

## **ANALYSE DES PARCS AGROFORESTIERS DU PAYS DOGON AU MALI**

**Mots clés :** Analyse, Parcs, Agroforestiers, Pays, Dogon

**Auteurs :** Balougo TELLY ; Abdou BALLO et Moussa KAREMBE

- a- Auteur principal, Doctorant EDSTM, spécialité sciences de l'Environnement/Agroforesterie.
- b- Co - auteur, Dr, Maître de conférences, USSGB, Mali.
- c- Co - auteur, Professeur, Maître de conférences, FST, Mali.

### **Résumé**

Les changements climatiques ont eu des effets néfastes sur les parcs agroforestiers du pays dogon notamment les ligneux dont le rôle est capital dans la protection et la conservation des sols pour une agriculture durable. La méthodologie de ce travail a porté sur l'inventaire dendrométrique des ligneux dans les parcs agroforestiers. Les communes ont été divisées en strates ou unités d'occupation qui représentent des unités de mesure relativement homogènes. Ainsi pour l'inventaire des ligneux, quatre (04) parcelles de 1000 m<sup>2</sup> soit 50 m de longueur et 20 m de largeur chacune ont été échantillonnées par tirage au hasard à l'intérieur de chaque unité d'occupation. Les ligneux inventoriés dans chaque parcelle ont concerné les arbres et arbustes de hauteur supérieure à 50 cm et les Régénérations naturelles (rejets et jeunes pousses) de hauteur inférieure et égale à 1 m. Au total trois types de parcs agroforestiers ont été identifiés suivant les unités d'occupation des sols. Il s'agit des parcs sablo-limoneux, des parcs rocheux et des parcs inondables. Les parcs agroforestiers occupent 89% de la superficie totale des trois communes. Ce qui dénote la forte vocation agricole du pays dogon basée principalement sur les cultures sèches. Quant aux formations naturelles, elles occupent seulement 11% du territoire dont 8% de savanes arbustives et 3% de plans d'eau. Chaque année, ces savanes sont converties en champs de culture ou parc agroforestier. Dans les parcs agroforestiers de la zone d'étude, la richesse floristique est de 35 espèces dont les plus fréquentes par ordre décroissant sont respectivement : *Combretum micranthum* (14%), *Balanites aegyptiaca* (13%), *Acacia raddiana* (13%), *Piliostigma reticulata* (9%), *Combretum glutinosum* (7%), *Lannea microcarpa* (5%), *Guiera Senegalensis* (5%), *Acacia albida* (4%) et *Anogeissus leiocarpus* (4%), *Adansonia digitata* (3%), *Borassus aethiopicum* (3%) et *Boscia senegalensis* (3%). Quant à la densité moyenne des ligneux agroforestiers, elle est de 131 pieds/ha pour les régénérations naturelles et 60 pieds pour les arbres et arbustes. L'indice de régénération (IR) des parcs agroforestiers du pays dogon est de 2,1 (IR>1). Cette situation dénote que les parcs agroforestiers du pays dogon sont en pleine expansion et la relève des ligneux agroforestiers peut-être assurée si des actions de conduite des régénérations naturelles assistées sont mises en œuvre.

Les parcs agroforestiers du pays dogon séquestrent une importante quantité de carbone et contribuent à la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Ainsi la quantité totale de carbone séquestré par type de parc agroforestier varie de 17, t C/ha à 51, 95 t C / ha avec une valeur moyenne de 35 t C/ha par parc agroforestier.

## 1. Introduction

Au cours de ces trente dernières années, l'agriculture, principale activité économique du pays dogon est confrontée à la rareté et mauvaise répartition des pluies et à la hausse de la température. Ces variations de paramètres climatiques conjuguées aux mauvaises pratiques anthropiques ont entraîné la diminution voire la disparition des formations ligneuses assistées ou naturelles des parcs agroforestiers avec comme conséquence immédiate la diminution de la productivité agricole.

Face à cette situation, les paysans africains et particulièrement ceux du pays dogon au Mali ont adapté leurs pratiques agroforestières dans tous les systèmes de production agricole. Cette pratique consiste à laisser sur la même parcelle des ligneux résistants à la sécheresse (jeunes pousses ligneuses, arbres et arbustes) en association avec des cultures adaptées.

De façon générale, l'agroforesterie est fortement ancrée dans les systèmes de production agricole au Mali et est transmise de génération en génération au sein de toutes les unités familiales. Les différents parcs agroforestiers représentent 39% de la superficie totale du pays soit le premier paysage agricole des zones sahéliennes, soudaniennes et nord-guinéenne (YOSSI et KOUYATE, 2001). Dans ces parcs agroforestiers, l'ensablement et l'érosion hydrique sont devenus une préoccupation pour le paysan. A cet effet, plusieurs techniques agroforestières notamment les cordons pierreux, les brises vent et les haies vives sont utilisés pour pallier aux effets négatifs de ces facteurs érosifs et des changements climatiques. Ces derniers ont aussi affecté les modes et techniques culturelles des paysans de la zone. Les territoires du pays dogon sont considérés réellement vulnérable aux changements climatiques (PNUD, 2015). Le recul des isohyètes de plus de 200 km, constaté vers le sud, a certainement entraîné aussi une régression des aires écologiques de certaines espèces. C'est probablement le cas des espèces comme *Prosopis africana*, *Pterocarpus lucens* et *Cordyla pinnata* qui constituent l'essentiel des bois morts sur pieds observés dans cette zone (Karembé et al, 2009). Les ligneux agroforestiers du pays dogon sont vieillissants et la survie des régénérations naturelles est presque aléatoire à cause de l'inattention des paysans lors des travaux champêtres.

Les experts tirent la sonnette d'alarme qu'un réchauffement climatique de l'ordre de 2°C d'ici 2100 est désormais inévitable, alors que les mesures et les objectifs de réduction (moins 20% en fin 2020) des gaz à effet de serre (GES) sont restés bien en deçà des préconisations de la communauté scientifique (MONBIOT 2009). L'urgence est de mettre en place le plus rapidement possible des mesures effectives et économiques de réduction de Gaz à Effet de Serre (GES), de Captage et Stockage de Carbone (CSC) pour éviter un réchauffement de 4°C ou plus (HAMON et al, 2009). Il s'agit notamment de réduire la consommation d'énergie fossile et d'augmenter la part des énergies renouvelables (METRAL et al, 2005). Ainsi, l'utilisation des systèmes agroforestiers en vue d'une réduction des émissions de GES constitue un moyen de stockage de carbone sans pour autant compromettre l'agriculture et la production des énergies renouvelables (DOSSA 2010).

La capacité de stockage du carbone d'un système agroforestier dans le cadre des énergies renouvelables varie entre 12 et 228 t C / ha avec une valeur moyenne de 95 t C / ha (ALBRECHT et KANDJI, 2003). Suivant les espèces ligneuses utilisées en agroforesterie, la quantité de carbone stocké est évaluée à 32, 62 t C / ha dans un parc à karité et néré au nord du Benin (DOSSA 2010) et 30,42 t C/ha dans un parc à *Acacia albida* au Sénégal (ONDO OKAMA et MBOW, 2009). Sous le houppier de *Piliostigma reticulatum*, le statut du carbone organique est amélioré de 67 % dans l'horizon 0-10 cm et de 46% dans l'horizon 10-20 cm. Le taux d'azote total est amélioré de 62% dans l'horizon 0-10 cm. En outre, le rapport C/N présente des valeurs relativement faibles (YELEMOU et al ; 2013).

Au Mali, le système des parcs agroforestiers couvre environ 90 % des terres agricoles (PIRL, 1988). Il concerne 2,5 millions de personnes et se rencontre dans les parties nord des plateaux Mandingue et de Koutiala, dans les zones agro-écologiques du Moyen-Bani-Niger, du Haut Plateau Dogon, du Seno, du Gondo, du Bélédougou, du Weïna, du Falo et du Delta mort (Djimé, 1990).

Au Mali, plusieurs études ont été réalisées pour comprendre les systèmes traditionnels d'agroforesterie (SENOU ET BAGNOUD, 1998 ; YOSSI, 1999). Ainsi une étude réalisée par l'IER et l'ICRAF sur la structure des parcs agroforestiers dans les zones agro écologiques a fait ressortir de cette étude que 20 types de parcs caractérisés par le karité, couvrant 415 700 hectares ont été identifiés dans le Moyen Bani Niger et 17 types caractérisés par *Faidherbia albida* (kad) ont été dénombrés sur une superficie de 387 700 hectares dans la plaine du Gondo (YOSSI, 1999). Dans les champs, le karité et le néré sont les espèces les plus abondantes, le néré est absent des jachères. En ce qui concerne la dynamique des parcs agroforestiers, on constate que les espèces principales notamment le karité et le néré sont en nette régression du fait de leur élimination physique dans le sud du Mali. La richesse floristique des espèces ligneuses varie de 11 à 40 espèces dans les champs et de 15 à 19 espèces dans les jachères (Yossi,1996).

Auparavant, une étude d'évaluation des parcs agroforestiers réalisée dans le sud du Mali a fourni des précisions sur la densité, la diversité et le degré de parasitisme des espèces ainsi que sur leur dynamique (SENOU et BAGNOUD, 1998). La densité des espèces dans les champs varie en fonction de la zone agro écologique et du niveau d'intensité des cultures dans les champs. Elle est de 20 à 28 tiges par hectare en zone guinéenne contre 9 à 15 tiges par hectare en zone soudanienne où les cultures sont plus intensives, 15 à 28 tiges par hectare dans les champs de brousse contre 8 à 20 tiges par hectare dans les champs de case où la durée de mise en culture est plus longue.

En effet, si grâce à ces études, les types et superficies des parcs agroforestiers ont pu être définies, les questions de production, de capacité de séquestration de carbone ainsi que les modes de gestion des régénérations ligneuses dans ces parcs n'ont pas pu être élucidés.

Il ressort aussi des évaluations effectuées sur les parcs inventoriés dans la zone semi-aride du Mali que la densité des régénérations naturelles (sujets à hauteur inférieure ou égale à 1 m) est plus forte dans les champs de brousse (236 souches/ha) et sur les sols lourds (182 souches/ha sur sols sablo-argileux) contre 90 souches/ha sur sols sablonneux (Cissé, 1995).

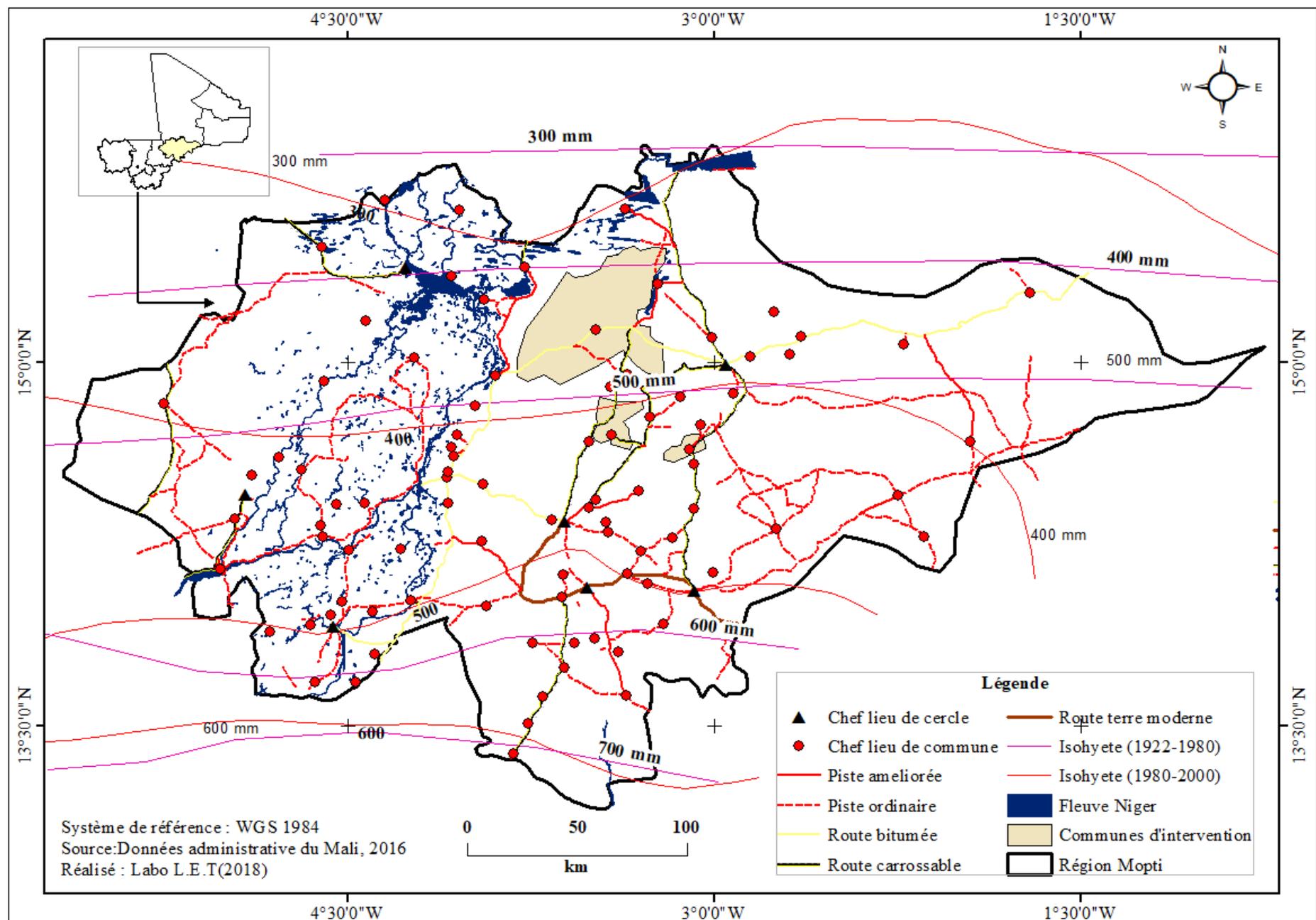
Cette étude a été initiée dans ce cadre pour analyser l'état des parcs agroforestiers au pays dogon, dans les communes de Bamba, Kendé et Dangol-Boré, région de Mopti au Mali.

## **2. Matériels et Méthodes**

### **2.1. Présentation de la zone d'étude**

La présente étude couvre les territoires des communes de Bamba dans la plaine du Seno, de Kendé sur le Plateau dogon et enfin la commune rurale de Dangol-Boré dans la plaine inondable.

Ces communes à vocation agrosylvopastorale (cf. figure 1) sont toutes classées dans la catégorie des communes les plus vulnérables aux effets des changements climatiques au Mali (PNUD 2015).



**Figure 1:** Carte localisation des communes de la Zone d'étude

La superficie totale des trois communes est de 30854 Km<sup>2</sup> avec une population de 34532 habitants (RGPH, 2009) dont 17611 femmes. Cette population est composée majoritairement de Dogon, Peulh et Bambara avec une évolution démographique estimée à 3,6%.

Le climat est de type sahélien avec une pluviométrie annuelle allant de 300 à 500 mm pour une durée moyenne de 85 jours et mal répartie et en baisse ces trois dernières décennies. La température annuelle oscille entre 44°C maximum et 18°C minimum.

Le relief est marqué par les plaines et le plateau dans la commune de Bamba, par les dunes, les plaines sableuses, les terrains inondés, les terrains cuirassés, les terrains rocheux (PIRT, 1986) dans la commune de Dangol-Boré. La commune de Kendé est située sur le plateau dogon avec des falaises entrecoupées de plaines longeant le long des cours d'eau semi-temporaires et temporaires.

Les sols sont de types dunaires, plaines sableuses, des terrains rocheux avec des affleurements par endroit dans la commune de Bamba, de types argileux, argilo-limoneux, sablo-limoneux et latéritiques dans la commune de Dangol-Boré et de types sablo-limoneux et terrain rocheux dans la commune de Kendé. Dans toutes les communes, les sols sont pauvres due à la surexploitation et à la forte érosion hydrique et il n'y a pratiquement pas de jachères

L'agriculture basée sur les cultures sèches (mil, sorgho, niébé) et le maraichage est la principale activité des populations suivi de l'élevage et de l'artisanat.

La végétation naturelle ligneuse est composée de savanes arbustives, de savanes parcs et de galeries et les espèces rencontrées varie d'une commune à une autre. Dans la commune de Bamba, les espèces végétales dominantes sont : *Balanites aegyptiaca*, *Adansonia digitata*, *Acacia albida*, *Tamarindus indica* et *Lannea microcarpa*, chez les ligneux et *Cenchrus bifloris*, *Aristida mutabilis*, *Schoenefeldia gracilis* et *Digitaria spp* chez les herbacées. Dans la commune de Dangol-Boré on constate une dominance des épineux (*Acacia raddiana*, *Acacia seyal*, *Balanites aegyptiaca*) et d'autres espèces comme *Combretum miranthum*, *Mitragyna inermis*, *Anogeissus leiocarpus*, etc. Dans la commune de Kendé on note la présence des espèces comme *Acacia albida*, *Vitellaria paradoxa*, *Lannea microcarpa*, *Tamarindus indica*, *Adansonia digitata* et quelques pieds de *Parkia biglobosa*.

La végétation herbacée est composée de *Cenchrus bifloris*, *Aristida mutabilis*, *Schoenefeldia gracilis* et *Digitaria spp* dans la commune de Bamba, de *Panicum sp.*, *Cenchrus biflorus* et *Schoenefeldia gracilis* dans la commune de Dangol-Boré et de *Pennisetum pedicellatum*, *Dactyloctenium aegyptium*, *Eragrostis tremula* et *digitaria spp* dans la commune de Kendé

La faune pauvre est composée de reptiles, de rongeurs, des chats sauvages, hérissons, canards, pintades et perdrix, des hyènes et des varans et caïmans dans les zones hydro morphes.

## 2.2. Matériels

Les différents matériels utilisés au cours de cette étude sont :

- Deux motos pour le déplacement sur le terrain ;
- Un appareil photo pour les images importantes sur le terrain ;
- Un outil GPS pour les relevés des coordonnées géographiques ;
- Un mètre ruban de 5 m pour mesurer les jeunes pousses et  $C_0$  et  $C_{1,30}$  ;
- Un mètre ruban de 50 m pour mesurer le diamètre du houppier et les écartements entre les pieds des espèces ;
- Quatre parcs agroforestiers par strate ou unité d'occupation par commune pour l'inventaire des ligneux (arbres et arbustes) et l'estimation du carbone séquestré ;

- Une fiche technique de collecte de données sur les ligneux.

## 2.3. Méthodes

### 2.3.1 Critères de choix des sites d'études

Le pays dogon, dans la région de Mopti au Mali, est caractérisée par deux grandes zones contrastées du point de vue agroécologie à savoir : la zone inondée et la zone exondée. Chacune de ses zones comporte des unités d'occupation. Ainsi, nous avons les plaines inondables qui sont exploitées en riz dans la zone inondée ou inondable . Le plateau dogon, les falaises rocheuses et la plaine du seno qui sont exploités en mil et sorgho dans la zone exondée. Aussi, compte tenu de la diversité des types de parcs agroforestiers dans ces deux grandes zones agro écologiques et pour une meilleure couverture géographique de la zone d'étude, que nous avons choisi une commune caractéristique par unité d'occupation où l'agroforesterie est assez développée.

Il s'agit des communes de :

- Bamba, à cheval entre la falaise rocheuse et la plaine du Seno, dans le cercle de Koro ;
- Kendé, sur le plateau dogon dans le cercle de Bandiagara ;
- et enfin Dangol-Boré, dans la plaine inondable dans le cercle de Douentza

### 2.3.2 Inventaire dendrométrique des parcs agroforestiers

Pour faciliter le travail sur le terrain et améliorer l'exactitude et la précision des données, les communes ont été divisées en strates. Ces dernières représentent des unités de mesure relativement homogènes. Des outils utilisés pour la stratification étaient les cartes issues des images satellites et vérifiées sur terrain, des photos aériennes, cartes de la végétation, des sols ou de la topographie.

Après la stratification, nous avons procédé à l'inventaire des ligneux (arbres et arbustes) de hauteur supérieure à 50 cm et des Régénérations naturelles (rejets et jeunes pousses) de hauteur inférieure et égale à 1 m.

Les inventaires ont été effectués dans les différentes unités ou strates issues de la stratification. L'état du couvert végétal est un paramètre déterminant dans la caractérisation de la dégradation des terres dans les zones arides et semi-arides (Floret et Pontanier, 2000). Dans chaque commune et à l'intérieur de chaque strate ou unité d'occupation, il a été retenu quatre (04) parcelles échantillons pour cet inventaire. L'emplacement de chaque parcelle a fait l'objet d'un tirage au hasard. La superficie retenue d'une parcelle échantillon était de 1000 m<sup>2</sup> soit 50 m de longueur et 20 m de largeur.

Au cours de l'inventaire des paramètres ont été mesurés, à savoir : la hauteur totale de la tige, la circonférence à la base, la circonférence à 1, 30 m et les diamètres nord-sud et Est-Ouest du houppier pour les arbres et arbustes. Concernant les régénérations naturelles qui sont des jeunes pousses issues de la germination et tout rejet ayant une circonférence à la base inférieure à 10 cm avec une hauteur inférieure ou égale à 50 cm a fait l'objet d'un comptage systématique et cela par espèce.

### 2.3.3 Estimation du taux de séquestration du carbone

La quantité de carbone séquestrée a été évaluée pour les ligneux et les sols des arcs agroforestier.

Pour chaque parc agroforestier inventorié, la quantité de carbone séquestrée dans les bois a été évaluée sur la base de la formule mise au point par Morel en 1987 au Mali. Elle est la suivante :

$V = 10 \times P \times G$  où V : volume de bois en m<sup>3</sup> ; 10 : une constante ; G : la surface terrière en m<sup>2</sup> obtenue sur la base de la circonférence ou du diamètre à 1,30 m ; P : précipitation moyenne annuelle du site ou de la station la plus proche exprimé en m.

Une des mesures forestières les plus ordinaires acquises au niveau mondial est le diamètre à hauteur de poitrine d'homme ou le DHP des arbres. C'est la hauteur standard internationalement reconnue à laquelle le diamètre des arbres est mesuré pour le calcul de la production en bois. Ce paramètre a été utilisé dans le calcul du volume de bois produit. Pour passer du volume de bois à la quantité de carbone séquestrée, il a été utilisé les relations suivantes : 1 m<sup>3</sup> de bois = 1 tonne CO<sub>2</sub> = 0,27 tonnes de carbone. Ces relations sont définies par le Groupe Intergouvernemental des Experts sur les Changements climatiques (GIEC, 1996).

La quantité de carbone séquestrée a été calculé dans les sols sur la base des résultats des analyses faites au laboratoire de sols de l'IPR/ISFRA de Katibougou. Elle présente les caractéristiques du sol et les quantités de carbone des différents sols. Le carbone organique total du sol (Mg ha<sup>-1</sup>) pour chaque profondeur (D) est calculé à partir du carbone organique du sol (%) et de la densité apparente du sol (Winrock International, 2005). La formule est la suivante : C organique du sol (Mg ha<sup>-1</sup>) = 100 cm m<sup>-1</sup> x 100 cm m<sup>-1</sup> x D cm x BD (g cm<sup>-3</sup>) x SOC x 10000 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> x 0,000001Mg g<sup>-1</sup> où D = la profondeur de chaque horizon pédologique, BD est la densité apparente (g cm<sup>-3</sup>) du sol et SOC est la teneur en carbone organique du sol, exprimée en décimales (SOC (%)/100).

Se basant sur les données concernant la concentration en carbone obtenues du laboratoire, la quantité de carbone séquestré par surface unitaire est : C (t /ha) = [densité de masse du sol (g /cm<sup>3</sup>) x profondeur du sol (cm) x C] x 100. Dans cette équation le C est une fraction décimale ; par exemple un carbone de 2,2% est catégorisé comme étant 0,022 dans l'équation. Ce sont ces coefficients de conversion qui ont été utilisés pour estimer le potentiel de carbone séquestré dans les parcs agroforestiers des trois (03) communes cibles de la région de Mopti.

### 3. Résultats

Les résultats obtenus et discutés sont relatifs aux unités cartographiques, à la typologie des parcs , à la densité des ligneux agroforestiers, à la quantité de carbone séquestrée dans les bois et sols des parcs agroforestiers..

#### 3.1 Unités d'occupation ou d'utilisation

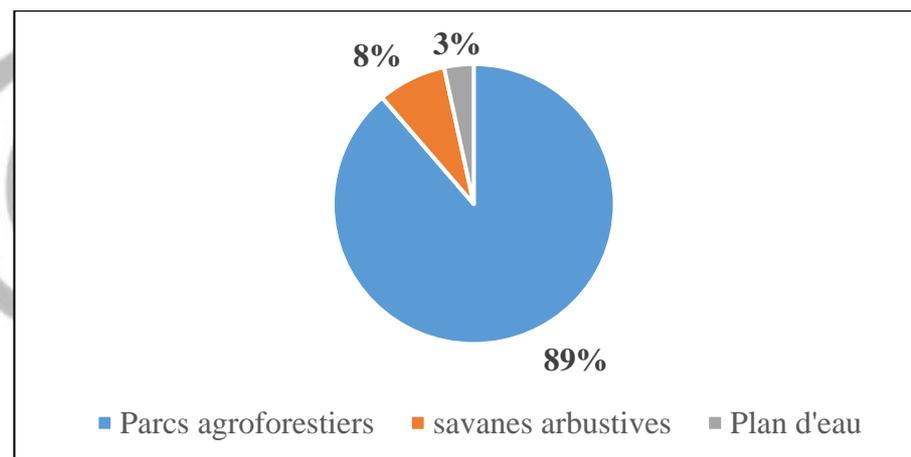
Il est important de noter que les communes n'ont pas les mêmes nombres et types d'unités d'occupation ou d'utilisation. On rencontre 5 unités au pays dogon qui sont : les plaines sablo-limoneuses, les plaines inondables, les unités rocheuses, les savanes arbustives et les plans d'eau. Les trois (03) premières unités d'occupation constituent les parcs agroforestiers et occupent respectivement 26%, 20% et 43 % de la superficie totale du territoire des trois communes. Les formations naturelles, constituées de savanes arbustives et de Plans d'eau occupent respectivement 8% et 3% du territoire (cf. tableau 1).

**Tableau 1 : Unités d'occupation et leur superficie par commune**

Unités d'occupation	Communes			Superficie totale (ha)	%	
	Bamba	Dangol-Boré	Kendé			
Plaines Sablo-limoneux	8565,1	58061	12795	79421,06	26%	

Plaines inondables	786,33	61876	578	63240,333	20%	
Rocheux	4187,5	126984		131171,46	43%	
Savanes		5153	19118	24271	8%	
Plan d'eau		10438		10438	3%	
<b>Total</b>	<b>13539</b>	<b>262515</b>	<b>32491</b>	<b>308545</b>	<b>100%</b>	

Nous avons trois types de parcs agroforestiers dans les communes de Bamba et Dangol-Boré qui sont les parcs sablo-limoneuses à cultures sèches, les parcs inondables à cultures rizicole ou sèches et les parcs rocheux à cultures sèches et 2 types de parcs dans la commune de Kendé qui sont les parcs sablo-limoneuses à cultures sèches et les parcs inondables à cultures rizicole ou sèches. Ces parcs agroforestiers couvrent 273833 ha soit 89% de la superficie totale des trois communes. Ils sont suivis par les formations naturelles qui sont les savanes arbustives avec 24271 ha soit 8% et enfin les plans d'eau avec 10438 ha soit 3% (cf. figure 2). Les savanes arbustives régressent chaque année pour faire place aux parcs agroforestiers à vocation agricole. Cette agriculture basée sur les cultures sèches (mil et sorgho associé au niébé en majorité, fonio et arachide) nécessite assez de superficie. Ainsi chaque année, les formations naturelles forestières sont converties en espaces de cultures souvent sans respect du Code forestier du Mali qui soumet tout défrichement à une autorisation et au maintien de 10 à 20 pieds d'espèces ligneuses à l'hectare.



**Figure 2 :** Superficie occupée par unité d'occupation

### 3.2. Composition et richesse floristiques des parcs agroforestiers

La richesse floristique varie suivant les communes et les types de parc agroforestier.

Ainsi, dans la commune de Bamba, la flore est composée de 15 espèces dont les plus fréquentes sont : *Balanites aegyptiaca* (30%), *Piliostigma reticulatum* (24%), *Lanea microcarpa* (12%), *Adansonia digitata* (7%), *Acacia raddiana* (5%), *Tamarindus indica* (4%), *Sclerocarya birrea* (4%) et *Acacia albida* (4%). Toutefois, la richesse floristique est plus importante dans les parcs inondables (galeries) avec 11 espèces (Yossi,1996) contre 8 espèces dans les parcs rocheux et 8 aussi dans les parcs sablo-limoneux.

Dans la commune rurale de Dangol Boré, la flore est composée de 16 espèces dont les plus fréquentes sont : *Acacia raddiana* (32%), *Guiera senegalensis* (17%), *Boscia senegalensis* (10%), *Combretum micranthum* (8%), *Balanites aegyptiaca* (7%), *Anogeissus leiocarpus* (6%),

*Combretum glutinosum* (4%) et *Prosopis juliflora* (4%). Toutefois, la richesse floristique est plus importante dans les parcs inondables (galeries) avec 4 espèces contre 3 espèces dans les parcs rocheux et 3 aussi dans les parcs sablo-limoneux.

La flore des parcs de la commune rurale de Kendé est composée de 24 espèces dont les plus fréquentes sont : *Combretum micranthum* (34%), *Combretum glutinosum* (17%), *Borassus aethiopium* (10%), *Acacia albida* (6%), *Anogeissus leiocarpus* (6%), *Adansonia digitata* (3%), *Hyphaene Thebaica* (3%) et *Vitellaria paradoxa* (3%). Toutefois, la richesse floristique est plus importante dans les parcs sablo-limoneux à cultures sèches avec 13 espèces suivis des parcs inondables ou galeries à cultures irriguées avec 11 espèces.

Globalement, dans la zone d'étude, la richesse floristique des parcs agroforestiers varie de 11 à 13 espèces (Yossi, 1996) dans la commune de Kendé, de 8 à 11 espèces dans la commune de Bamba et de 3 à 4 espèces dans la commune de Dangol-Boré. Les espèces les plus fréquentes dans les parcs agroforestiers au pays dogon sont respectivement : *Combretum micranthum* (14%), *Balanites aegyptiaca* (13%), *Acacia raddiana* (13%), *Piliostigma reticulata* (9%), *Combretum glutinosum* (7%), *Lanea microcarpa* (5%), *Guiera Senegalensis* (5%), *Acacia albida* (4%) et *Anogeissus leiocarpus* (4%).

### 3.3. Densité des strates ligneuses dans les parcs agroforestiers de la zone d'étude

Les densités des arbres et arbustes et des régénérations naturelles ont été évalués dans les parcs agroforestiers de chaque commune.

En ce qui les arbres et arbustes, le tableau 4 ci-dessous indique leur densité par commune et par type de parc agroforestier.

Dans la commune de Bamba, la densité des grands arbres et arbustes varie de 73 à 115 pieds/ha selon le type de parc agroforestier. Elle est plus importante dans les parcs inondables ou galeries avec 115 pieds/ha, suivis des parcs sur rocheux avec 100 pieds /ha et faible dans les parcs sur plaines sablo-limoneuses à cultures sèches avec 73 pieds/ha.

Dans la commune de Dangol Boré, la densité des arbres et arbustes varie de 18 à 28 pieds/ha selon le type de parc agroforestier. Elle est plus élevée dans les parcs inondables avec 28 pieds suivis des parcs rocheux avec 25 pieds/ha. Les parcs sablo-limoneux ont la plus faible densité avec 18 pieds/ha.

Dans la commune de Kendé, la densité ligneuse varie de 53 à 65 pieds/ha selon le type de parcs agroforestiers. Elle est plus importante dans les parcs inondables ou galerie à cultures irriguées avec 65 pieds/ha et relativement faible dans les parcs sablo-limoneuses à cultures sèches avec 53 pieds/ha.

On constate que la densité des arbres et arbustes est plus faible dans la commune de Dangol-Boré que dans les deux autres communes. La densité moyenne des arbres et arbustes est plus élevée dans les parcs inondables avec 65 pied/ha suivis des parcs rocheux avec 63 pieds/ha. Les parcs sablo-limoneux ont la plus faible densité des arbres et arbustes avec 52 pieds/ha (cf. tableau 4).

**Tableau 4 :** Densité des arbres et arbustes (pieds/ha) par types de parcs agroforestiers

Communes	Parcs sablo-limoneux à cultures sèches	Parcs inondables ou galerie	Parcs rocheux
Bamba	73	115	100
Dangol-Boré	18	28	25
Kendé	65	53	-

<b>Densité moyenne des arbres et arbustes par type de parc</b>	<b>52</b>	<b>65</b>	<b>63</b>
--	-----------	-----------	-----------

Par rapport aux régénérations naturelles, le tableau 5 ci-dessous indique leurs densités par commune et par type de parc agroforestier.

Dans la commune de Bamba, la densité des régénérations naturelles varie de 120 à 300 pieds/ha selon le type de parc agroforestier. Elle est plus élevée dans les parcs sablo-limoneux avec 300 pieds par hectare puis suivis des parcs rocheux avec 152 pieds et faible dans les parcs inondables avec 120 pieds.

Dans la commune de Dangol-Boré, la densité des régénérations naturelles varie de 18 à 55 pieds/ha selon le type de parc agroforestier. Elle est plus importante dans les parcs sablo-limoneux avec 55 pieds suivis des parcs inondables avec 30 pieds/ha. En revanche, cette densité demeure faible dans les parcs rocheux avec respectivement et 18 pieds/ha.

Dans la commune de Kendé, la densité des régénérations naturelles varie de 195 à 220 pieds/ha selon le type de parc agroforestier. Elle est plus élevée dans les parcs inondables avec 220 pieds/ha. Elle est plus faible dans les parcs sablo-limoneux avec 195 pieds/ha (cf. tableau 6).

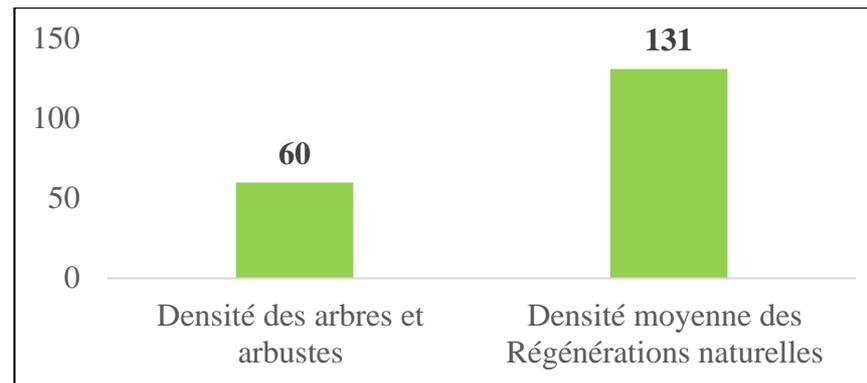
On constate aussi que la densité des régénérations naturelles est la plus faible dans la commune de Dangol-Boré que dans les deux autres communes. La densité moyenne des régénérations naturelles est plus élevée dans les parcs sablo-limoneux avec 183 pied/ha suivis des parcs inondables avec 119 pieds/ha. Les parcs rocheux ont la plus faible densité des régénérations naturelles avec 92 pieds/ha (cf. tableau 5).

**Tableau 5 : Densité des régénérations naturelles (pieds //ha) par types de parcs agroforestiers**

<b>Communes</b>	<b>Parcs sablo-limoneux à cultures sèches</b>	<b>Parcs inondables ou galeries</b>	<b>Parcs rocheux</b>
Bamba	300	120	153
Dangol-Boré	55	18	30
Kendé	195	220	
<b>Densité moyenne des Régénérations naturelles par type de parc</b>	<b>183</b>	<b>119</b>	<b>92</b>

En conclusion, dans la zone d'étude, on constate que les densités moyennes des arbres et arbustes et des régénérations naturelles demeurent faibles dans la commune de Dangol-Boré comparativement aux commune de Kendé et Bamba (cf. tableau 4 et 5). Cette situation pourrait s'expliquer par la forte transhumance des animaux sur le terroir de la commune de Dangol-Boré qui a entraîné le surpâturage des ligneux, l'exploitation des bois et la prolifération des marchés de bois. Elle reste la commune la plus vulnérable du point de vue climat et pression anthropique sur les parcs agroforestiers.

A retenir aussi que dans la zone d'étude, la densité moyenne des strates ligneuses dans un parc agroforestier est de 60 pieds/ha pour les arbres et arbustes et 131 pieds/ha pour les régénérations naturelles (cf. figure 3). L'indice de régénération (IR) est de 2,1 ( $IR > 1$ ). Ce niveau détermine que les parcs agroforestiers du pays dogon sont en pleine expansion, dans lequel les arbres des différentes classes d'âge (recrûs, gaulis, jeunes et adultes) sont en équilibre mais l'effort doit être consentit sur la conduite des régénérations naturelles assistées.



**Figure 3 :** Densité moyenne des strates ligneuses dans un parc agroforestier de la zone d'étude

### 3.4. Estimation du taux de carbone séquestré dans les parcs agroforestiers

La quantité de carbone séquestré par les parcs agroforestiers a été estimée au niveau des ligneux et des sols agroforestiers dans les trois communes. Cette quantité varie en fonction des types de parcs agroforestiers identifiés par commune.

Le tableau 6 indique la quantité de carbone séquestrée par les ligneux agroforestiers. Elle varie de 4 à 10,62 t C/ha dans la commune de Bamba ; de 69,09 à 71,98 t C/ha dans la commune de Kendé et la plus faible quantité de carbone enregistrée varie de 0,84 à 4,06 t C/ha dans la commune de Dangol-Boré (cf. tableau 6).

**Tableau 6 :** Quantité de carbone séquestrée par les ligneux (t C/ha) dans les parcs agroforestiers

Communes	Parcs sablo-limoneux à cultures sèches	Parcs inondables	Parcs rocheux
Bamba	4	18,07	10,62
Dangol-Boré	1,25	4,06	0,84
Kendé	71,98	69,09	-
<b>Carbone moyen séquestré par les ligneux</b>	<b>25,74</b>	<b>30,41</b>	<b>5,73</b>

Quant aux parcs agroforestiers, la quantité moyenne de carbone séquestré varie de 5,73 à 30,41 t C/ha. Toutefois, les parcs inondables sont plus productifs en carbone avec 30,41t C/ha suivis des parcs sablo-limoneux avec 25,74t C/ha et les parcs rocheux ont le plus faible carbone séquestré avec 5, 73 t C/ha (cf. tableau 6). Cette situation s'explique par le fait que les ligneux des parcs inondables sont en très bon état végétatif grâce à l'humidité du sol.

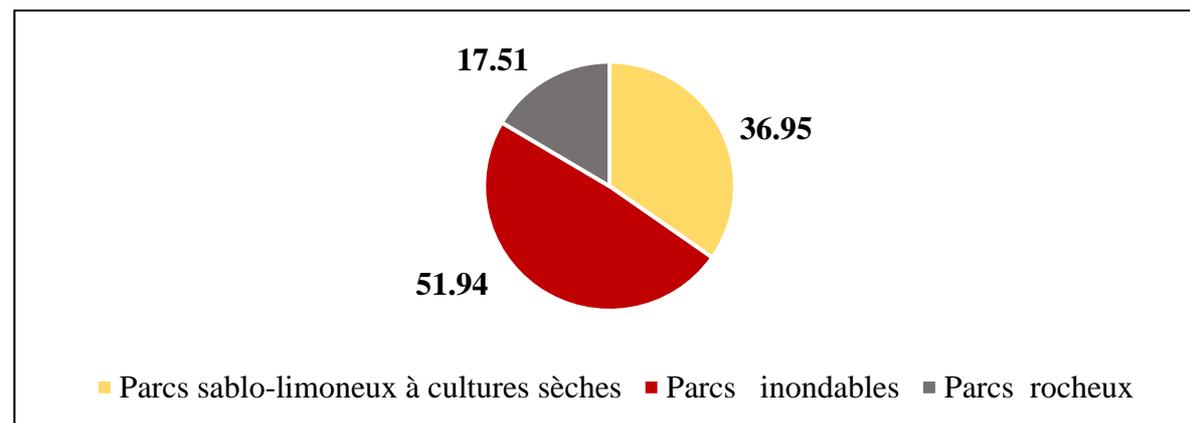
En ce qui concernant la quantité de carbone séquestrée dans les sols des parcs agroforestiers, les résultats sont rapportés dans le tableau 7 ci-dessous. Il faut toutefois signaler ici dans les parcs rocheux, le sol ne représente qu'environ 40% de sa superficie totale. De ce fait, c'est ce taux qui a été considéré dans l'estimation de la quantité de carbone dans les sols des communes cibles. La quantité de carbone séquestré dans les sols varie de 14,65 à 21,69 t C/ ha dans la commune de Kendé ; de 11,37 à 20, 25t C/ha dans la commune de Bamba et la faible quantité de carbone enregistrée varie de 4, 95 à 22, 64 t C/ha dans la commune de Dangol-Boré (cf. tableau 7).

**Tableau 7 :** Quantité de carbone séquestré dans les sols (t C/ha) des parcs agroforestiers

Communes	Parcs sablo-limoneux à cultures sèches	Parcs inondables	Parcs rocheux à cultures sèches
Bamba	11,37	20,25	18,62
Dangol-Boré	7,61	22,64	4,95
Kendé	14,65	21,69	-
<b>Carbone moyen séquestré par les ligneux</b>	<b>11,21</b>	<b>21,53</b>	<b>11,78</b>

Par rapport aux parcs agroforestiers, le carbone séquestré dans les sols varie de 11,21 à 21,53 t C/ha. Toutefois, elle est plus importante dans les sols des parcs inondables avec 21,53t C/ha suivis des sols des parcs rocheux avec 11,78 t C/ha Les parcs sablo-limoneux à cultures sèches enregistrent la plus faible quantité de carbone avec 11, 21t C/ha (cf. tableau 7). Cette situation s’explique par le fait que les sols des parcs inondables sont lourds et chargés d’humidité qui active les réactions chimiques pour une meilleure décomposition des substances organiques.

En conclusion, dans la zone d’étude, les quantités de carbone séquestrée par les ligneux et les sols sont élevées dans les parcs inondables que dans les parcs sablo-limoneux et rocheux. Les parcs inondables séquestrent plus de carbone avec 51,94 t C/ha et suivis des parcs sablo-limoneux avec 36, 9 t C/ha. Les parcs rocheux ont la plus faible capacité de séquestration de carbone avec 17, 51 t C/ha (cf. figure 4).



**Figure 4 :** Quantité totale de carbone séquestré par type de parc agroforestier

La quantité totale de carbone séquestré par type de parc agroforestier varie de 17, t C/ha à 51, 95 t C / ha (cf. figure 2) avec une valeur moyenne de 35 t C/ha par parc agroforestier.

## 4. Discussions

### 4.1 Importance des parcs agroforestiers au pays dogon

La spécificité du pays dogon est la dominance des parcs agroforestiers qui occupent 89% de la superficie totale des territoires communaux. Cette tendance confirme les résultats des travaux de PIRL,1988 sur le Ms système agroforestiers au Mali. L’agriculture est la principale activité économique qui concerne toute la population du pays dogon comme signalé par Djimdé, 1990 dans les zones agro-écologiques du Haut Plateau Dogon, du Seno et du Gondo. Il n’y’a pratiquement pas de jachère dans ces parcs agroforestiers à cause de la démographique galopante qui exercent une forte pression sur les terres agricoles et cela confirme aussi les résultats des travaux de Yossi, 1996 ; Yossi et al, 2000 ; Karembé, 2001 dans la zone soudanienne.

#### **4.2 Composition et richesse floristiques des parcs agroforestiers au pays dogon**

Au pays dogon, la richesse floristique des parcs agroforestiers varie de 11 à 13 espèces dans la commune de Kendé, de 8 à 11 espèces dans la commune de Bamba et de 3 à 4 espèces dans la commune de Dangol-Boré. C'est seulement la richesse floristique des parcs agroforestiers de la commune de Kendé qui se situe dans la fourchette de 11 à 40 espèces des résultats d'étude de Yossi, 1996 pour les champs dans le Mali-sud. Les parcs agroforestiers ont une richesse floristique inférieure à celle de Yossi, 1996. Toutefois, il faudra signaler que les parcs des zones inondables de la commune de Bamba ont une richesse floristique de 11 espèces qui se situe dans la fourchette des résultats d'étude de Yossi, 1996 pour les champs dans le Mali-sud.

#### **4.3 Densité des ligneux dans les parcs agroforestiers du pays dogon**

La densité moyenne des arbres et arbustes varie de 52 à 65 pieds/ha qui se situe dans la fourchette de 20 à 100 pieds/ha selon les espèces de la note de cours de Timbély, 1994 et légèrement supérieure au seuil de 50 arbres/ha du PAC en France (AFA, 2012).

La densité moyenne des régénérations naturelles varie de 92 à 183 pieds/ha qui se situe dans la fourchette de 90 à 236 pieds/ha selon les types de parcs agroforestiers de la zone semi-aride du Mali (Cissé, 1995).

Par rapport aux strates ligneuses, toutes espèces confondues, la densité moyenne des ligneux par parc agroforestier est de 60 pieds/ha pour les arbres et arbustes et 144 pieds/ha pour les régénérations naturelles. L'indice de régénération (IR) est de 2,9 ( $IR > 1$ ) et cela correspond au troisième niveau défini par Ouodiouma SAMAKE et al ; 2011 concernant la stratégie de gestion de la régénération dans les champs. Ce niveau détermine que les parcs agroforestiers du pays dogon sont en pleine expansion, dans lequel les arbres des différentes classes d'âge (recrûs, gaulis, jeunes et adultes) sont en équilibre mais l'effort doit être consenti sur la conduite des régénérations naturelles assistées.

#### **4.4 Carbone séquestré par les parcs agroforestiers du pays dogon**

Globalement, la quantité totale de carbone séquestré par type de parcs agroforestier varie entre 17, 51 t C/ha et 51, 95 t C / ha qui se situent dans la fourchette de 12 à 228 t C/ha estimée par ALBRECHT et KANDJI, 2003 concernant la capacité de stockage du carbone d'un système agroforestier en zone tropicale. La quantité moyenne de carbone séquestré par parc agroforestier est de 35 t C/ha. Cette valeur ne représente que 37% de la valeur moyenne de 95 t C/ha estimé par ALBRECHT et KANDJI, 2003 concernant la capacité de stockage du carbone d'un système agroforestier en zone tropicale. Les parcs agroforestiers sont des mesures effectives et économiques de réduction des émissions de gaz à effet de serre par le captage et le stockage du carbone (HAMON et al, 2009) et contribuent à l'augmentation des énergies renouvelables (METRAL et al, 2005).

### **Conclusion**

La production agricole est le principal levier de développement du pays dogon. Sur une superficie totale de 308542 ha du terroir de nos trois communes d'études, les champs de culture mil et sorgho associés au niébé, fonio et arachide) adoptés en parcs agroforestiers représentent 89% soit 273833 ha. Pour une exploitation durable de ces terres, les paysans ont adopté plusieurs techniques de protection et de conservation des eaux et sols notamment les cordons pierreux, les Zai et demi-lunes et la conduite des régénérations naturelles assistées. Les unités cartographiques rencontrées dans les zones agro-écologiques contrastées (Plateau, seno et zone inondable) du pays dogon sont : les plaines - sablo-limoneuses, les plaines inondables, les rocheux, les savanes arbustives et les plans d'eau. Les unités s exploitée sont caractérisées par trois

types de parcs agroforestiers, à savoir : les parcs sablo-limoneux à cultures exclusivement sèches, les parcs inondables ou galerie à cultures sèches et ou irriguées et les parcs rocheux aussi à cultures exclusivement sèches. Ces parcs agroforestiers en plus des cultures disposent un potentiel important de ligneux en compensation à la disparition des formations naturelles forestières. Les principales espèces ligneuses agroforestières les plus fréquentes sont : *Balanites aegyptiaca*, *Combretum spp*, *Acacia raddiana*, *Piliostigma reticulata*, *Lannea microcarpa*, *Tamarindus indica*, *Guiera Senegalensis*, *Acacia albida*, *Borassus aethiopicum*, *Boscia senegalensis*, *Sclerocarya birrea*, *Adansonia digitata* et *Anogeissus leiocarpus*. On observe trois niveaux de ligneux qui sont les arbres, les arbustes et les régénérations naturelles..Avec un indice de régénération naturelle de 2,1, les parcs agroforestiers du pays dogon sont en expansion. Le potentiel ligneux est disponible pour assurer la relève à condition que les populations appliquent rigoureusement les techniques de régénérations naturelles assistées adaptées aux changements climatiques. Les parcs agroforestiers disposent des ligneux et des sols qui contribuent aussi à la réduction des émissions de gaz à effet de serre à travers une séquestration de carbone de 35 t C/ha par parc agroforestier.

## Références

- Albrecht A, Kandji S.T, 2003.** - Carbon séquestration in tropical agroforestry Systems. Agriculture, Ecosystems and Environment. 99 : 15-27 p.
- AFA**, juillet 2012, Agroforesterie du global au local, 4<sup>ème</sup> édition des journées nationales «arbres champêtres et agriculture» au cœur du festival jazz in marciac. France. 6 p.
- Cissé M. I., 1995.** Les Parcs Agroforestiers du Mali. Etat des Connaissances et Perspectives pour leur Amélioration. Rapport de Consultation, AFRENA/ICRAF, Nairobi, Kenya.
- Dossa A. F. E, 2010.** - ONG Initiative pour un développement Intégré et Durable (IDID) Benin, Porto-Novo, document de projet « identification et classification des espèces utilisées en agroforesterie ayant un potentiel élevé en séquestration de carbone et appropriés aux différents sols du Benin ». IDID ONG Bénin-Porto Novo. 45 p.
- Djimé M. (éd.), 1990.** Potentialités agroforestières dans les Systèmes d'Utilisation des terres de la Zone Semi-aride du Mali. Rapport des Réseaux Africains de Recherche Agroforestière (AFRENA) et du Centre International de Recherche en Agroforesterie (ICRAF), n° 22.
- Karembé M., Dembélé F., Maïga M., et Lahbib M., 2009.** – Etude de la dynamique de la désertification sur le tronçon Tombouctou-Gao (Mali). Rapport Technique Chaire Unesco pour l'Environnement. ISFRA/UB, Mali, 39p
- Karembé, M., 2001.** Production végétale et utilisation des ressources pastorales des jachères en zone soudanienne au Mali. Mém. Thèse de doctorat, ISFRA, Univ. du Mali, 159p+annexes
- Metral ; al, 2005.** Bilan économique et environnemental des projets existants, Bilans eau, azote et carbone en parcelles agroforestières. 54 p
- MONBIOT (G), 2009.** Climat : Ne pas baisser les bras, Courrier International, Hors série, Londres.

**ONDO OKAMA (P.M), MBOW (C), 2009.** CarboAfrica NewsLetter N°. 8, *spécial Issue* ; Contribution du parc agroforestier à *Faidherbia albida* (Del.) A.Chev. de la communauté rurale de Touba Toul au Sénégal à la séquestration du carbone et à l'adaptation aux changements climatiques. Université Cheikh Anta Diop de Dakar au Sénégal. 8 p.

**Ouodiouma Samaké, Joseph Marie Dakouo, Antoine Kalinganire, Jules Bayala et Bréhima Koné. 2011.** Régénération naturelle assistée – Gestion des arbres champêtres au Sahel. ICRAF Technical Manual No. 16. Nairobi: World Agroforestry Centre, 29p

**PNUD.,2011.** Human Development Report 2011 Sustainability and Equity, A Better Future for All

**PNUD., 2015 :** Document projet du Programme d'Appui aux Changements Climatiques dans les Communes de Mopti et Tombouctou

**PACV-MT., 2018 :** Rapport final dynamique d'occupation des terres dans les communes d'intervention, 39 P.

**PIRL, 1988.** Les Formations Végétales. Rapport de Synthèse, première phase, Direction Nationale des Eaux et Forêts, Bamako/SCET-AGRI-CTFT (CIRAD). Glossaire et Annexes.

**PIRT., 1986 :** Zonage agro-écologique du Mali. Tome I, Institut National de Recherche Zootechnique, Forestière et Hydro-biologique, Sotuba-Mali, 190 p.

**RGPH, 2009 :** Recensement général de la population et de l'habitat, Rapport provisoire, Mali.

**Senou O., Bagnoud N., 1998.** - Etude de la structure et de la dynamique des parcs à karité et néré en zone Mali-Sud. Programme Ressources forestières/Centre régional de la recherche agronomique. IER, Sikasso. Mali. 28 p.

**Timbély D., Mounkoro B., Samaké O., Diarra D., et Kaya B., 1994.** Techniques Installation et Gestion des Technologies Agroforestières. Notes de Cours à l'intention des agents techniques des services partenaires, Coordination Nationale IER-ICRAF, Ségou, Mali.

**Winrock international, 2005.-** Guide de mesure et de suivi de carbone dans les forêts et prairies herbeuses. 1621N. Kent St. Suite 1200 Arlington, BA22209, USA.

**YELEMOU (B.), YAMEOGO (G.), BARRO (A.), TAONDA (S.J.), HIEN(V). ?** 2013, Tropicultura, 31, 3, 154-162 Articles originaux sur la production de sorgho dans un parc à *Piliostigma reticulatum* en zone nord-soudanienne du Burkina Faso. 9 p.

**YOSSI (H), KOUYATE (A .M), 2001.** Mali-FAO, Arbres hors forêt : cas du Mali. Programme des ressources forestières, Institut d'économie rurale. Bamako. 92 p.

**Yossi, H., 1999.** Le réseau de recherche agroforestière pour les basses terres semi-arides de l'Afrique de l'Ouest. Bilan de dix ans d'expériences au Mali. IER, Sotuba, Mali, 33 p.

**Yossi, H., 1996.** Dynamique de la végétation post-culturelle en zone soudanienne au Mali. Thèse Doct. Option Population-Environnement, ISFRA, Bamako, Mali, 141 p.