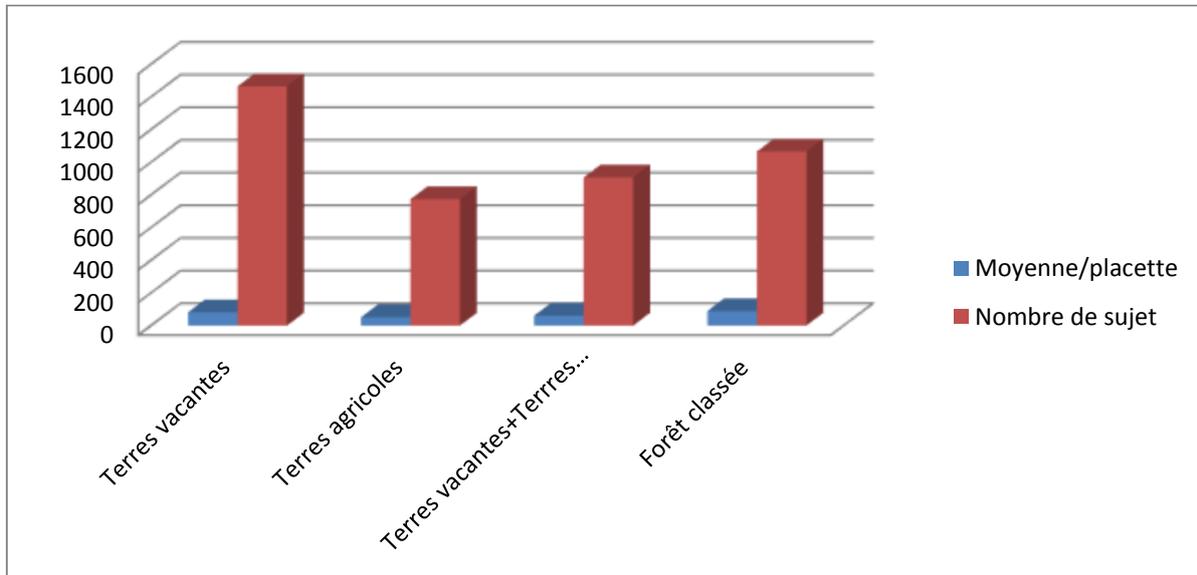


Figure 5: Distribution de la biomasse en fonction de la moyenne selon le nombre de sujet

3.2. Estimation du stock de carbone

L'estimation du stock de carbone au niveau des plantations d'*acacia senegal* dépend de la connaissance de la biomasse aérienne sèche (Vieira *et al*, 2008). Il a été signalé que le carbone contenu dans la biomasse sèche d'un arbre est de 50 % (Brown et Lugo, 1992 ; Roy *et al*, 2001 ; Malhi *et al*, 2004). La biomasse étant constituée de 50% de carbone, le stockage de carbone en surface dans notre d'étude est reparti selon le type de terres.

C'est ainsi que nous avons utilisé les données suivantes :

$$\text{Etant donné que : } \mathbf{Carbone} = \frac{\mathbf{Biomasse}}{2}$$

On calcul ainsi le stock de carbone avec les données suivantes :

- Superficie totale : **1355,1 ha**
- Taille de la placette : 2500 m² soit, **0,25 ha**
- Moyenne par placette : 81,33 sujets
- Biomasse totale (tonne) : **6770,07 tonne**
- Stock de carbone : **3385,035 tonne C.**

Pour ensuite aboutir aux résultats du (Tableau XI)

Tableau XI: résultats du stock de carbone au niveau des terres

Type de terres	Terres vacantes	Terres agricoles	Terres vacante+Terres agricoles	Forêt classée
Superficie totale (ha)	1355,1	1108,25	1095,35	885,24
Biomasse totale (tonne)	6770,07	52061,152	4004,59	4808,62
Moyenne/placette	81,33	51,6	60,46	88,75
Moyenne/ha	4,996	46,976	3,656	5,432
Nombre total de sujet	1464	774	907	1065
Stock de carbone	3385,035	26030,576	2002,295	2404,31

La répartition du stock de carbone selon les types de terres (Figure 6), montre que les terres agricoles présentent le plus grand stock de carbone (26030,576 tonne C). Puis respectivement les terres vacantes (3385,035 tonne C), la forêt classée (2404,31 tonne C), et enfin, les terres vacantes + les terres agricoles (2002,295 tonne C).

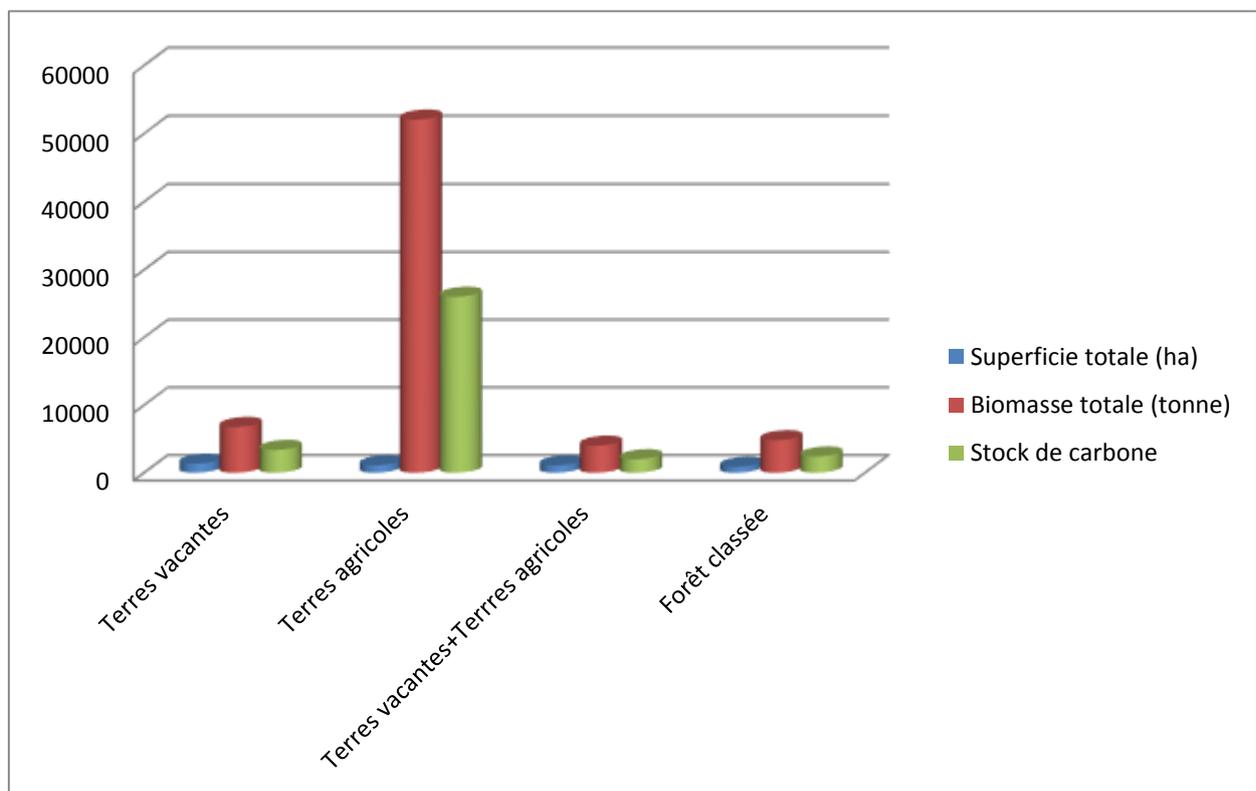


Figure 6: Stock de carbone selon les types de terres

3.3. Evaluation des opportunités pour les populations

Les entretiens se sont déroulés à travers des focus groupes qui ont regroupé les membres des grappes et les populations prenant part aux activités du projet Biocarbone. Il a été identifié les différentes activités qui sont menées par ces populations et évaluer les différentes opportunités qui s'offrent à elles sur le plan écologique, économique et social.

Il ressort de ces entretiens les résultats suivants :

3.3.1. Sur le plan écologique

Le constat est positif dans l'ensemble. Les sols des sites qui étaient au début complètement dégradés se reconstituent progressivement (Photo 1 & 2). On note une augmentation d'arbres utiles, des pâturages et du fourrage en quantité et en qualité. Une bonne partie des superficies plantées est réhabilitée. Le couvert végétal serait à la base de la revitalisation des sols. Ce qui a rendu les cultures intercalaires hier impossibles, aujourd'hui réalisables, donnant ainsi espoir aux paysans quant à l'augmentation de la productivité agricole et la sécurité alimentaire. Les ouvrages construits et l'évolution des plants ralentissent le ruissellement des eaux de pluies et freinent l'érosion hydrique et éolienne. Ces réalisations ont en outre mis fin aux problèmes d'inondation que connaissent certains villages comme Tchida. Les populations se réjouissent ainsi de l'amélioration de leur cadre de vie.

On note aussi sur les sites, le retour progressif de la faune sauvage tels que les rongeurs (souris, hérisson, écureuil, lièvre, ...), les reptiles (serpents, lézard...), les oiseaux (tourterelles, perdrix, pigeons sauvages, corbeaux, alouettes), les mammifères comme le singe (à Chabaré), et des insectes.



Photo 1: Plantation d'acacia senegal de cinq ans sur les terres vacantes

Photo 2: plantation d'acacia senegal de six ans sur les terres vacantes

3.3.2. Sur le plan économique

Il faut noter que les principales sources de revenus de ces populations sont : l'agriculture, l'élevage ou encore le petit commerce. Il ressort de nos entretiens que les populations prenant part aux activités du projet, reconnaissent un rehaussement de leurs revenus monétaires qui, auparavant, étaient en deçà des besoins vitaux de leurs familles respectives. Ce qui fait que tous sont très satisfaits des bénéfices du projet, car les revenus issus de la vente des plants et la réhabilitation des terres leur ont permis de faire face à leurs besoins indispensables.

Il faut noter que les pépiniéristes sont les plus avantagés que les autres, non seulement, ils bénéficient de la formation sur les techniques de production, entretien et plantation mais aussi, ils gagnent beaucoup (des centaines de mille voire des millions) à travers la vente des plants produits et plantés. Certains d'entre eux (les mieux organisés) ont fait des réalisations concrètes. (Photo 3).

Hormis Tchida, qui n'a commencé la production qu'en 2009, dans toutes les localités concernées par l'étude, les chefs d'équipes ont payé des moyens de locomotion (motos, véhicules UNIMOG communément appelé Langué R langué en Haoussa) pour faciliter leur déplacement et assurer la liaison entre les différents marchés, certains ont réhabilité et ou acheté de nouvelles maisons et des champs de culture pour augmenter leur production agricole et/ou améliorer l'élevage de petits et grands ruminants. Les femmes, quant à elles,

s'engagent dans la promotion des activités génératrices de revenus (fabrication d'huile d'arachide, petit élevage, vente de condiments, vente de beignets, confection de nattes et rideaux végétaux ...).

Pour la gomme arabique, seule la grappe du site de la forêt classée de Chabaré a commencé le prélèvement. Ce qui témoigne de la réussite de la plantation.



Photo 3: Pépinière de Chéri

3.3.3. Sur le plan social

Il ressort de nos entretiens que les activités qui sont menées au niveau du projet de plantation d'*acacia senegal* ont permis le rehaussement du tissu social à travers :

- ❖ Le renforcement de la cohésion sociale entre les membres, qui, à travers les travaux sur les sites, se connaissent davantage, se fréquentent et discutent périodiquement sur les acquis des biens communs;
- ❖ Le renforcement des liens de solidarité et la culture de la vie associative ;
- ❖ La disponibilité au niveau local d'une main d'oeuvre qualifiée pour garantir la pérennisation des acquis du projet ;
- ❖ L'amélioration des conditions de vie des ménages en réduisant le phénomène de la pauvreté. En effet, les pépiniéristes témoignent que, depuis le démarrage de ce projet, ils sont venus presque à bout de leurs problèmes financiers. Ils essaient de fructifier ce qu'ils gagnent dans la vente des plants produits et subvenir à leurs besoins. Leurs conditions s'amélioreront davantage lorsque les revenus issus de la vente de la gomme arabique et du paiement des crédits de carbone vont commencer à tomber ;

- ❖ La création d'emploi qui a contribué à la réduction de l'exode rural et à la stabilité des ménages;
- ❖ Le développement de la pharmacopée traditionnelle qui permet à la population de se passer de certains soins médicaux modernes ;
- ❖ L'augmentation des espaces culturelles et la sécurité alimentaire grâce à la pratique des cultures intercalaires;
- ❖ Le rétablissement du sylvo - pastoralisme ;

La répartition des revenus issus de la vente de la gomme arabique et du paiement des crédits de carbone (Tableau XII) témoigne de l'espoir que puissent susciter ces plantations.

Tableau XII: Clé de répartition des revenus issus des plantations d'acacia senegal

Bénéficiaires	Pourcentage	
	Carbone	Gomme arabique
Commune	7	7
Chef de canton	3	3
Propriétaires terriens	21	21
Conseil villageois de développement (7)	39	39
Grappe	5	5
pépiniéristes	5	5
Commission d'analyse et d'évaluation des offres	7	7
Commission de suivi-évaluation	7	7
Gardiens des sites	5	5
Conseillers municipaux	1	1
TOTAL	100	100

(Source PDD).

Chapitre IV : Discussions

4.1. Estimation de la biomasse

4.1.1. Terres vacantes :

Sur un échantillon de 1464 sujets, avec une moyenne de 81,33 sujets par placette, le calcul de la biomasse a donné un total de 22492,07 kg, soit 22,492 tonnes. La biomasse moyenne par placette est estimée à 1249,07 kg soit 1,249 tonne. La biomasse moyenne à l'hectare est estimée à **4,996 tonnes**, soit un total de **6770,07 tonnes** de biomasse pour les terres vacantes avec une superficie de 1355,1 ha.

Cette zone fait partie de l'ensemble régional méridional situé au sud de l'isohyète 450 mm, possédant d'importantes potentialités en ressources naturelles. On y rencontre toute la gamme de sols allant des **sols ferrugineux lessivés** des vallées aux **sols bruns subarides** et aux **sols ferralitiques cuirassés des plateaux**. L'adaptation aux conditions écologiques locales suppose qu'en conditions normales et sous une gestion judicieuse, *Acacia senegal* présente le même mode de croissance végétative que les autres espèces gommifères.

Cependant, la pratique d'un pâturage sédentaire et transhumant avec comme conséquences la mise en valeur agricole favorise la croissance plus rapide de cette espèce. Le déclenchement des transferts de matériaux par le ruissellement et le surpâturage se concentrent pour créer les conditions favorables à la régénération et la croissance de l'espèce *acacia senegal* qui est inféodée avec d'autres espèces gommifères à la zone. Ce qui donne à *acacia senegal* une aptitude moyenne en production de phytomasse aérienne et souterraine.

Ces résultats confirment les travaux de (Ichaou, 2010) qui a trouvé que les stations écologiques sèches où les caractéristiques physiques et hydriques des faciès de gommiers (notamment le lien entre la densité éparses et le régime hydrique de surface) ont un rôle déterminant pour un niveau de croissance végétale donnée. La prise en compte de cette liaison étroite est une condition essentielle pour expliquer un niveau moyen de production de phytomasse pour les faciès correspondants. Ce qui correspond au faciès rencontré au niveau de la zone des terres vacantes.

4.1.2. *Terres agricoles :*

Sur 774 sujets répartis dans 15 placettes, avec une moyenne par placette de 51,6 sujets, la biomasse estimée est de 11744,84 kg, soit 11,744 tonne. Soit donc une moyenne de **46,976 tonne à l'hectare** et une biomasse totale de **52061,152 tonne sur** 1108,25 ha. Cette production de biomasse apparaît comme faible comparée à la moyenne de sujets par placette.

En effet, cette zone du projet fait partie d'un ensemble régional s'étendant dans la frange climatique nord soudanienne et sud sahélienne caractérisée par des sols ferrugineux tropicaux lessivés ou non, et des sols hydromorphes dus à l'existence de plusieurs vallées fossiles encore très humides (les dallols Bosso, Fogha, et Maouri). La présence des plateaux latéritiques, à l'origine inexploitable sur le plan agricole, et les plateaux latéritiques du continental terminal à cuirasse fossile démantelée avec des sols gravionnaires, concourent à l'émergence de vallées sablonneuses exploitées par les populations du terroir.

Ces résultats traduisent la particularité de cette zone relativement semi-humide où le phénomène d'érosion éolienne se combine à l'érosion hydrique. Cette situation augmente les croûtes d'érosion et le ruissellement. Ce qui favorise le tassement du sol et la perturbation des bilans hydriques à de faibles échelles spatiales d'où l'hétérogénéité des stations écologiques et des conditions favorables de croissance et de la régénération de l'espèce *acacia senegal*.

La réduction du phénomène d'ensablement active le contexte pédologique des sols ferrugineux tropicaux. Ce qui rend leur profondeur assez souvent faible, et le substrat géologique contraint les infiltrations profondes. Dans ce contexte, la croissance d'*acacia senegal*, devient relativement très réduite sur un tel type de substrat. Ce qui harmonise nos résultats avec ceux trouvés par Ichaou,(2010) sur le fait que la production de biomasse de l'espèce *acacia senegal* en zone semi-humide et cumulée avec l'exploitation agricole qui en est faite, présente une faible aptitude à la production de phytomasse aérienne et souterraine.

4.1.3. *Terres vacantes + Terres agricoles :*

L'estimation de la biomasse a porté sur 907 sujets répartis dans 15 placettes, et avec une moyenne de 60,46 sujets par placette, et a donné une biomasse totale de 13718,42 kg, soit

13,718 tonne. La biomasse moyenne est de **3,656 tonne à l'hectare, soit 4004,59 tonne sur les 1095,35 ha** que totalisent ces types de terres.

Le climat est de type nord sahélien. La zone est comprise entre les isohyètes 350 et 50 mm, avec souvent moins de trente jours pluvieux même dans la bande sud, rendant vulnérable et aléatoire les activités agricoles hors des cuvettes oasiennes.

L'érosion éolienne à la base de la création des dépressions crée les conditions favorables à la régénération et la croissance de l'espèce *acacia senegal*. L'ensablement à long terme, limite de manière localisée l'étendue de l'espèce *acacia senegal*. Ce qui donne à *acacia senegal* une aptitude moyenne en production de phytomasse aérienne et souterraine. Nos résultats confirment ceux trouvés par Ichaou, (2010).

4.1.4. La forêt classée :

Avec une moyenne de 88,75 sujets par placette et une biomasse estimée à 16299,61 kg, soit 16,299 tonne. La biomasse moyenne par placette est de 1358,3 kg soit 1,358 tonne. La biomasse moyenne **à l'hectare est 5,432 tonne, soit 4808,62 tonne** sur toute la superficie de la forêt classée.

Ces résultats pourraient être attribués aux caractéristiques de cette zone où la géomorphologie se caractérise par un relief de bas plateaux et d'une altitude moyenne de 400 m entaillés par quelques vallées fossiles. Les différents faciès des sols de cette zone peuvent se distinguer en groupes de sol à texture typiquement sableuse et en groupes de sols à dominance d'argiles et de limons. Ces conditions édaphiques déterminent les systèmes agricoles, largement dominés par la culture du mil, du sorgho, généralement en association avec le niébé et l'arachide. Ce qui favorise une production importante de biomasse de l'espèce *acacia senegal* dans cette zone, comme c'est le cas avec nos résultats.

Ces résultats sont en harmonie avec ceux trouvés par Ichaou, (2010) qui a estimé que dans les contextes de stations écologiques humides, le facteur combiné géomorphologie-mésologie (étant le plus actif dans l'évolution du modèle et dans le fonctionnement biologique et hydrique des faciès purs à *acacia senegal* ou ceux à associations égalitaires entre *acacia laeta* et *acacia senegal*) constitue le déterminant du haut niveau de croissance végétative et de production de biomasse. D'où l'excellente aptitude à la production de phytomasse aérienne et souterraine d'*acacia senegal*.

4.2. Estimation du stock de carbone

4.2.1. Terres vacantes :

Notre étude a consisté à évaluer le stock de carbone au niveau des plantations à acacia senegal réalisées dans le cadre du projet biocarbone du programme d'actions communautaires. Au niveau des terres vacantes nous avons trouvé une biomasse en moyenne de **4,996 tonne** à l'hectare, soit **6770,07 tonne** de biomasse pour une superficie de 1355,1 ha à partir du modèle allométrique établi par Ichaou,(2010) pour l'estimation de la aérienne et souterraine de trois espèces d'acacia au Niger. La déduction du stock de carbone nous a donné **3385,035 tonne C**.

L'analyse de ces résultats fait ressortir une densité relativement moyenne des plantations. Ce qui pourrait expliquer cette relative production de biomasse moyenne car les plants ne présentent pas le même âge. L'explication réside dans le fait que le calcul de la biomasse est fonction de la densité des arbres (81,33 sujets par placette) et du type de terre. Ces résultats confirment ceux trouvés par Ichaou, (2010) qui a trouvé que les stations écologiques sèches pourraient expliquer un niveau moyen de production de phytomasse et par conséquent, un stock de carbone moyen.

4.2.2. Terres agricoles :

Au niveau des terres agricoles, nous avons trouvé une biomasse en moyenne de **46,976 tonne à l'hectare**, soit **4004,59 tonne** de biomasse pour une superficie de 1108,25 ha à partir du modèle allométrique établi par Ichaou,(2010) pour l'estimation de la phytomasse aérienne et souterraine de trois espèces d'acacia au Niger. La déduction du stock de carbone nous a donné **26030,576 tonne C**.

L'analyse de ces résultats fait ressortir une densité relativement faible des plantations. Tout de même on note une forte production de biomasse et par conséquent, un stock de carbone élevé. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que, dans le contexte des terres agricoles, la croissance d'*acacia senegal*, est relativement très forte par l'adoption massive des pratiques agroforestières.

Ces résultats sont contraires à ceux trouvés par Ichaou, (2010) sur le fait que la production de biomasse de l'espèce *acacia senegal* en zone semi-humide (favorable à

l'exploitation agricole), présente une faible aptitude à la production de phytomasse aérienne et souterraine, et donc un faible taux de carbone.

4.2.3. Terres vacantes + Terres agricoles :

Au niveau de cette catégorie de terres, nous avons trouvé une biomasse en moyenne de **3,656 tonne à l'hectare, soit 4004,59 tonne sur les 1095,35 ha** à partir du modèle allométrique établi par Ichaou, (2010) pour l'estimation de la phytomasse aérienne et souterraine de trois espèces d'acacia au Niger. La déduction du stock de carbone nous a donné **2002,295 tonne C**.

Ce résultat s'explique par le fait que le phénomène d'ensablement à long terme limite de manière localisée l'étendue de l'espèce *acacia senegal*. Ce qui lui confère une aptitude moyenne en production de phytomasse aérienne et souterraine, et donc un taux relativement moyen de stock de carbone. Nos résultats confirment ceux trouvés par Ichaou, (2010).

4.2.4. La forêt classée :

Au niveau de la forêt classée de chabaré, nous avons trouvé une biomasse en moyenne de **5,432 tonne à l'hectare, soit 4808,62 tonne sur les 885,24 ha** à partir du modèle allométrique établi par Ichaou,(2010) pour l'estimation de la phytomasse aérienne et souterraine de trois espèces d'acacia au Niger. La déduction du stock de carbone nous a donné **2404,31 tonne C**.

Ces résultats reflètent une densité assez élevée de l'espèce *acacia senegal* (88,75 sujets par placette), car le contexte de stations écologique humide constitue un déterminant du haut niveau de croissance végétative et de production de biomasse comme l'a trouvé Ichaou, (2010).

4.3. Opportunités pour les populations à la base

L'analyse de ces résultats nous fait ressortir que les choix d'*acacia senegal* pour la plantation au niveau des sites biocarbone du programme d'actions communautaires, présente tout un chapelet d'opportunité pour les communautés à la base.

En effet, ces opportunités se traduisent sur le plan écologique par la contribution à la reconstitution du tapis graminéen, la récupération des sols et la lutte contre la

désertification. La fertilisation des sols, notamment pauvres, les enrichissant avec l'azote atmosphérique crée de véritables opportunités sur les rendements agricoles.

Sur le plan économique, ces plantations sur les sites biocarbone constituent une source de revenus monétaires à travers la vente des plants produits, la construction d'ouvrages anti érosifs, la vente des produits dérivés (paille/fourrage), le paiement des crédits de carbone et la vente de la gomme arabique.

Sur le plan social, elles se traduisent par la réduction de l'exode rural et le raffermissement de la cohésion social.

Conclusion

Il est devenu évident que l'augmentation des gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère et le changement climatique qui en résulte auront des effets majeurs au 21^{ème} siècle. Même si les scénarios exacts sont encore incertains, on prévoit des effets négatifs sérieux et il est essentiel que plusieurs actions soient entreprises afin de réduire les émissions de GES et d'augmenter leur séquestration.

Ce qui a suscité cette étude et qui se veut comme une contribution à **l'évaluation du stock de carbone au niveau des plantations à *acacia senegal* : Cas du projet biocarbone du Programme d'Actions communautaires (PAC) au Niger.**

L'objectif général étant de procéder à l'évaluation du potentiel de carbone dans les plantations à *Acacia senegal* au Niger.

Elle nous a permis, à partir des modèles allométriques adaptés pour la quantification de la phytomasse aérienne et souterraine des trois espèces ligneuses productrices de gomme (dont *acacia senegal*) au Niger, de déduire le stock de carbone au niveau des plantations d'*acacia senegal* réalisées dans le cadre du Programme d'Actions communautaires (PAC) au Niger.

Il ressort de ces résultats que les techniques d'inventaires forestiers permettent d'estimer la biomasse des plantations d'*Acacia senegal* notamment à partir des mesures de circonférence prises à 20 cm au-dessus du sol des fûts d'*acacia senegal*. Cela a été possible par l'utilisation des modèles allométriques (équations allométriques) établis pour les trois principales espèces gommifères au Niger, dont *acacia senegal*. Ce qui vérifie notre seconde hypothèse sur le fait que les outils et méthodes disponibles (équations allométriques, facteur de conversion et d'expansion) permettent d'évaluer les stocks de carbone dans les plantations.

Les bénéfices tant sur le plan écologique et social, mais surtout sur le plan économique avec la clé de répartition des revenus des plantations confirment notre hypothèse selon laquelle, le marché du carbone ainsi que les autres services des produits des gommiers représentent une opportunité économique pour les populations à la base.

Tout de même, les limites de cette étude résident dans le fait que le dispositif d'estimation de la biomasse et du stock de carbone (placettes temporaires), ne permet pas de suivre l'évolution du stock de carbone au niveau de ces plantations.

C'est pourquoi, nous formulons les recommandations suivantes :

- ☞ Poursuivre cette étude en installant un dispositif de suivi régulier de l'évolution du stock de carbone à travers des placettes permanentes sur tous les sites biocarbone ;
- ☞ Multiplier les actions de sensibilisation sur l'importance du Projet de Plantations d'*acacia senegal* ;
- ☞ Renforcer le suivi /encadrement des activités par les services techniques ;
- ☞ Promouvoir et encourager la plantation d'espèce *acacia senegal* à haute production de biomasse et de gomme arabique ;
- ☞ Initier les pépiniéristes à la multiplication végétative de l'*acacia senegal* ;
- ☞ Créer un système d'information et de sensibilisation du public sur la protection de l'environnement en général et la lutte contre les changements climatiques en particulier.

Bibliographie

BABACAR D.G., 2010 : Caractérisation des plantations de *Rhizophora* spp, et essai de quantification du carbone séquestré par les reboisements : cas du village de Darssilamé Sérère (CR de Toubacouta, région de Fatick) : Mémoire de fin de cycle pour l'obtention du Master 2 Foresterie et environnement ENSA (Thiès, Sénégal). 54p.

BROWN S., 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forest: a primer. FAO Forestry paper, n.134, Rome, Italy .

CCNUCC. , 2013: Project design document form for afforestation and reforestation project activities (CDM-AR-PDD) - Version 06. 118P.

CILSS, 2007 : Expérience du Niger en matière de mise en œuvre du Mécanisme pour un Développement Propre (MDP). 36p.

CIRAD & FAO., 2012 : Manuel de construction d'équations allométriques pour l'estimation du volume et la biomasse des arbres : De la mesure de terrain à la prédiction. 120p.

COMMISSION DES FORETS D'AFRIQUE CENTRALE(COMIFAC),, 2005 : Note d'information 2^{ème} sommet, Brazzaville-Congo : Yaoundé. COMIFAC, Rapport final. 91p.

DANY T., 2010 : Estimation de la quantité de carbone stockée par une forêt en reconstitution: cas d'une jeune jachère dans la forêt classée de la Mondah. Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur des Techniques des Eaux et Forêts à l'Ecole Nationale des Eaux et Forêts du Cap-Estérias (Gabon). 47p.

ETIENNE K.Y., 2013 : Carbone stocké dans un essai de provenances d'*Acacia mangium* . Présentation 17p.

FAO., 2002 : La séquestration du carbone dans le sol pour une meilleure gestion des terres, 76p .

GIEC 2007., Bilan 2007 des changements climatiques : rapport de synthèse. p 30.

ICHAOU A., 2010 : Modèles allométriques d'évaluation de la phytomasse aérienne et souterraine et de déduction du carbone séquestré par les principaux peuplements de gommiers dans les 3 bassins géologiques du Niger. Rapport de consultation .252p .

ILWAC, DGPC, AEDD, OSS, 2013 : Guide Méthodologique *in* Estimation du potentiel de séquestration du carbone au Mali. 20p.

INS, 2013 : Recensement général de la population et de l'habitat, <http://www.stat-niger.org/statistique/> (consulté le 16/05/2014 à 08h 35mn).

KAIRE M., OUEDRAGO J.S., SARR B., BELEM M., 2013 : Guide de mesure et de suivi du carbone dans le système sol-végétation des formations forestières et agroforestières en Afrique de l'ouest. 47p.

LAURE V., 2007 : Proposition de méthodologie d'évaluation des stocks de carbone des sols dans le projet « Puits de carbone PSA-ONF International » (Fazenda São Nicolau, Mato Grosso, Brésil) ; Mémoire pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur du Génie Rural, des Eaux et des Forêts. ENGREF Centre de NANCY. 89p.

LE CROM M. et al. , 2008 : Méthodes de mesure du carbone forestier à grande échelle, incertitudes et coûts associés : Parties aérienne et souterraine des arbres. Agro-Paris-Tech ; 7p.

LUBINI A., BELESI K., KIDIKWADI T., KISOMPA R., 2012 : Note préliminaire sur la mesure de biomasse aérienne et de stock de carbone dans un îlot forestier à Kinshasa. Article .revue : Congo Sciences, 6P.

MAIDA H., 2013 : Résilience des écosystèmes forestiers du sud-ouest du Niger : cas de la brousse tigrée du plateau de Kouré. Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de mastère en gestion durable des terres. Centre régional Agrhymet de Niamey au Niger. 61p.

MANSSOUR A., ZOUBEIROU A. M., ABOUBACAR K., AMBOUTA J.M.K. et NOMAO D. L., 2013 : Effet de l'arbre *acacia senegal* sur la fertilité des sols de gomméraires au Niger. Int. J. Biol. Chem. Sci. 7(6): p2328-2337.

MBOW C., 2009: Potentiel et dynamique des stocks de carbone des savanes soudaniennes et soudano- guinéennes du Sénégal. Thèse de doctorat d'état es sciences à l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar (UCAD). 126p .

PELTIER R., FORKONG C.N., NTOUPKA M., MANLAY R., HENRY M., & MORILLON V., 2007 : Évaluation du stock de carbone et de la productivité en bois d'un parc à karités du Nord-Cameroun *in* Bois et Forêts des Tropiques. 2007. N° 294 (4). 12p.

PFPP/N : PLATE FORME PAYSANNE DU NIGER., 2010 : Expériences paysannes d'adaptation et de mitigation face aux impacts du changement climatique au Niger p4, www.africaforum.info/NIGER_Etude_de_Cas_experiences..(consulté le 16/05/2014 à 09h 00).

PIERRE S. & TINLOT M., 2012 : Evaluation carbone du “Programme d’Action Communautaire – Résilience au Changement Climatique” au Niger : Application de l’outil EX-ACT Version 3. 32p.

PROGRAMME D’ACTIONS COMMUNAUTAIRES (PAC) phase II., 2012 : Contribution du PAC2 au Programme d’urgence 2011 contre l’insécurité alimentaire et pour la réinsertion des rapatriés de Libye et de Côte d’Ivoire. 3p.

QUENTIN M., 2012 : Développement des équations allométriques afin d’estimer les stocks de carbone séquestrés dans la forêt primaire du nord-est du Gabon, Afrique centrale. Mémoire de Diplôme de Master II en Biologie des Populations et Ecosystèmes. 38p.

RANDRIANASOLO Z., 2010 : Développement d’équations allométriques en vue d’une quantification de la biomasse aérienne. Mémoire de fin d’études en vue de l’obtention du diplôme d’Ingénieur Agronome Spécialisation Eaux et forêts. 96p.

SAFIA M., 2011 : Etude de cas pour la validation du standard CCB (Volet Communautés), rapport de consultation 103p .

TARCHIANI V., OUEDRAOGO LG, 2007 : Evaluation des potentialités des initiatives de reforestation MDP dans le Sahel: une analyse spatiale à l’échelle régionale, 18P.

TERRAFRICA., 2009 : La gestion durable des terres en Afrique : des opportunités pour augmenter la productivité agricole et atténuer les émissions de gaz à effet de serre. Note d’information sur le climat n° 2. 3p.

WELDENSON D., 2010: Evaluation de la biomasse et des stocks de carbone sur des placettes forestières en forêts tropicales humides de Guadeloupe. Mémoire de mastère en sciences et technologies Mention : BIODIVERSITÉ TROPICALE Spécialité : Écosystèmes naturels et exploités, 45P .

