

SIGLES ET ABREVIATIONS

BA : Biomasse Aérienne

C : Carbone

CAREX : Unité de Recherche : Changements Climatiques Adaptations et Risques Environnementaux

CC : Changements Climatiques

CCNUCC : Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques

CSE. : Centre de Suivi Ecologique.

DL: Densité Ligneuse

ESRI: Environmental Systems Research Institute

ETM: Enhanced Thematic Mapper

DBH : Diamètre à Hauteur de Poitrine (**DHP**)

DEEC : Direction de l'Environnement et des Etablissements Classés

DHE : Diamètre du Houppier Extrait

FAO: Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation.

GES : Gaz à Effet de Serre

GIEC : Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat.

GPS : Global Positioning System

ICRAF : Centre International pour la Recherche en Agroforesterie

IRD: Institut de Recherche pour le Développement en Coopération (ex-Orstom).

ISE : Institut des Sciences de l'Environnement

LERG : Laboratoire d'Enseignement et de Recherche en Géomatique

MSS: Multi Spectral Scanner

PAPIL : Projet d'Appui à la Petite Irrigation Locale

PASA: Projet Anacardier Sénégal-Allemand

RGB: Red, Green, Blue

SIG : Système d'Information Géographique

TM : Thematic Mapper

UCAD : Université Cheikh Anta Diop de Dakar

UICN : Union Internationale pour la Conservation de la Nature.

UREN: Unité de Recherche

UTM : Universal Transverse Mercator

WGS: World Geodetic System

LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

Liste des figures

Figure 1 : Différentes étapes de la méthodologie générale appliquée.....	6
Figure 2: Matériels d'inventaire (Presse, ruban, GPS, Vertex III, Canne métallique, coupe-coupe...)..	8
Figure 3: Mesure du DBH à 1.30 m (canne et ruban), la hauteur avec le vertex III et du diamètre du houppier (ruban).....	10
Figure 4 : Organisation des grappes.....	12
Figure 5 : Méthode de collecte et de traitement des données.....	13
Figure 6 : carte de la situation géographique de Keur Samba Gueye.....	15
Figure 7 : Evolution de la pluviosité de la zone d'études.....	16
Figure 8 : Maraichage dans les rebords de la vallée du Djikoye.....	18
Figure 9: <i>Cordyla pinnata</i>	21
Figure 10: Parc agroforestier de Keur Samba Gueye.....	23
Figure 11: Courbes de réflectance significative de différents milieux.....	26
Figure 12 : Etat de l'occupation du sol en 1999.....	Erreur ! Signet non défini.
Figure 13 : Occupation du sol de Keur Samba Gueye en 1999.....	28
Figure 14 : Etat de l'occupation du sol 2011.....	28
Figure 15 : Occupation du sol en 2011.....	29
Figure 16: changements d'occupation du sol de 1999 à 2011.....	31
Figure 17 : Evolution des classes d'occupation du sol entre 1999 et 2011.....	32
Figure 18 : Dynamique des changements d'occupation du sol de 1999 à 2011.....	33
Figure 19 : Modèle d'estimation du carbone de la biomasse aérienne.....	36
Figure 20 : Distribution des espèces inventoriées dans chaque village.....	Erreur ! Signet non défini.
Figure 21: Distribution spatiale de l'espèce dans le parc.....	38
Figure 22: Nombre d'individus de <i>Cordyla</i> en fonction de l'utilisation du sol.....	39
Figure 23: Différentes formes d'houppier dans une plantation d'anacardes.....	40
Figure 24: Plantation d'anacardiens.....	41
Figure 25: Processus d'extraction du diamètre du houppier.....	43
Figure 26: Courbes d'évolution du diamètre du houppier et de la biomasse aérienne.....	44
Figure 27: Nuage de points de la BA en fonction du diamètre houppier mesuré.....	45
Figure 28: Nuage de points de la BA en fonction du diamètre houppier extrait.....	45
Figure 29: Courbes des intervalles(IC) de confiance aux tours d'un un modèle cubique (trait jaune, trait noir) ajustés aux données de 67 arbres (points) mesurés à Keur Samba Gueye.....	45

Liste des tableaux

Tableau 1 1 : Matériels et outils de collecte.....	8
Tableau 2 : Enquête 2012 C. S. FAYE.....	17
Tableau 3: Caractéristiques dendrométriques (moyenne) des parcs étudiés.....	22
Tableau 4: Evolution des classes d'occupation du sol.....	30
Tableau 5 : Matrice des changements d'occupation du sol.....	31
Tableau 6: Productions d'anacardier par région.....	33
Tableau 7: Quelques indicateurs de suivi des parcs agro forestiers.....	34
Tableau 8: Taux de biomasse aérien.....	36
Tableau 9: Indices de distribution.....	37
Tableau 10: Types d'analyse statistique.....	46
Tableau 11: Paramètres d'hypotèses.....	47
Tableau 12: Résultat d'analyse des modèles testés.....	48
Tableau 13: Comparaison des résultats obtenus.....	49

TABLE DES MATIERES

Dédicaces.....	ii
Résumé.....	iii
Remerciements.....	v
SIGLES ET ABREVIATIONS.....	vi
LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX	vii
GLOSSAIRE	3
INTRODUCTION	2
Chap. 1 : CADRE THEORIQUE DE L'ETUDE.....	3
I. Contexte et justification	3
I.1 Contexte.....	3
I.2 Justification.....	3
II. PROBLEMATIQUE ET HYPOTHESES DE RECHERCHE.....	4
II.1 Objectifs de l'étude	4
II.2 Hypothèses de recherche	5
III. APPRACOHE METHODOLOGIQUE	5
III.1 La recherche documentaire	6
III.2 L'observation directe	7
III.3 Inventaire de données biophysiques	7
III.3.1 Choix et critères de sélection des.....	7
III.4 ENQUETES SOCIO-ECONOMIQUES	10
III.4.1 L'enquête qualitative	10
III.4.2 Echantillonnage par grappes.....	11
III.4.3 L'enquête par questionnaire.....	12
III.5 TRAITEMENT DES DONNEES COLLECTEES.....	12
III.5.1 Les données biophysiques et socioéconomiques	12
III.5.2 Les images satellitaires	12
CHAP 2: PRESENTATION GENERALE DE LA COMMUNAUTE RURALE.....	15
I. CADRE BIOPHYSIQUE.....	15
I.1 Situation géographique	15
I.2 Climat	15
I.3 Pluviométrie.....	16
I.4 Relief et sols	16
I.5 Les ressources en eau	17
I.6 Végétation et faune.....	17
I.2 Le milieu humain et la structure socio-économique.....	17
II. LES PARC AGROFORESTIESTIERS	19

II.1 Définition de quelques concepts	19
CHAP 3 : ANALYSE DE LA DYNAMIQUE DE LOCCUPATION DU SOL.....	24
I. ANALYSE DIACHRONIQUE DE L'OCCUPATION DU SOL	24
I.1 Définition de l'occupation du sol	24
I.2 Méthode de classification.....	24
I.2.1 Classification supervisée	25
I.2.2 Identification de catégories d'occupation du sol	25
I. ETAT DE L'OCCUPATION DU SOL A KEUR SAMBA GUEYE	27
II.1 Situation en 1999.....	27
II.2 Situation en 2011.....	28
III. DYNAMIQUE DE L'OCCUPATION DU SOL DE 1999 à 2011	29
III.1 Matrice de l'évolution des classes d'occupation du sol.....	29
III.2 Matrice des changements d'occupation du sol	30
III.3 Les modifications entre 1999 et 2011	32
III.4 Les conversions entre 1999 et 2011	32
CHAP. 4 : PARAMETRES ET OUTILS DE SUIVI DES PARCS AGROFORESTIERS	34
I. QUELQUES PARAMETRES DE SUIVI DES PARCS.....	34
I.1 Définition d'un indicateur	34
I.2 Etat de la régénération.....	34
I.3 Taux de biomasse aérienne : TB	36
I.4 Distribution spatiale de l'espèce prédominante du parc.....	36
II. MODELISATION DE LA BIOMASSE AERIENNE	39
II.1 Modélisation?.....	39
II.2 Extraction des houppiers à partir d'une image de haute résolution	39
II.2.1 Définition	39
II.2.2 Description structurelle du houppier	40
II.4 Extraction des paramètres du houppier	41
III. GENERALITES SUR LE MODELE	43
III.1 Paramètres du modèle	44
III.2 Diagramme de dispersion et tendance de la Biomasse Aérienne.....	44
III.3 Position du problème et approche statistique.....	45
III.4 L'analyse par régression	47
Discussions de l'étude	49
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES.....	50
BIBLIOGRAPHIE.....	51
ANNEXES.....	53

GLOSSAIRE

Biomasse : La biomasse d'un arbre signifie le poids ou la masse de son tissu vivant de la plante. Elle est généralement exprimée en unités de tonnes métriques (t). Une biomasse vivante peut être séparée en composantes aérienne (feuilles, branches et tiges) et en sous-sol (racines). Cette étude s'intéresse à la composante aérienne.

Carbone : est l'un des éléments chimiques les plus abondants sur Terre. Présent dans tous les êtres vivants, il est noté par le symbole C et se trouve dans le dioxyde de carbone (CO₂) et du méthane qui sont des gaz à effet de serre.

Individus ligneux : arbres vivants ou non, ayant un diamètre à 1,5 m supérieur ou égal à 5 cm et une taille (hauteur) supérieure ou égale 1,5 m.

Modification : est considérée comme étant les changements intervenus à l'intérieur d'une même catégorie d'occupation du sol comme par exemple forêt dense qui devient forêt claire ou bien savane boisée qui devient savane arbustive à arborée.

Conversion : se définit par le passage d'une catégorie d'occupation du sol à une autre comme par exemple mangrove devient tanne ou bien savane arbustive à arborée qui devient zone de culture.

Stabilité : se rapporte à l'ensemble des classes qui sont restées dans la même classe entre les deux dates de l'étude, c'est-à-dire n'ayant été ni affecté par les modifications, ni par les conversions

INTRODUCTION

Etudier l'occupation du sol et les stocks de carbone de certaines essences forestières, c'est s'intéresser à l'organisation de l'espace et surtout envisager des actions d'atténuation des gaz à effet de serre (GES).

L'occupation du sol est une variable fondamentale pour la planification régionale ainsi que pour l'étude et la compréhension de l'environnement (Foody, 2002 cité par SARR, 2009). La modélisation de la biomasse aérienne devient ainsi incontournable pour le suivi des formations végétales.

Au Sénégal, la diminution du couvert végétal ne concerne pas seulement les formations forestières, elle touche également les formations de savanes, de parcs arborés, etc. Au niveau du bassin arachidier dominé par l'agriculture vivrière notamment l'arachide, la perte de certaines espèces ligneuses corollaire d'une diminution des stocks de carbone est inquiétante. Afin d'appréhender la dynamique spatio-temporelle des parcs agro forestiers à *Cordyla pinnata* (Lepr. ex A.Rich.) Milne-Redh, cette étude a été entreprise sur deux terroirs villageois (Keur Samba GUEYE et Santhie Rame) de la communauté rurale de Keur Samba GUEYE situés entre les latitudes 13°44 Nord et 13°35 Ouest nord et les longitudes 16°11' Est et 16°17 Ouest dans le département de Foundiougne, région de Fatick.

Elle utilise des images satellitaires (Landsat et Quickbird) pour le suivi de ces espaces et l'extraction de paramètres des houppiers pour estimer la biomasse aérienne. Cette analyse diachronique basée sur des images de 1999 et 2011 a été facilitée par les données recueillies sur le terrain. En effet, la procédure la plus efficace pour mesurer le degré de changement de l'environnement est l'étude multi-date de la couverture végétale (Lambin et al. 2001 ; Vågen, 2006).

C'est pourquoi, dans ce travail, nous proposons d'évaluer le changement récent de l'occupation du sol dans la communauté rurale de Keur Samba Guèye à partir de l'analyse d'images Landsat ETM et ETM+ et d'extraction des paramètres devant servir au modèle d'estimation de la quantité de carbone aérien à partir d'une image Quickbird.

Cette étude est structurée en quatre chapitres : le cadre général de l'étude, une présentation générale de la communauté rurale, une analyse diachronique de l'occupation du sol et la modélisation du carbone de la biomasse aérienne.

Chap. 1 : CADRE THEORIQUE DE L'ETUDE

I. Contexte et justification

I.1 Contexte

Dans les régions semi-arides de l'Afrique de l'Ouest, les agriculteurs mettent en œuvre depuis des générations un système traditionnel d'utilisation du sol connu sous le nom de « parcs agro forestiers ». Il se caractérise par le maintien délibéré d'arbres disséminés sur les terres ou les jachères récentes (Raison, 1988). Le recours à ce système de production permettait d'obtenir, en plus des produits agricoles, des produits forestiers comestibles, du bois d'œuvre et de construction, du bois d'énergie, du fourrage, des produits médicinaux, etc. Ces systèmes de production contribuent également à la conservation des sols et des eaux et à la protection de l'environnement (Sène, 1994). Aujourd'hui, il apparaît que les parcs agro forestiers jouent un rôle important dans la séquestration du carbone (CCNUCC, 2009).

A l'échelle de l'Afrique de l'Ouest et même dans beaucoup de pays du Sahel, l'agroforesterie constitue une thématique largement étudiée mais la documentation sur la dynamique spatiale des parcs à *Cordyla pinnata* (Lepr. ex A.Rich.) Milne-Redh. reste peu fournie. Et pourtant, le phénomène reste et demeure d'actualité. Mieux, il fait partie intégrante de l'agriculture sénégalaise notamment dans le bassin arachidier.

Aujourd'hui, on assiste à une dégradation progressive et sensible de ces systèmes de production agricole, qui induit une baisse constante des rendements agricoles (Niang, 1990). En particulier, les parcs agro forestiers à *Cordyla pinnata* (Lepr. ex A.Rich.) Milne-Redh connaissent une dégradation assez marquée par une exploitation incontrôlée de cette espèce.

I.2 Justification

Traditionnellement effectué depuis le sol par la mesure de certains paramètres des arbres, l'inventaire forestier permet, entre autres, le suivi de certaines formations végétales, notamment dans les parcs agro forestiers.

Aujourd'hui, certaines difficultés sont rencontrées. En effet, de nombreux pays notamment les moins développés ne possèdent pas assez de ressources humaines, financières ou techniques pour l'évaluation des stocks de carbone des espèces ligneuses. Aussi, la diversité des méthodes d'évaluation à des intervalles de temps de surveillance peut conduire à des résultats imprécis.

La mesure de la biomasse, qui peut être convertie en carbone emmagasiné par un individu ligneux, nécessite de peser la quantité de matière végétale sèche. Des techniques destructives appliquées à un petit nombre d'arbres (coupe, séchage, pesée) sont utilisées pour construire des équations allométriques à partir des variables mesurées lors des inventaires forestiers (DBH, hauteurs,...). Ces relations sont ensuite utilisées pour déduire la biomasse à partir de mesures effectuées sur d'autres arbres. Cette méthode s'avère plus précise si l'échantillon est adéquat, mais elle est très coûteuse en temps et en main d'œuvre (Robert Nassi et *al* ; 2008). Aujourd'hui, l'absence d'un outil performant et fiable utilisant les nouvelles technologies telles que la télédétection, les SIG, etc. limite le suivi de ces systèmes de production. Faire appel aux technologies spatiales prend ici tout son sens, puisqu'elles permettent de gagner en temps et en coût. Cette étude vise après une analyse de l'occupation du sol, à utiliser les techniques de la géomatique et de la statistique pour établir une corrélation fiable entre la biomasse et le diamètre des houppiers segmentés, des individus ligneux prédominants d'un parc agro forestier à *Cordyla pinnata*.

II. PROBLEMATIQUE ET HYPOTHESES DE RECHERCHE

II.1 Objectifs de l'étude

Depuis quelques années, différents travaux d'inventaires forestiers ont été conduits pour développer des modèles allométriques. Ces modèles permettent d'estimer la quantité de carbone séquestrée par certains individus ligneux pour le suivi de certaines formations. L'objectif de cette étude est d'étendre la recherche aux nouvelles technologies de l'information et de la communication par une analyse spatiale de l'occupation du sol et une modélisation de la biomasse aérienne des individus de *Cordyla pinnata* avec des images de haute résolution.

Cet objectif général est tributaire de trois objectifs spécifiques :

- ❖ Identifier des paramètres fiables pour le suivi des parcs agro forestiers
- ❖ Procéder à l'analyse de l'utilisation du sol
- ❖ Modéliser la biomasse aérienne séquestrée par les individus ligneux

Cette étude permettra de comprendre les changements d'occupation du sol au niveau de la communauté rurale de Keur Samba Guèye, de disposer d'indicateurs de suivi mais aussi d'un outil d'aide à l'estimation des stocks du carbone aérien des parcs agro forestiers.

Cette compréhension va servir d'une part, à un aménagement des arbres hors forêt, de conserver la biodiversité et, d'autre part à procéder au suivi des potentialités du parc en matière de séquestration du carbone. Tout ceci dans le but d'améliorer le bien être de la population.

II.2 Hypothèses de recherche

L'objectif général de ce travail est d'effectuer l'analyse spatiale et de modéliser les stocks de carbone dans les parcs agroforestiers. Il s'agit dans un contexte de dégradation du couvert végétal dans certaines régions d'aider les décideurs à disposer d'un outil adapté pour l'estimation du carbone. La problématique découlant de cet objectif peut être formalisée de la façon suivante : Quels sont les changements d'occupation du sol et les outils nécessaires pour apprécier les stocks de carbone ? Ces interrogations peuvent s'articuler autour de trois axes.

Il convient tout d'abord de définir un cadre conceptuel pour modéliser l'organisation spatiale des objets se trouvant sur la terre. Il induit ensuite l'identification de paramètres déterminants pour le suivi de l'espace rural, notamment agricole mais aussi des formations végétales qui s'y trouvent. Enfin, il nous faudra élaborer un modèle d'estimation du carbone aérien séquestré par les individus ligneux.

Cette problématique amène à la formulation de deux hypothèses de recherche :

- ❖ les parcs agro forestiers à *Cordyla pinnata* (Lepr. ex A.Rich.) sont dégradés.
- ❖ Il est possible de déterminer le carbone séquestré à partir de paramètres extraits de l'image haute résolution.

Pour tester ces hypothèses et répondre à la problématique, deux choix ont été effectués. Celui de travailler à la fois sur des données d'inventaires, des données socio-économiques et des images satellitaires pour appréhender la dynamique de l'occupation du sol entre 1999 et 2011 et recueillir la perception des populations.

Le deuxième choix est l'utilisation d'image haute résolution (Quickbird) pour la segmentation des houppiers et l'estimation de la biomasse aérienne stockée par chaque individu ligneux.

III. APPROCHE METHODOLOGIQUE

L'obtention des informations caractérisant certaines espèces ligneuses nécessite des mesures en surface et des prises de coordonnées géographiques dans des espaces particuliers. C'est tout le sens de l'inventaire forestier. Mais, l'analyse de ces données en est tout autre. En effet,

elle fait appel à des techniques et outils spécifiques. Ainsi pour conduire notre recherche et répondre à la problématique de cette étude, nous avons mis en place une méthodologie générale que l'on peut résumer sur la figure 1.

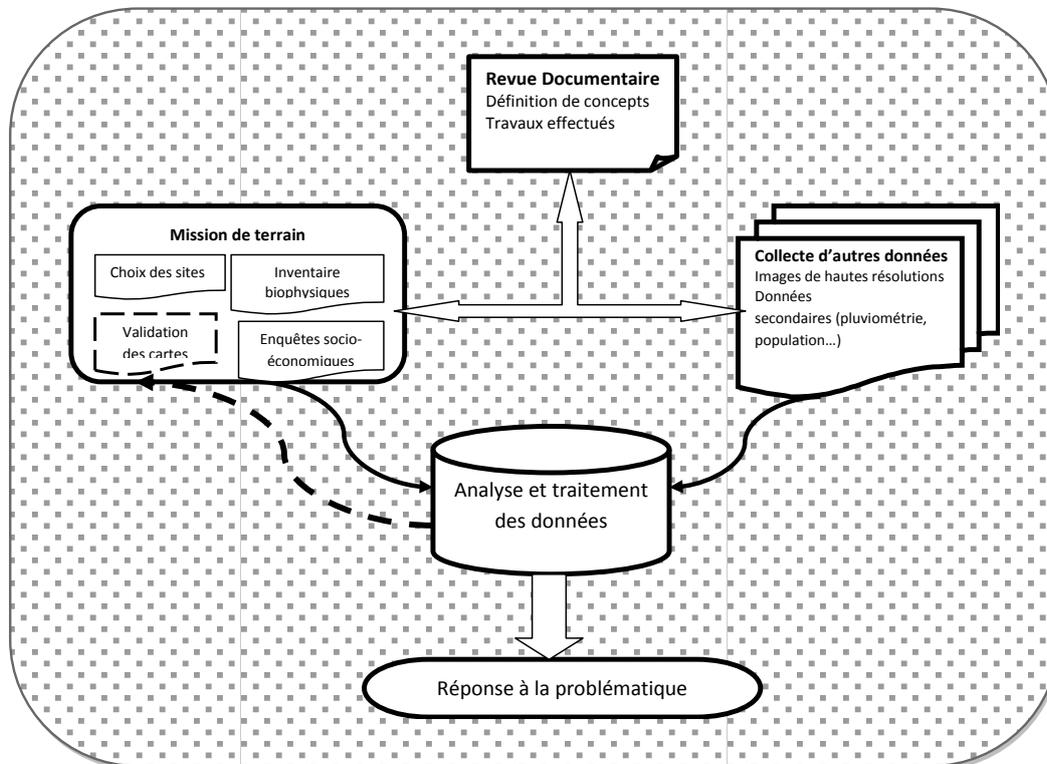


Figure 1 : Différentes étapes de la méthodologie générale appliquée

Pour se faire, quatre outils ont été privilégiés à savoir : la recherche documentaire, l'observation directe, l'inventaire biophysique et les enquêtes socio-économiques.

III.1 La recherche documentaire

La recherche documentaire n'est pas à proprement parler une méthodologie mais elle participe comme une étape essentielle dans toute recherche scientifique. Elle permet en effet de répertorier l'ensemble des études qui ont trait à notre zone d'étude et/ou notre thème de recherche. Le but visé est d'éviter d'une part, de conduire une recherche déjà faite et, d'autre part, de reproduire des méthodes utilisées ailleurs sur des études similaires. Cette recherche documentaire aide enfin à mieux poser la problématique de recherche. L'essentiel des documents utilisés pour appréhender la thématique étudiée provient des bibliothèques universitaires et des instituts de recherche mais aussi d'autres structures connexes.

III.2 L'observation directe

L'observation nous a permis, lors des visites sur le terrain (mission de prospection, inventaire biophysique et enquêtes socio-économiques), de mieux comprendre certaines pratiques culturelles et de lever les biais sur certaines questions posées lors de l'administration du questionnaire. Elle nous a été utile surtout dans l'appréciation des systèmes de culture de chaque village. Elle nous a permis de valider les cartes d'occupation du sol réalisées et constamment confrontées à la réalité du terrain. Elle est aussi source de triangulation avec les résultats fournis par les enquêtes qualitative et quantitative.

III.3 Inventaire de données biophysiques

Les méthodes adoptées ici ont pour but de récolter des données biophysiques sur ces parcs agro forestiers afin de mettre en évidence leur dynamique et les problèmes éventuels qui leur sont liés. La démarche adoptée s'est faite en deux (2) étapes :

- Le choix des sites ;
- la collecte de données biophysiques.

III.3.1 Choix et critères de sélection des villages d'étude

A l'issu d'une visite de prospection effectuée sur plusieurs villages de la communauté rurale de Keur Samba Guèye, le choix des sites a été fait sur la base de facteurs déterminants du milieu et dont la résultante est susceptible de conditionner l'existence d'un système agro forestier dans un endroit donné. Ce choix n'a pas été facile. En effet, compte tenu des spécificités de chaque site, un ensemble de critères a été identifié et nous avons procédé par pondération pour éviter certains biais.

Les critères principaux retenus pour le choix des sites ou villages d'étude sont, entre autres, la présence d'un parc agroforestier à *Cordyla pinnata*, l'aspect de dégradation du parc et la taille des couronnes des arbres. Ainsi notre choix s'est porté sur :

- Santhie Rame (site moins dégradé) et
- Keur Samba Guèye (site dégradé)

III.3.2 Collecte de données biophysiques et matériels utilisés

III.3.2.1 Matériel de collecte et outils de traitement

Compte tenu de la complexité de l'étude, les étapes méthodologiques pour l'analyse de l'occupation, la quantification du carbone et la modélisation de la biomasse aérienne ont pu être définies (tableau 1).

Tableau 1 : Matériels et outils de collecte

	Etapes	Mesures	Classification	Segmentation	Cartographie	Corrélations & autres calculs
Inventaire	Méthode	Destructrice				
		Non destructrice	x			
	Composantes mesurées	DBH	x			x
		Hauteur arbre	x			
		Hauteur 1 ^{ère} branche	x			
Télédétection et SIG	Logiciels outils	Diamètres houppiers	x	x		x
		PPI	x			
	Images satellitaires	ENVI.4.5 & Arc GIS 10.1		x		x
		Vertex III	x			
		GPS				x
Traitement	Equations allométriques locales	Landsat TM et ETM+	x			
		Quickbird		x	x	
Validation (Cartes et modèle)	Terrain & données mesurées	Standards				x
		Logiciels utilisés	Excel			x
		SPSS				x
			x	x	x	x

NB : X = traitement effectué



Figure 2: Matériels d'inventaire (Presse, ruban, GPS, Vertex III, Cannes métalliques, coupe-coupe)

III.3.2.2 Méthode d'inventaire

En ce qui concerne la collecte des données biophysiques, nous avons appliqué la méthode du « Plus Proche Individu ». Elle consiste à partir du pied d'un individu de *Cordyla pinnata* choisi au hasard, de poursuivre l'inventaire vers le pied le plus proche quelque soit la direction. Cette méthode a l'avantage de permettre de calculer la densité théorique des espèces inventoriées.

Notre méthode de collecte de données biophysiques se décline comme suit :

D'abord pour le choix du premier individu : un point quelconque a été généré dans l'espace couvert par l'image satellitaire. Ensuite, nous avons commencé par l'individu *Cordyla pinnata* le plus proche du point généré. Au niveau de chaque individu, les paramètres suivants ont été notés :

- Type d'occupation du sol (parcelles cultivées ou en jachères, plantations, spéculations agricoles associées ...)
- Les coordonnées géographiques sont relevées avec un GPS Garmin 62 d'une précision de 12 pieds (environ 3 m).

Ensuite, certains paramètres de l'arbre sont mesurés sur chaque espèce. Il s'agit :

- de la hauteur des arbres, mesurée à l'aide d'un VERTEX III dont le transpondeur est fixé toujours à 1,30 m du sol (figure 3 : photos 1, 2 et 3) ;
- du diamètre des couronnes, mesuré à l'aide d'un ruban millimétré afin d'en déduire le diamètre du troc à hauteur de 1,30 m (DBH) ;
- du diamètre des zones d'influence du houppier, relevé avec un ruban millimétré par une projection verticale des limites de la zone d'influence du houppier avec comme:
 - ✓ Grand et petit diamètre dans la zone de Keur Samba Guèye où les arbres sont moins élagués et ont des formes irrégulières (figure 3 : photos 4 et 5) ;
 - ✓ Eléments observés, les plantes parasites, traces de feu, types de sol, agressions anthropiques,...

Enfin, relever les coordonnées des souches et régénérations situées aux alentours du pied inventorié et passer à l'individu suivant en mesurant la distance qui les sépare pour les besoins de calcul de la densité théorique.

La procédure est appliquée dans les différents sites d'étude et l'opération achevée dès qu'on constate que le diamètre des individus inventoriés n'évolue plus et que l'échantillon est statistiquement acceptable (au moins 30 individus).

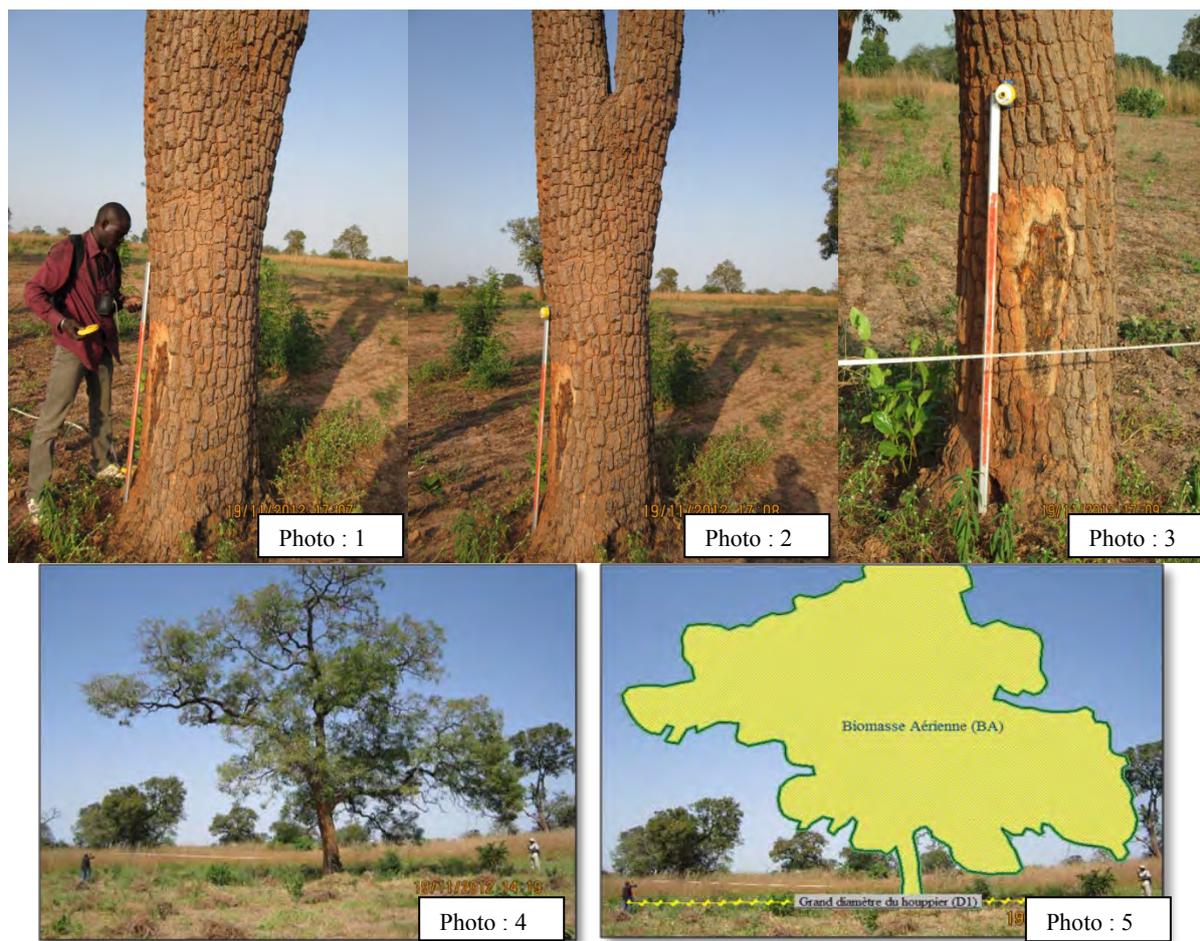


Figure 3: Mesure du DBH à 1.30 m (canne et ruban), la hauteur avec le vertex III et diamètres du houppier (ruban)

III.4 ENQUETES SOCIO-ECONOMIQUES

III.4.1 L'enquête qualitative

L'enquête qualitative a été effectuée essentiellement à travers des entretiens semi-structurés et des *focus group* au cours desquels un guide d'entretien a été administré aux hommes ensuite aux femmes.

Elle a concerné tous les acteurs de la population locale : chefs coutumiers, pasteurs agriculteurs, autorités administratives, chefs des services techniques, autorités locales, etc. Ces entretiens nous ont permis de faire une triangulation avec les informations extraites des images satellitaires et des inventaires. Le choix de ce mode d'investigation repose sur la diversité des informations fournies et aussi la facilité d'interprétation des résultats obtenus.

III.4.2 Echantillonnage par grappes

L'échantillonnage est une procédure aléatoire (généralement probabiliste) ou non aléatoire. Pour l'échantillonnage aléatoire, chaque unité a une probabilité connue d'être choisie. L'échantillonnage par grappes permet de subdiviser une population homogène en grappes (sous-groupes homogènes) et à choisir aléatoirement des grappes et considérer tous les éléments de chaque grappe.

Le but recherché dans cet exercice, est d'avoir un échantillon statistiquement acceptable et suffisamment représentatif pour que les données puissent être extrapolées à la population. C'est ce qui explique le choix porté sur l'échantillonnage par grappes qui offre la possibilité de subdiviser la population en sous groupes mutuellement exclusifs et exhaustifs mais également de sélectionner un échantillon plus représentatif.

Ce faisant, à partir du cahier des rôles qui constitue notre base de sondage, nous avons listé l'ensemble des grappes constitué par l'activité socio-économique, le genre, la religion, l'ethnie,... et réalisé un échantillonnage par grappe à deux degrés après détermination de la taille de l'échantillon, basé sur la détermination de la statistique des 30% (acceptée statistiquement) de notre base de sondage:

- ❖ 1^{er} degré ou unité principale: Activité socio-économique, nous avons choisi un échantillon de 4 grappes (agriculteurs, éleveurs, tradipraticiens, autres exploitants).
- ❖ 2^{ème} degré : le sexe, nous avons réalisé une enquête dans chacune des 2 grappes (hommes et femmes) auprès de tous les éléments (dits aussi unités secondaires) : sondage par grappes.

Ensuite, les probabilités proportionnelles à la taille de chaque sous-groupe de l'unité principale sont calculées. Enfin la procédure est réitérée à l'intérieur des sous-groupes du second degré.

L'unité d'observation est le ménage (1 carré = 1 ménage), l'unité enquêtée est le chef (homme ou femme) de ménage ou toute autre personne adulte et capable de fournir avec exactitude les informations recherchées.

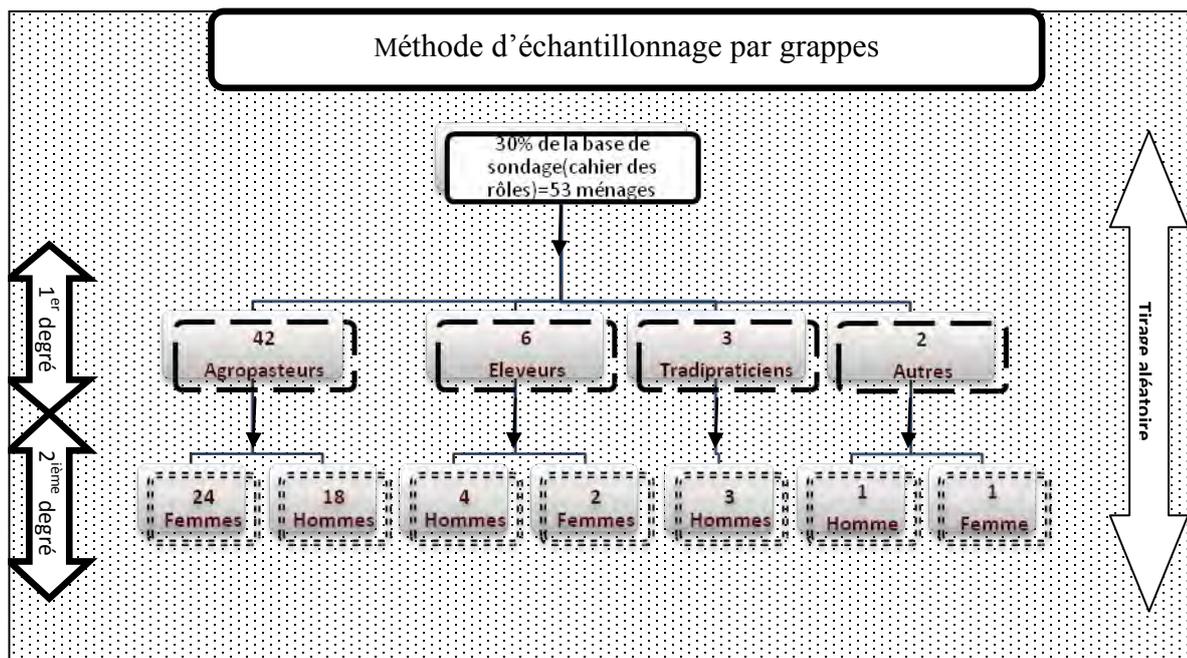


Figure 4 : Organisation des grappes

III.4.3 L'enquête par questionnaire

Notre thème de recherche met en jeu différentes catégories d'acteurs, l'Etat à travers ses services déconcentrés (service des eaux et forêts, de l'agriculture), les exploitants (agriculteurs, éleveurs, tradipraticiens,...). Selon les activités menées, on distingue en majorité des agriculteurs et des éleveurs. Ainsi, pour chaque catégorie d'acteurs, il a été administré un questionnaire. Les questions ont porté surtout sur les spéculations agricoles, la perception de la dynamique du parc, l'évolution des surfaces occupées ou non et les mesures de protection de *Cordyla pinnata* par les agents des eaux et forêts.

III.5 TRAITEMENT DES DONNEES COLLECTEES

III.5.1 Les données biophysiques et socioéconomiques

La définition et la mise au point des techniques et des méthodologies de collecte et de traitement des données biophysiques, et socio-économiques et la production d'un outil fiables d'aide à la décision, requiert des informations souvent capitales. En effet la pertinence d'une technique est liée aux données introduites.

III.5.2 Les images satellitaires

Les images utilisées dans le cadre de ce travail sont de deux types :

- Deux images Landsat de 1999 et 2011 couvrant la zone d'étude ;

➤ Une image Quickbird du 10 novembre 2011, de résolution 2,2 m ;

Ces données ont été obtenues au Laboratoire d'Enseignement et de Recherche en Géomatique (LERG).

La date de prise de ces images est importante. Elle doit coïncider avec une période où les feuilles de ces espèces sont développées pour permettre une différenciation nette des réflectances mais aussi avant le passage des feux de brousse.

Tableau 2 : Caractéristiques des images utilisées

Type d'images	Date de prise	Capteurs	Résolution
Landsat 1999	04/11/1999	Enhanced Thematic Mapper (ETM)	30 x30m
Landsat 2011	13/11/2011	Enhanced Thematic Mapper+ (ETM)	30 x30m
Quickbird	2011	Digital globe	2,2 x2,2 m

Le traitement des images satellitaires a été couplé avec les données collectées lors des missions de terrain et a suivi le processus résumé ci-dessous.

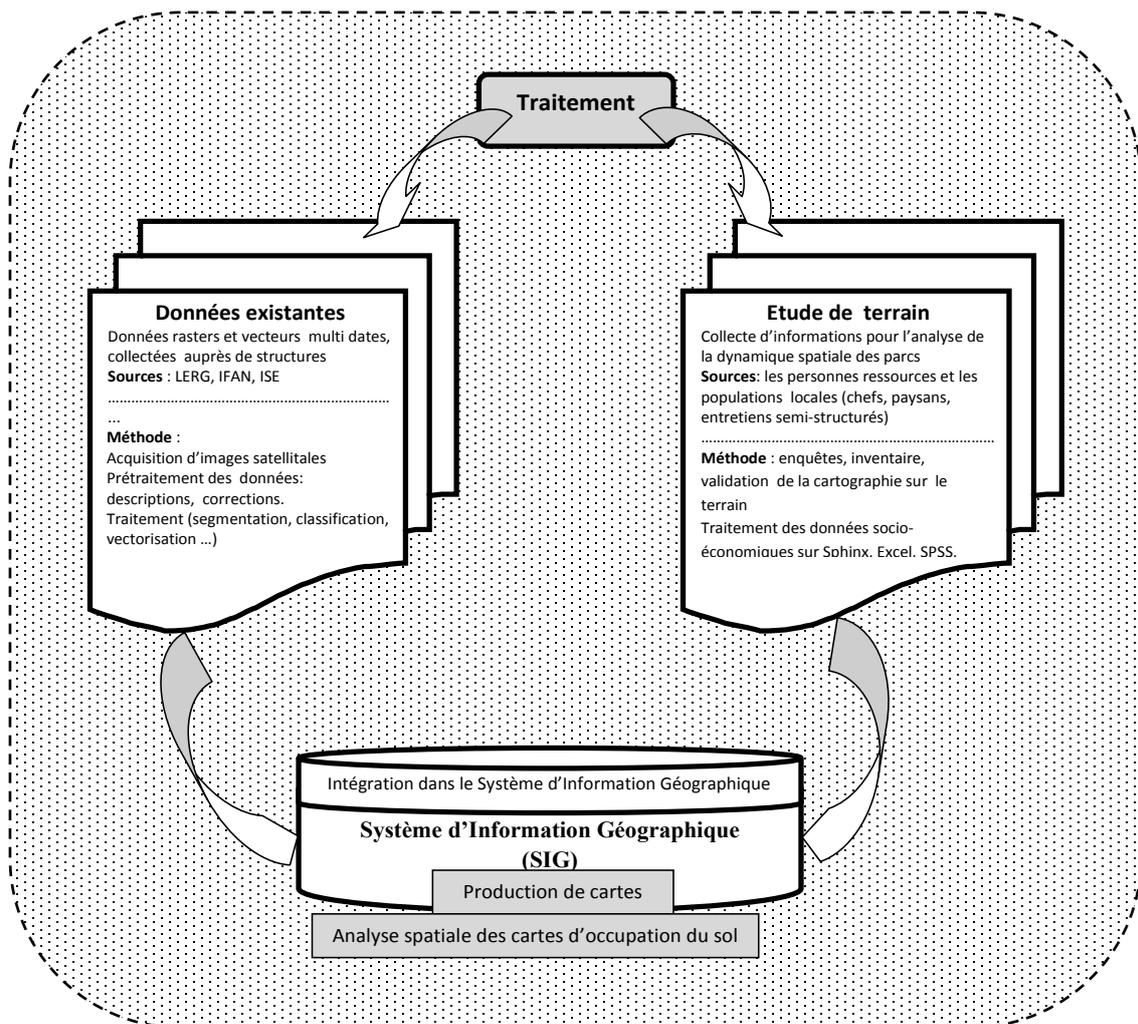


Figure 5 : Méthode de collecte et de traitement des données

Conclusion de la première partie

Dans cette partie, nous avons présenté le cadre logique de l'étude partant du contexte et de la justification jusqu'aux objectifs de recherche. De plus, nous avons abordé la méthodologie générale de l'étude. Il s'agit du choix des sites, des outils de collecte, des techniques d'échantillonnage utilisées dans les enquêtes socio-économiques et de la méthodologie de traitement des données. Elle constitue une partie très importante pour toute démarche scientifique. Elle expose l'ensemble des outils, méthodes et approches utilisés pour réaliser les objectifs fixés.

Dans la partie suivante, nous allons exposer les potentialités biophysiques de la communauté rurale de Keur Samba Guèye.

CHAP 2: PRESENTATION GENERALE DE LA COMMUNAUTE RURALE

I. CADRE BIOPHYSIQUE

I.1 situation géographique

Avec une superficie de 257,53 km², la communauté rurale de Keur Samba Guèye se trouve dans le département de Foundiougne, région de Fatick. Elle est située dans l'arrondissement de Toubacouta, et est limitée :

- à l'est par la communauté rural Keur Saloum Diané,
- à l'ouest par la communauté rurale de Toubacouta,
- au nord par la communauté rurale de Nioro Alassane Tall
- au sud par la République de la Gambie.

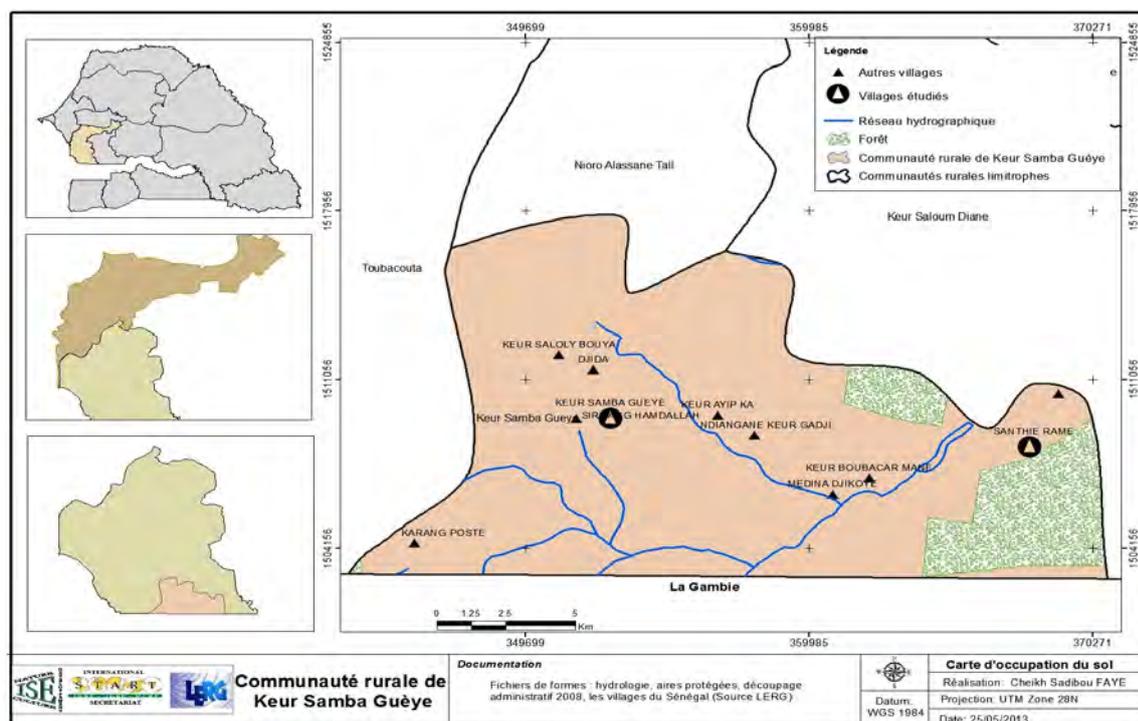


Figure 6 : Carte de localisation de la communauté rurale de Keur Samba Guèye

I.2 Climat

Le climat est de type nord soudanien côtier (SAGNA, 2005) dans cette partie du bassin arachidier et se caractérise par deux saisons inégalement réparties : une saison pluvieuse et une saison sèche. La saison pluvieuse s'étale sur cinq mois (juin à septembre) à Keur Samba Guèye. Au niveau de cette communautés rurale, la saison sèche est caractérisée par :

- Une période froide (mi-décembre à fin février) où des températures assez basses sont enregistrées surtout la nuit.
- Une période chaude allant de mars à juin.

1.3 Pluviométrie

Située dans la zone comprise entre les isohyètes 800 et 1200 mm, la communauté rurale de Keur Samba Guèye a enregistré au cours de ces quinze (15) dernières années une pluviométrie moyenne de 1036,8 mm. Cette pluviométrie assez importante, n'est pas identiquement répartie dans tout le bassin arachidier. En effet, plus on va vers le sud plus elle devient plus forte ; elle est irrégulière et très localisée dans l'espace et dans le temps, mais généralement suffisante pour boucler le cycle des spéculations agricoles cultivées. Le nombre de jours de pluies n'est pas corrélé avec la quantité d'eau tombée. Il est environ de 39 jours en moyenne. Pour l'année 2003 qui a enregistré plus d'eau (1845,9) il n'a plu que 34 jours et 58 jours en 2007 avec seulement 805,3 mm.

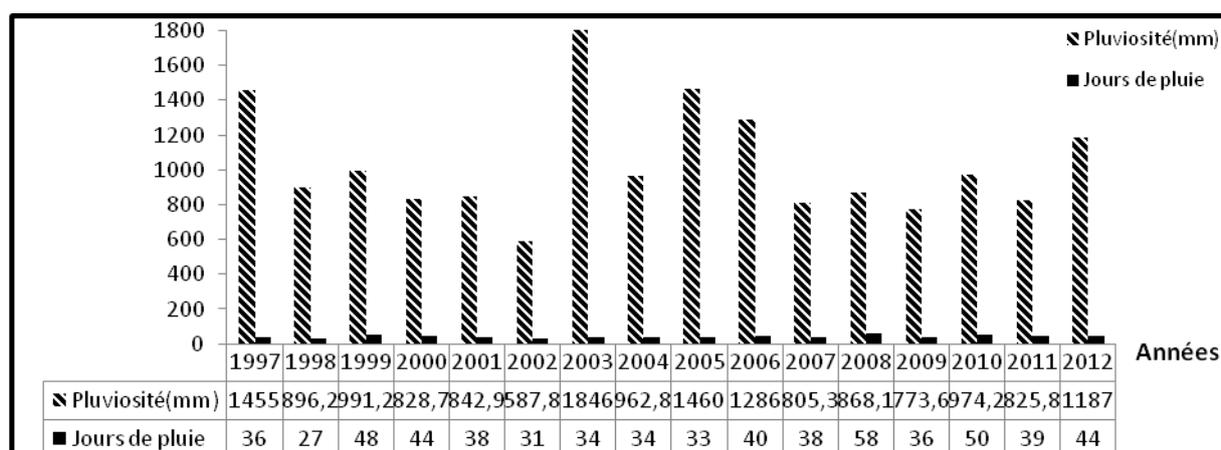


Figure 7 : Evolution de la pluviométrie de la zone d'étude (*Source : Station de Keur Samba Gueye, 2012*)

1.4 Relief et sols

Les sols à vocation agricole sont essentiellement composés de sols Decks et de sols Deck-Diors. Ce sont les principaux sols où l'activité agricole est menée. Ils sont riches en éléments nutritifs occasionnés par les jachères souvent de longue durée, corollaire d'une importante réserve foncière dont les spéculations ont besoin pour de meilleurs rendements. Les spéculations agricoles prédominantes dans la communauté rurale sont: l'arachide, le maïs, le mil. Le niébé, le sorgho et l'oseille sont souvent associés aux champs d'arachide.

1.5 Les ressources en eau

La vallée du Djikoye d'une longueur de 20km constitue le réseau hydrographique de la communauté rurale de Keur Samba Guèye. Ses ramifications s'observent à hauteur de Keur Samba Nosso où l'une d'entre elles se jette dans le fleuve Gambie. Cette vallée permet aux populations de s'adonner aux activités hors saison comme le maraîchage. La nappe est moins profonde (environ 10 m) et est de bonne qualité.

1.6 végétation et faune

La commune rurale de Keur Samba Guèye est située entre la réserve de biosphère de Fathala, le parc national du delta du Saloum, les forêts classées de Patako sud, Patako nord et la forêt classée de Baria. La végétation y est relativement plus dense. Elle est de type savanes arborées et forêts. On retrouve également des formations végétales de vallées le long du Djikoye.

La faune sauvage encore présente dans la communauté rurale est essentiellement constituée de phacochères, de singes, d'hyènes, de chacals, de lièvres, de crocodiles, de varans, de lézards et d'oiseaux tels que les tourterelles et les francolins (PLD, 2007-2012).

1.2 Le milieu humain et la structure socio-économique

1.2.1 La population

La population de la communauté rurale de Keur Samba Guèye s'élève à 30 858 hts soit une densité moyenne de 120 hts/km². Elle est composée principalement de wolof et la religion musulmane reste dominante.

Tableau 3 : Structure sociale de la population des villages étudiés

CR	Villages	Nombre d'habitants	Ethnie dominante	Religion dominante
Keur Samba Gueye	Keur Samba Guèye	1145	Wolof	Musulmane
	Santhie Rame	514	Wolof	Musulmane

Source : Enquêtes de terrain, 2012

I.2.2 Les activités socio-économiques

L'agriculture, l'élevage et l'exploitation des produits forestiers représentent les principales activités socioéconomiques de ces villages. Cependant, il faut noter que le maraîchage est devenu une activité non négligeable à Keur Samba Guèye. Il est favorisé par la vallée du Djikoye.

I.2.1.1 L'agriculture

Elle est effectuée avec des outils traditionnels (hilaire, goppe, etc.). L'agriculture sénégalaise a été modernisée par le président Senghor avec l'introduction de la houe. La rotation des cultures est une pratique commune aux agriculteurs. Les spéculations agricoles telles que l'arachide, le maïs, et le mil sont prédominantes dans la communauté rurale. Cependant dans le village de Santhie Rame le mil est de moins en moins cultivé. En effet, la situation géographique du village entre les forêts de Patako et Baria est source de multiplication des oiseaux et autres insectes qui détruisent le mil avant qu'il ne mûrisse. La jachère se fait uniquement dans la zone sud (Keur Samba Guèye et Santhie Rame). Mais, selon une enquête effectuée sur 30% des ménages de chaque village, plus de 90% des ménages interrogés indiquent que les jachères sont dues à un manque de semences ou d'instruments de culture. Le maraîchage est presque la seule activité pratiquée en saison sèche. Elle se fait sur les bordures de la vallée du Djikoye. Les spéculations sont, entre autres, l'oignon et la salade.



Figure 8 : Maraîchage sur les rebords de la vallée du Djikoye

I.2.1.2 L'élevage

A Keur Samba Guèye, le bétail est relativement important et se trouve dominé par les bovins. Cela est lié en parti à la présence de formations végétales comme les forêts, l'abondance des ressources fourragères constituées par une strate herbacée dans les jachères servant de fourrage aux animaux durant la saison sèche.

II. LES PARC AGROFORESTIESTIERS

II.1 Définition de quelques concepts

II.1.1 Parc

La revue bibliographique établie sur le sujet indique la complexité de définition du concept de parc, souvent mis d'ailleurs entre crochets. C'est ainsi que certains auteurs adoptent pour le définir des critères liés à l'âge, à l'utilisation du sol... Ces mêmes auteurs soutiennent que les « parcs » sont généralement entendus comme des paysages agraires ou des arbres adultes, disséminés dans des espaces cultivés ou des jachères récentes (Sautter, 1969; Pullan, 1974 ; Raison, 1988 ; cités par Boffa, 2000).

Le terme « parc » sera entendu dans cette étude comme s'appliquant à des formations végétales caractérisées par une distribution éparse, volontaire ou non d'arbres à l'intérieur des espaces agricoles de sorte que le couvert arboré ne soit jamais continu.

II.1.2 Agroforesterie

L'agroforesterie est un concept scientifique relativement nouveau qui suscite un intérêt considérable et qui a été diversement défini ; la définition retenue ici est celle tirée du tome 1 du *guide d'aide à la décision agroforesterie*. En effet, elle nous a paru complète, précise et embrassant tous les aspects de l'agroforesterie. Elle se décline de la façon suivante :

« Les différentes formes d'agroforesterie sont :

- Parcelles agricoles plantées d'arbres fruitiers ou fourragers ;
- Pâturages entourés d'arbres produisant du bois de feu ;
- Jardin de cases arborées ;
- Ligne d'arbres brise-vent installée dans les champs secs ou irrigués ;
- Cultures en couloir alternant allées de cultures et haies ligneuses ;
- Jachère arboré ;

- Plantations forestières avec cultures annuelles entre les jeunes plants ;
- Ou pâturage des animaux dans le sous-bois... comptent parmi les formes les plus répandues d'agroforesterie.

Ainsi on parle d'agroforesterie dès qu'il y a association ou combinaison de cultures, de plantes saisonnières et/ou d'animaux avec des arbres ou des plantes ligneuses.

Cependant les interactions entre les cultures et les animaux ne suffisent pas à définir un système agro forestier. Selon Torquebian (1990) la présence de ligneux (lianes, palmiers, bambous...) est indispensable.

L'agroforesterie est donc un ensemble de pratiques et de systèmes de production, caractérisé par l'introduction délibérée d'arbres, suivant des séquences.

Afin de créer des systèmes de production multidimensionnels et stables, assurant la protection des systèmes entretenant la vie, en particulier, le maintien, voire l'amélioration totale (agricole, animale, forestière, énergétique) maximale pour le bénéfice de la collectivité concernée et dans le cadre du développement rural intégré ».

Le terme d'« agro forêt » ou « domaine agro forestier » désigne l'ensemble de l'espace occupé par les « systèmes agro forestiers » (G.MICHON, 1985 et F. MARY, 1987).

II.1.2 Parc agro forestier

B. Mallet (2004) définit les parcs agro forestiers comme des associations permanentes entre arbres et cultures que l'on trouve sur plusieurs dizaines de millions d'hectares dans toute l'Afrique sèche, du Sénégal au Kenya. Ces parcs agro forestiers peuvent ainsi associer une ou plusieurs espèces arborées (karité, néré, baobab, ...) à une ou plusieurs cultures vivrières (céréales, tubercules, ...) ou de rente (coton en particulier), avec la présence fréquente de bovins et caprins divagant ou conduits hors des périodes de culture.

Selon Boffa (2000), les parcs sont généralement définis comme des paysages agraires où des arbres adultes sont disséminés dans des champs cultivés ou des jachères récentes.

Pour Bonkougou et al. (1994), il s'agit d'un système d'utilisation du sol dans lequel les végétaux ligneux pérennes sont délibérément conservés en association avec les cultures et/ou avec l'élevage dans un arrangement spatial dispersé où de s interactions écologiques et/ou économiques doivent exister entre les différentes composantes du système.

II.1.3 Le parc agro forestier à *Cordyla pinnata* de Keur Samba Guèye

II.1.3.1 L'espèce prédominante

Arbre de la famille des Césalpiniacées, du genre *Cordyla*, l'espèce *Cordyla pinnata* (Lepr. ex A.Rich.) ou le poirier du Cayor ou le « *dimb* » du Sénégal joue un rôle essentiel dans le monde rural. Ses fruits verts séchés et cuits, sont surtout appréciés. L'écorce est antihelminthique et renferme des composés flavonoïdes (Kerharo et Adam, 1974 cité par Alexandre D.Y., 2002). Son bois est très apprécié dans la fabrication de meubles.

Avec un fût cylindrique, une calotte hémisphérique, l'arbre est très verdoyant, les fleurs apparaissant sur rameaux d'un an avant que les vieilles feuilles ne tombent. On le retrouve dans les formations végétales telles que la forêt, terrain cultivé, sols sableux, savane boisée, etc.

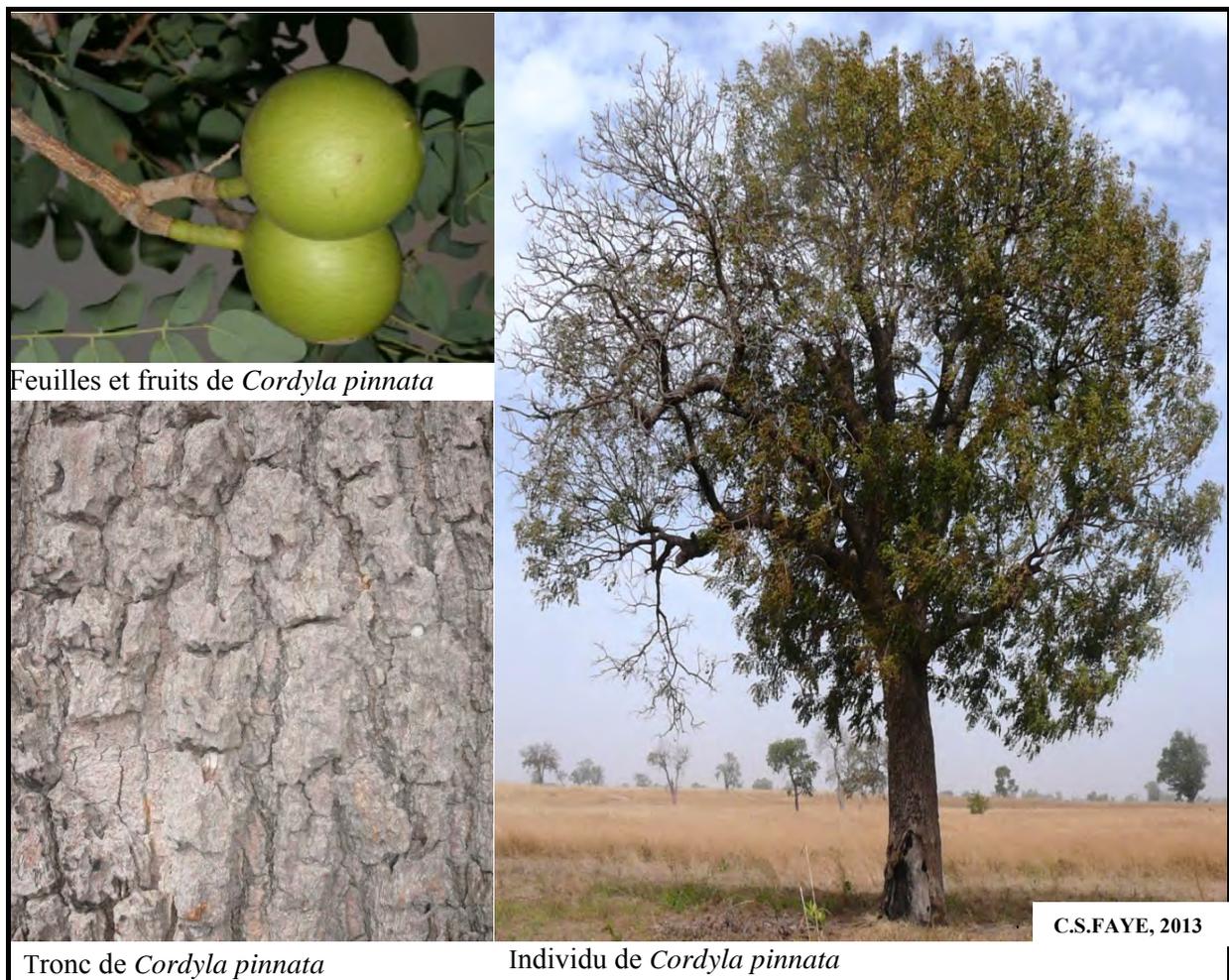


Figure 9: Quelques parties du *Cordyla pinnata*

II.1.3.2 Caractéristiques du parc à *Cordyla pinnata*

Les parcs agroforestiers de Keur Samba Guèye et Santhie sont composés de plusieurs espèces ligneuses dont les prédominantes dans les espaces agricoles sont : *Cordyla pinnata* « Dimb », *Bombax costaud*, *Prosopis africana* « yir », *Parkia biglobosa* « néré », etc. Une strate arbustive avec prédominance *Combretum glutinosum* « Ratt », d'un tapis herbacé, composé surtout d'*Andropogon guanus*, généralement continu, compose cette végétation.

Une forte dégradation liée la pression des terres de culture, à l'exploitation abusive et anarchique des ligneux, à la sécheresse et aux feux de brousse explique la raréfaction voire la disparition de certaines essences forestières. L'arbre peut atteindre 10 à 13 m de haut avec un diamètre moyen variant de 56 à 62 cm selon le site étudié.

Tableau 2: Caractéristiques dendrométriques (moyenne) des parcs étudiés

Villages	Densité (individus/ha)	Surface terrière (m ²)	Hauteur(m)	Diamètre (cm)
Keur Samba Guèye	0,97	2673,39	10,64	56,37
Santhie Rame	3,29	3121,34	13,3	61,64

Source : Enquêtes de terrain, 2013

L'analyse de ce tableau montre que malgré les fortes densités notées à Santhie Rame, ces individus possèdent une taille (13,3m) et une surface terrière supérieure à ceux de Keur Samba Guèye. Les faibles densités peuvent être expliquées en partie par les agressions anthropiques faites sur ces essences forestières mais également aux plantes parasites telles que les *Tapinanthus bangwensis*. Ces dernières sont présentes sur le site de Keur samba Guèye sur 4/5 individus inventoriés. (Quelle démonstration ou idée tu veux développer avec les plantes parasites, pas clair).



Figure 10: Parc agroforestier à *Cordyla pinnata* de Keur Samba Guèye

Conclusion du deuxième chapitre 2

Dans ce chapitre, nous avons présenté la situation géographique de la communauté rurale de Keur Samba Guèye, ses facteurs physiques, biophysiques et son cadre humain. Cette partie montre la richesse de la communauté rurale sur le plan de ses ressources végétales. Nous avons abordé ensuite la définition de certains concepts clés pour éclairer cette étude. Une présentation des parcs à *Cordyla pinnata* a permis d'identifier les ligneux prédominants.

Le chapitre suivant sera consacré à l'étude de l'occupation du sol entre 1999 à 2011, à partir des images du capteur Landsat.

CHAP 3 : ANALYSE DE LA DYNAMIQUE DE LOCCUPATION DU SOL

La cartographie par télédétection est une technique très utilisée dans la reconnaissance de certains objets du sol. Leur regroupement basé sur les caractéristiques de leur pixel (Plus petite unité d'une image qui détermine sa résolution spatiale) permet de les classer en unités assez homogènes. Ces représentations sur carte ou sur ordinateur sont de véritables outils de détection et d'aménagement des surfaces.

Dans cette partie du mémoire, nous allons caractériser l'état de l'occupation du sol en 1999 et 2011 pour ensuite déduire la dynamique et éventuellement les facteurs liés à ces changements notés au cours de ces dix années à Keur Samba Guèye.

I. ANALYSE DIACHRONIQUE DE L'OCCUPATION DU SOL

I.1 Définition de l'occupation du sol

L'occupation du sol peut être succinctement définie comme la couverture (bio-) physique de la surface des terres émergées (d'après FAO, 1998). Elle est modifiée selon différents processus naturels et anthropiques. La description de la couverture de la surface terrestre est alors utile pour la connaissance scientifique des différents états et dynamiques des écosystèmes, des agro-systèmes et des territoires, ainsi que pour la gestion des ressources naturelles et l'aménagement du territoire : zones artificialisées, espaces agricoles, forêts, savanes, surfaces en eaux...

I.2 Méthode de classification

Les méthodes de classification d'images les plus courantes utilisent l'information radiométrique d'une ou de plusieurs bandes spectrales pour classer chaque pixel individuellement.

Ce type de classification standard est appelé reconnaissance de regroupements spectraux. L'image issue de la classification est composée de pixels appartenant chacun à un thème particulier (exemple : eau, forêt, bâti, etc.).

Lorsqu'on parle de classes, il faut faire la distinction entre des classes d'information (catégories d'intérêt) et des classes spectrales (pixel ayant les mêmes caractéristiques spectrales).

L'objectif ultime de la classification est de faire la correspondance entre les classes spectrales et les classes d'information. Pour déterminer les classes d'information et des classes

spectrales, on a eu recours à la classification. Cependant, la manière d'établir les classes de signatures ou classes spectrales détermine les deux grandes approches en classification numérique :

- l'approche non dirigée (non supervisée) : pas de connaissance *a priori* ; les classes sont créées automatiquement par le logiciel. Les classes sont alors nommées, étiquetées *a posteriori*,
- l'approche dirigée (supervisée) : les connaissances *a priori* sont utilisées pour la création des classes et la saisie des échantillons (zones ou parcelles) d'entraînement = données test).

Notre choix s'est porté sur cette dernière approche compte tenu de nos connaissances renforcées lors des différents travaux de terrain à Keur Samba Guèye.

1.2.1 Classification supervisée

Les bandes des images Landsat sont importées sous **Envi 4.5** puis combinées en utilisant les techniques de la composition colorée. Elle consiste à combiner des bandes pour avoir une image en couleur. Les couleurs additives rouge- vert- bleu (RGB) sont attribuées à 3 bandes différentes combinées. Pour toutes les images utilisées en fonction des bandes disponibles, des compositions colorées sont faites. Pour les images de 1999 et de 2011. Plusieurs combinaisons ont été effectuées, cependant la combinaison 7-4-3 a été retenue car offrant une meilleure visibilité des thématiques de l'image.

1.2.2 Identification de catégories d'occupation du sol

Les classes d'occupation du sol retenues dans cette étude ont été obtenues suite à une classification supervisée des images Landsat ETM du 04 novembre 1999 et Landsat ETM+ du 13 novembre 2011. L'idée maitresse de cette classification effectuée sur ENVI 4.5 consiste à utiliser la réflectance spectrale des différents milieux. Etant donné que l'eau, le sol et la végétation n'ont pas la même réflectivité les mesures enregistrées dans les bandes spectrales sont différentes (Jorg et *al.*, 1989). L'identification a consisté à choisir des champs d'entraînements (ROI) qui sont des échantillons de données dont l'identité est connue et qui servent à déterminer les critères de classification. Les caractéristiques spectrales des classes d'occupation du sol obtenues suite à la classification finale de l'image Landsat ont été utilisées comme base pour une classification supervisée par maximum de vraisemblance de l'image TM Landsat 1999.

Un coefficient Kappa (0,82) et une matrice de séparabilité ont été calculés pour estimer l'exactitude de la classification. Ce coefficient mesure l'intensité de la concordance réelle entre deux jugements catégoriels appariés. Il est proche de 0 lorsque la concordance est peu significative et de 1 lorsque la concordance est très forte (Girard et Girard, 1999). Selon Pontius (2000) cité par (Barima Y.S.S., et al., 2010), la précision de la classification des images Landsat pour une étude de l'occupation du sol peut être validée si le coefficient Kappa est supérieur à 0,5.

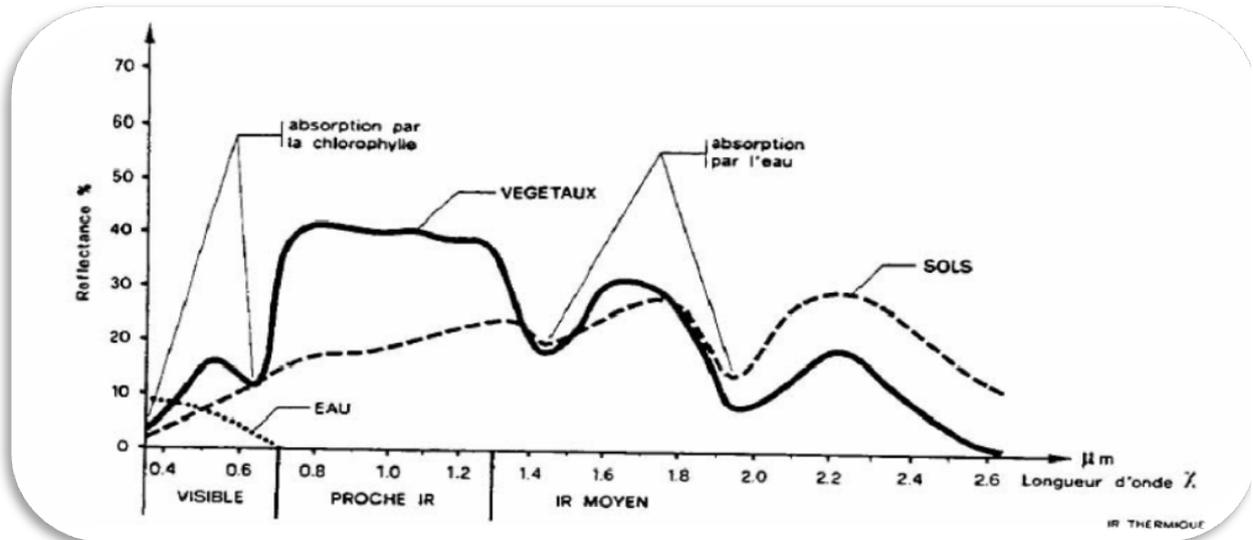


Figure 11: Courbes de réflectance significative de différents milieux (Source, Caloz, 1992)

Ainsi, les classes d'occupation du sol identifiées sur l'image sont :

Forêt classée : ce terme de résonance administrative est employé ici compte tenu des objectifs de l'étude qui n'était pas de caractériser cette formation.

Végétation de vallée : c'est une formation végétale ligneuse et non ligneuse dominée par *Typha dominguensis* développé le long de la vallée du Djikoye.

Eau de surface : représente le cours d'eau de la vallée du Djikoye.

Espace agricole : il scindé en deux classes pour appréhender la pression sur les espèces ligneuses du parc. Ce sont les **classes espace agricole à dominante *Cordyla pinnata* (Lepr. ex A.Rich.)** et **espace agricole à dominante arachide**. Le premier regroupe les champs cultivés, les champs en jachère et le second, les plantations et autres espèces ligneuses et non ligneuses dispersées dans le parc ainsi que les couloirs de passage.

Cette dénomination des classes ci-dessus a été faite suivant le type d'occupation et d'utilisation du sol. De cette classification, sont élaborées des cartes d'occupation du sol de

1999 et 2011, les cartes de changement et les statistiques spatiales ont été obtenues par superposition (*Overlay*) dans ArcGis 10 des cartes diachroniques préalablement réalisées.

II. ETAT DE L'OCCUPATION DU SOL A KEUR SAMBA GUEYE

II.1 Situation en 1999

À cette date, l'occupation du sol est dominée par les espaces agricoles à dominante arachide. Il s'agit des champs cultivés et des champs en jachères (Figure 12 et 13). En somme, on distingue suivant les classes identifiées :

- ❖ Les espaces agricoles à dominante arachide qui représentent plus de la moitié de la surface de la communauté rurale soit 57,4%.
- ❖ Les espaces agricoles à dominante *Cordyla pinnata* (*Lepr. ex A.Rich.*) qui couvrent une superficie de 5937,92 ha soit 23,06% du sol de la communauté rurale.
- ❖ Les forêts classées de Patako sud et Baria ; où la partie appartenant à Keur Samba Guèye représente environ 15% des terres.
- ❖ La Végétation de vallée, constituée essentiellement par la vallée du Djikoye où en saison sèche les dernières ramifications deviennent sèches, occupe une surface non négligeable de 641,34 ha.

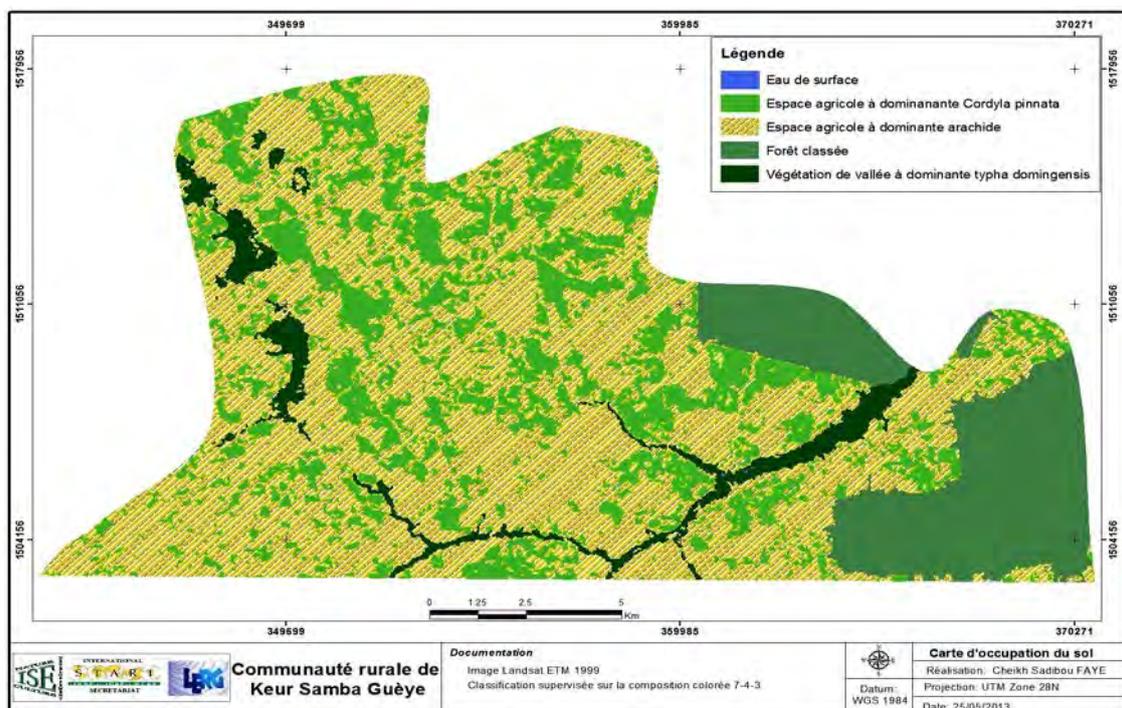


Figure 12 : Occupation du sol de Keur Samba Gueye en 1999

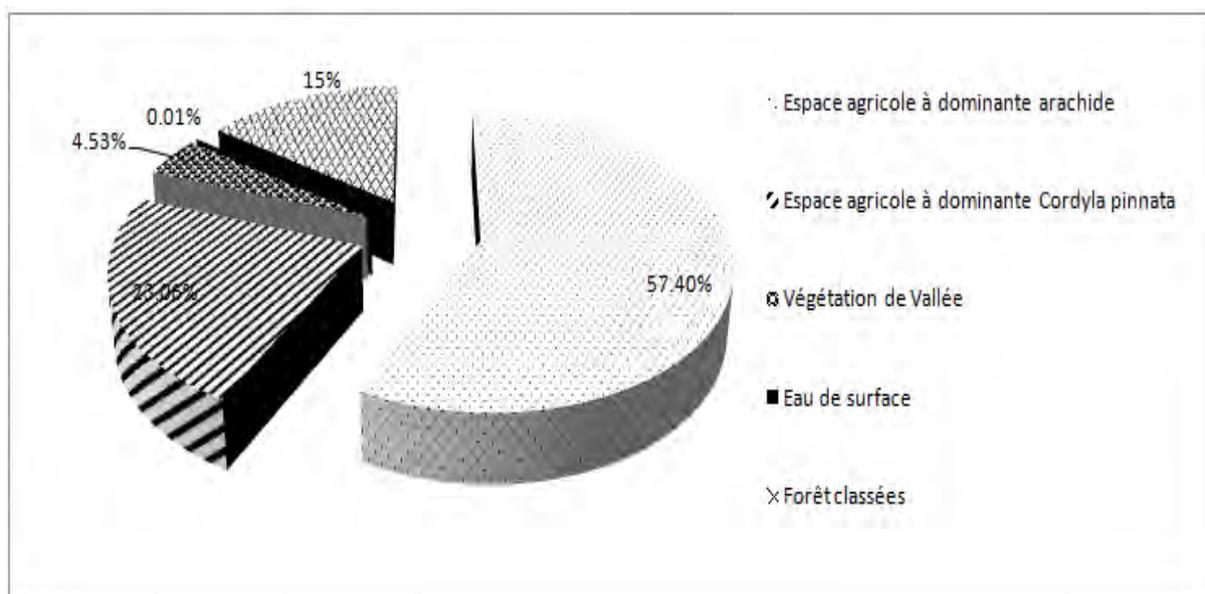


Figure 13 : Etat de l'occupation du sol en 1999

II.2 Situation en 2011

Pour cette période, on note les mêmes classes d'occupation du sol identifiées en 1999 mais certains espaces ont subi au plan surfacique un accroissement.

Il s'agit notamment et en grande partie d'espaces agricoles à dominante arachide qui ont diminué de 57,40% à 56,5% et aux espaces agricoles à dominante *Cordyla pinnata* qui ont augmenté de 1,18%. Cette augmentation de l'espace couvert par les ligneux à dominance *Cordyla pinnata* est due au cours de ces dernières années à la prolifération des plantations d'anacardiens qui génèrent des ressources financières considérables.

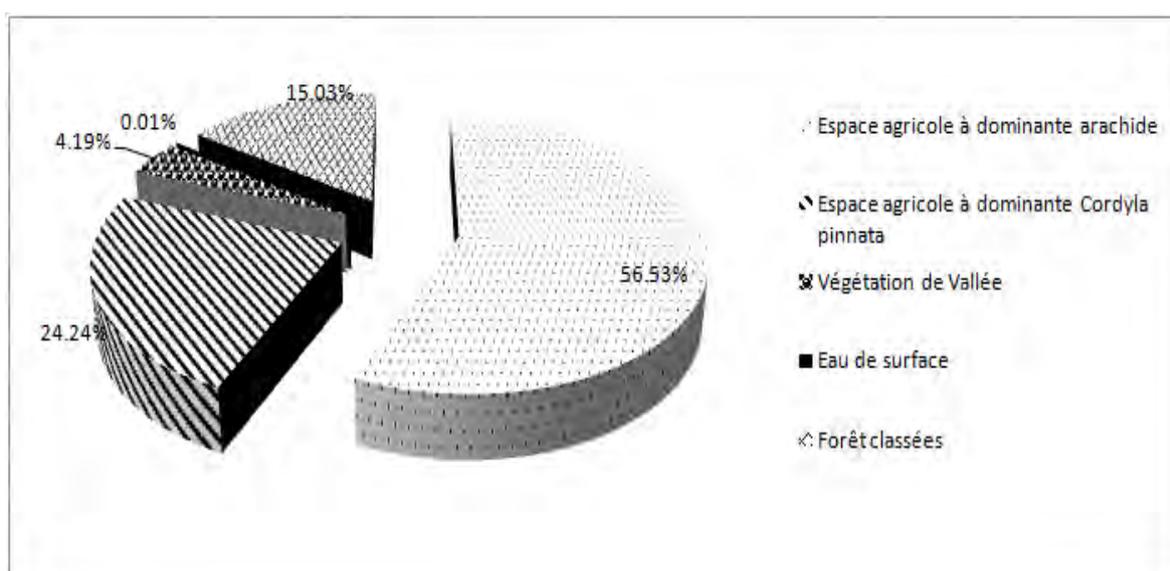


Figure 14 : Etat de l'occupation du sol 2011

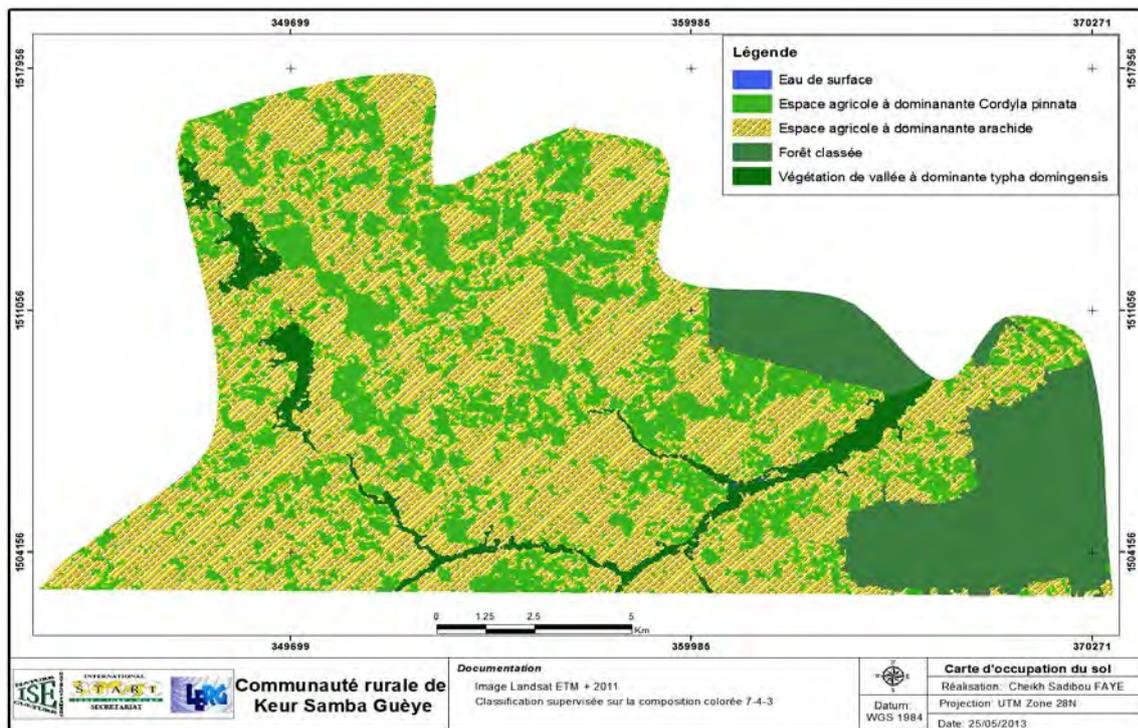


Figure 15 : Occupation du sol en 2011

III. DYNAMIQUE DE L'OCCUPATION DU SOL DE 1999 à 2011

III.1 Matrice de l'évolution des classes d'occupation du sol

Cette matrice montre une évolution positive des classes d'occupation du sol telles que l'espace agricole à dominante *Cordyla pinnata* (Lepr. ex A.Rich.) et les forêts au profit de la végétation de vallée. Ces changements notés au cours de ces douze dernières années peuvent s'expliquer pour l'espace agricole à dominante *Cordyla pinnata* par l'introduction de l'anacardier dans la zone et la culture du riz dans certaines parties de la vallée du Djikoye (exemple du PAPIL).

Une enquête réalisée auprès de ces populations locales montre une tendance très forte de plantation de cette espèce et une augmentation des surfaces rizicoles. Selon cette même source, les plantations d'anacardiens sont plus rentables que les cultures pluviales. En effet, l'espèce possède la faculté de se reproduire 3 à 4 ans après plantation de la pépinière et produit des fruits deux à trois fois par année.

Tableau 3: Evolution des classes d'occupation du sol entre 1999 et 2011

Classes	Années 1999		2011		1999-2011	
	Surface (m ²)	Pourcentage	Surface (m ²)	Pourcentage	Surface (m ²)	Pourcentage
Espace agricole à dominante <i>Cordyla pinnata</i>	59379210,9	23,06%	62425083,8	24,24%	3045872,9	1,18%
Eau de surface	15432,75	0,01%	15432,75	0,01%	0	0,00%
Forêt classée	38641951,8	15,00%	38702902,9	15,03%	60951,08	0,02%
Végétation de vallée	153085601,16	4,53%	10803799,64	4,19%	-872824,43	-0,34%
Espace agricole à dominante arachide	147822408	57,40%	145588408	56,53%	-2233999,5	-0,87%

Ce tableau montre que :

- De 1999 à 2011, l'étendue des espaces agricoles à dominante *Cordyla pinnata* a augmenté de 1.18% contrairement aux espaces agricoles à dominante arachide.
- Durant cette période, les forêts classées sont restées stables. Il faut souligner que les modifications identifiées entre ces dernières proviennent de l'ajout des pixels des plantations d'anacarde contigües à ces formations.
- Sur la période en question, les eaux de surface sont restées stables. Ceci s'explique par le fait que les quantités d'eau de pluie au cours de ces deux dates sont plus ou moins équivalentes (cf. pluviométrie)

Ce faisant, il serait alors utile de voir les changements d'interclasses de ces catégories d'occupation du sol.

III.2 Matrice des changements d'occupation du sol

Nous avons utilisé la matrice des changements d'occupation du sol pour appréhender la dynamique intervenue entre 1999 et 2011. Cette matrice de l'état de l'occupation du sol entre 1999 et 2011 est obtenue après une superposition des cartes d'occupation des sols issues des performances du logiciel Arc GIS10 et de leur traitement avec Excel. Cette technique permet à la fois de détecter les changements et de calculer les surfaces modifiées ou converties.

Tableau 4 : Matrice des changements d'occupation du sol

2 011	1999				
	Espace agricole à dominante <i>Cordyla pinnata</i>	Eau de surface	Forêt classée	Végétation de vallée	Espace agricole à dominante arachide
Espace agricole à dominante <i>Cordyla pinnata</i>	5928,26		3,38	89,4779	221,34
Eau de surface		1,54			
Forêt classée	0,24		3860	3,17	6,24
Végétation de vallée	9,16		0,418	1058,51	11,37
Espace agricole à dominante arachide				16,32	434,86

Légende

	Stabilité
	Modification
	Conversion

En somme, nous observons deux grands processus, qui se sont déroulés au cours de ces douze dernières années dans cette zone. La première est une modification c'est-à-dire, une transformation de la formation végétale à l'intérieur de la même classe.

La seconde est une conversion d'espaces d'une classe en d'autres plus ou moins couvertes. Cette conversion est localisée au sud de la communauté rurale vers la république de la Gambie. Selon les populations locales, cette conversion est liée aux agressions externes d'un pays voisin (La Gambie).

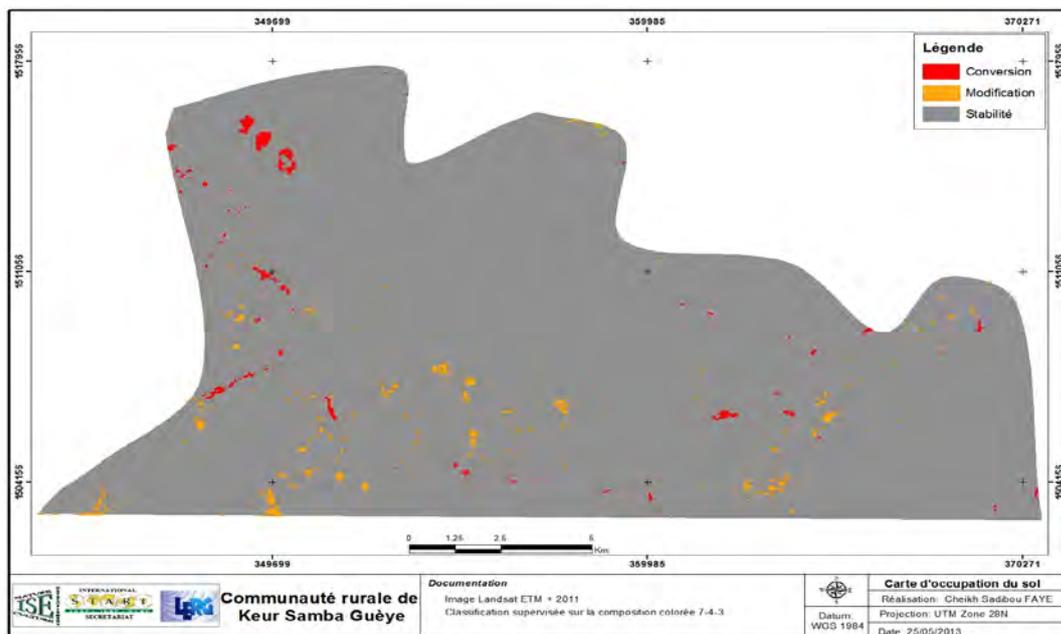


Figure 16: changements d'occupation du sol de 1999 à 2011

III.3 Les modifications entre 1999 et 2011

La majeure partie des modifications opérée au cours de ces douze dernières années concerne les terres occupées par l'agriculture de manière générale. Durant cette période, on a enregistré une tendance progressive de la couverture des espèces ligneuses et non ligneuses. Ceci s'explique par l'introduction dans la zone, au début des années 2000, des plantations d'anacardiens par le projet allemand PASA ; ce projet implanté au Sénégal en 1981 a contribué, par la vulgarisation de l'anacarde, à la diversification et à l'amélioration des sources de revenus des paysans.

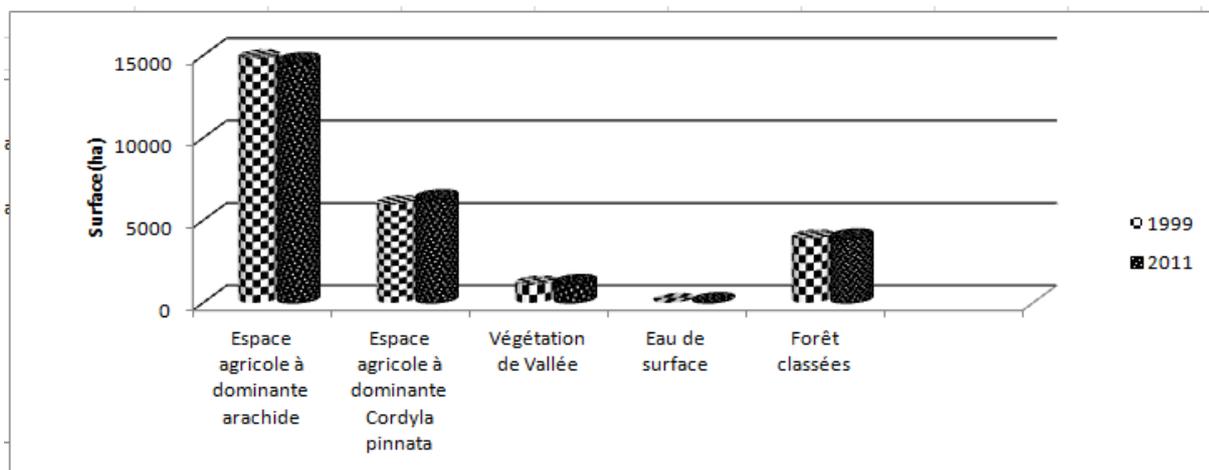


Figure 17 : Evolution des classes d'occupation du sol entre 1999 et 2011

III.4 Les conversions entre 1999 et 2011

Après la dégradation inquiétante causée par les scieries de Ndrané et Missirah, principales exploitants des espèces ligneuses comme le *Cordyla pinata*, *Pterocarpus erinaceus*, *Prosopis africana*, et autres espèces fournissant du bois service pour la confection de meubles, de pirogues, etc., le projet « Maïs » est intervenu dans la localité vers les années 80 pour encourager les populations à s'adonner à la culture du maïs. Cela a entraîné une conversion (environ 1,4%) des surfaces occupées par les savanes arborées en terres arables. Son implantation sur le site avait nécessité le dessouchage des pieds battus par les scieries précitées réduisant ainsi leurs traces caractérisées par le nombre important de souches dans les terroirs villageois.

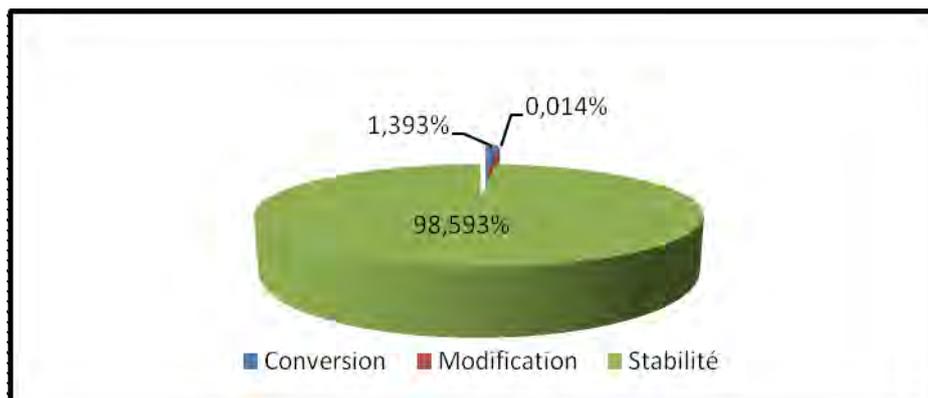


Figure 18 : Dynamique des changements d'occupation du sol de 1999 à 2011

A la fin de ce projet « maïs », le PASA est intervenu, ce qui a entraîné une conversion des surfaces agricoles à dominante arachide à des surfaces agricoles tendant vers le *Cordia pinnata* (Lepr. ex A.Rich.) avec comme essence dominante *Anacardium occidentale*. Aujourd'hui, grâce au projet PASA, et avec une production de noix de cajou de 13 à 15000 tonnes/an, le Sénégal occupe la 7^{ième} place en Afrique et la 15^{ième} au niveau mondial. (Patrick Nugawela et al. 2006).

Tableau 5: Production sénégalaise de noix de cajou par région

Régions	Surface (ha)	Production par hectare		Population dépendant des plantations et récoltes
		Unités	Quantité	Nombre
Kolda	20 à 30.000	Kg	250	50.000
Ziguinchor	12 000	Kg	350	25.000
Fatick	4.000	Kg	350	15.000

Source : P.Nugawela et al, 2006

L'analyse de ce tableau montre que les activités de plantations d'espèces ligneuses telles que *Anacardium occidentale* sont très prisées par les populations de Fatick où l'espèce occupe une surface de 4000 ha des terres cultivables de la région pour une production de 350 kg/ha. Parallèlement, près de 15 000 personnes dépendent des produits fournis par cette espèce.

En définitive, la dynamique de l'occupation du sol dans la communauté rurale de Keur Samba Guèye est marquée par une tendance à une conversion des espaces réservés à l'agriculture pluviales par les plantations d'anacardes. Cette situation est expliquée en partie par les rendements généralement très significatifs de ces dernières.

CHAP. 4 : PARAMETRES ET OUTILS DE SUIVI DES PARCS AGROFORESTIERS

Ce chapitre porte sur les paramètres de suivi et le développement d'un modèle allométrique d'estimation de la biomasse aérienne propre aux parcs agroforestiers à partir d'images de haute résolution. Il tire sa justification dans la nécessité de suivre la biomasse aérienne de ces formations végétales. Dans cette partie, il est présenté la méthodologie d'extraction de paramètres sur une image Quickbird et l'élaboration du modèle.

I. QUELQUES PARAMETRES DE SUIVI DES PARCS

I.1 Définition d'un indicateur

L'indicateur se définit comme « une métrique ou une combinaison de métriques qui indique un état ou une évolution utilisé pour établir un diagnostic et mettre en place une politique d'actions planifiées à l'échelle d'un territoire ou pour réaliser un suivi permettant de mesurer l'efficacité d'actions » (Wiederkehr et *al.*, 2008).

I.2 Etat de la régénération

Elle peut être perçue à partir de l'indice de régénération qui résulte du rapport densité de la régénération sur densité des arbres adultes. Cet indice renseigne sur le niveau de la régénération et peut orienter les interventions à effectuer sur le parc.

1. La densité des arbres : $DA = \text{Nombre individus} / \text{Surface parcourue}$
2. La densité des régénérations : $DRg = \text{Nombre de jeunes pousses} / \text{Surface parcourue}$
3. La densité des souches : $DS = \text{Nombre de souche} / \text{Surface parcourue}$
4. Le taux de recouvrement : $TRc = \text{Surface couverture ligneuse} / \text{Surface parcourue}$
5. L'indice de régénération : $IR = DA / DRg$

Tableau 6: Indicateurs de suivi des parcs agro forestiers

Villages	SB	NI	NR	NS	CV	DA	DRg	DS	TRc	IR
Keur Samba	119,25	116	62	60	0,847678	0,97	0,52	0,50	0,0071	0,53
Gueye										
Santhie Rame	57,39	189	10	141	1,009973	3,29	0,17	2,45	0,0176	0,051

NB : *Surface balayée(en ha): SB*

Nombre total de régénérations : NR

Nombre total de souches : NS

Couverture des individus(en m²) : CV

Il ressort des évaluations effectuées sur les deux parcs inventoriés de la communauté rurale que la densité des régénérations (sujets ayant une taille inférieure ou égale à 1,3 m et/ou d'un

DBH inférieure à 5 cm) est plus forte dans le village de Keur Samba Guèye (moins d'une jeune pousse/ha) tandis que les souches semblent être plus nombreuses à Santhie Rame (2,45 souches/ha). Ces résultats montrent d'une part, la capacité de régénération du « dimb » et, d'autre part, la déforestation inquiétante observée dans le village de Santhie Rame. Concernant la densité de régénérations du *Cordyla pinnata* (Lepr. ex A.Rich.), les enquêtes socio-économiques réalisées indiquent que la régénération naturelle est favorisée dans les champs cultivés avec les outils traditionnels tels que l'hilaire, la *goppe*, etc. que dans ceux travaillés à la charrue. Il semblerait que les outils actuels telle la charrue introduite par le président Senghor dans les années 60 n'épargne pas les jeunes pousses. Cet état de fait combiné à l'exploitation de la terre par les enfants et les femmes explique en partie les mutilations et les coupes précoces faites sur ces régénérations.

C'est pourquoi, la régénération assez forte notée à Keur Samba Guèye reste très localisée. En effet, sur les 116 ha parcourus, on retrouve plus de 20 régénérations dans la plantation d'*Eucalyptus* qui mesure 1 ha et sert de bois de service au village. Cet espace (plantation) protégé et surveillé par l'imam du village est épargné de toute exploitation non autorisée. Selon les populations interrogées lors de nos enquêtes, ces souches observées en majorité à Santhie Rame sont préjudiciables aux scieries de Ndramé et Missirah, implantées dans la zone vers les années 70. Leur nombre plus important auparavant a diminué, notamment avec les actions de dessouchage entreprises par le « Projet Maïs » implanté dans la localité en 1997.

Interprétation de l'IR

Afin de décliner une stratégie de gestion de la régénération dans les champs, il convient d'aider les décideurs à mener une intervention appropriée en fonction de la localisation des jeunes pousses. À cet effet, nous avons eu recours à l'indice de régénération (IR) qui résulte du rapport densité de la régénération sur densité des arbres adultes. Il renseigne sur le niveau de la régénération et peut orienter les interventions à effectuer sur les parcs.

Les niveaux de l'indice de régénération sont les suivants :

- IR = 1 : traduit un parc où le peuplement est en équilibre, c'est-à-dire qu'il existe autant de jeunes plants que de sujets adultes.
- IR < 1 : il s'agit de formations ou de peuplements vieillissants avec une densité de jeunes plants inférieure à celle des plants adultes.
- IR > 1 : caractérise un parc ou un peuplement en pleine expansion, dans lequel les arbres des différentes classes d'âge sont en équilibre.

Au regard des résultats obtenus, ces deux peuplements se situent dans une tendance vieillissante. Il est préconisé, dans ce cas, de mener des actions tendant à favoriser la régénération naturelle.

I.3 Taux de biomasse aérienne : TB

L'estimation des stocks de carbone est conduite à partir d'un modèle allométrique issu des résultats de Mbow (2009). Ce modèle est une fonction puissance qui lie la biomasse aérienne emmagasinée par chaque individu ligneux avec son diamètre à hauteur de poitrine (à 1,30m).

$$\pi = 3,14$$

$$\text{Densité ligneuse [DL]} = 0,75$$

$$\text{Biomasse Aérienne [BA] (kg)} = -0,463 * dbh + 0,356 * dbh^2 + 0,008 * dbh^3$$

$$\text{Biomasse Aérienne Sèche [BAS] (kg)} = DL * BA$$

$$\text{Carbone BAS} = BAS * 0,5$$

$$\text{Facteur d'expansion } 44/12 = 3,666$$

$$CO_2 = BAS * 3,666$$

Figure 19 : Modèle d'estimation du carbone de la biomasse aérienne (Source : Mbow, 2009)

Basé sur la mesure de quelques paramètres tels que la hauteur des individus c'est-à-dire une espèce ayant un diamètre à hauteur de poitrine supérieur à 5cm et une taille supérieure à 1,30 m, ce modèle a été d'une grande utilité, permettant ainsi d'éviter la destruction des formations végétales.

Les calculs effectués avec cette relation ont permis d'estimer la biomasse aérienne séquestrée par unité de surface dans les parcs agro forestiers étudiés:

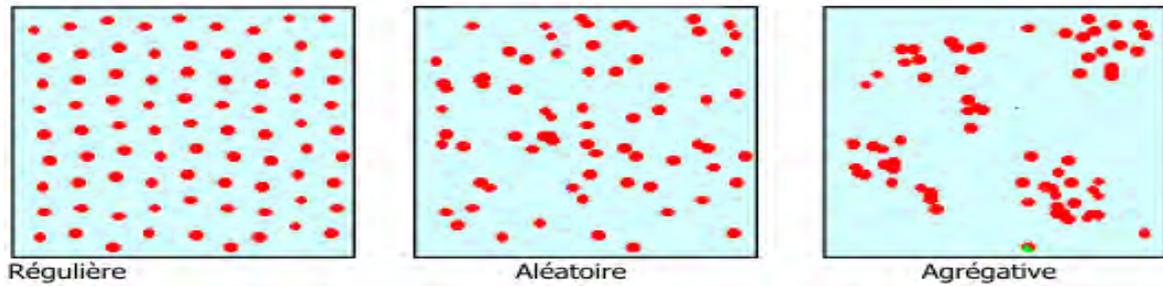
Tableau 7: Taux de biomasse aérienne des parcs étudiés

Parcs	Sites	Superficie balayée (ha)	Biomasse aérienne (tonne)	Taux de biomasse aérienne (t/ha)
Parc arboré à <i>Cordyla pinnata</i>	Keur Samba	119,25	253,65	2,127
	Guèye			
Parc arboré à <i>Cordyla pinnata</i>	Santhie Rame	57,39	656,69	11,44

I.4 Distribution spatiale de l'espèce prédominante du parc

En Ecologie, la distribution spatiale d'individus (ou d'observations) dans un espace géographique contient des informations sur le mode d'organisation des individus ainsi que

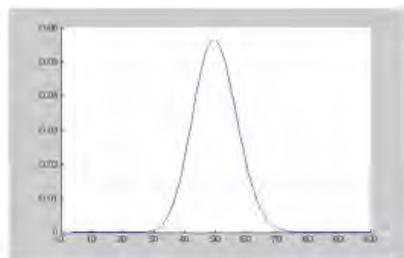
leurs interactions avec l'espace considéré (Kamel S., 2006). On distingue trois types de distribution : **régulière, aléatoire et agrégative.**



Pour caractériser la distribution spatiale des individus, différentes méthodes sont utilisées. L'une d'entre elles, la plus simple et la plus connue est basée sur la loi de Poisson. Cette loi annonce que si l'espèce prédominante est une variable aléatoire, alors $E(X)=V(X)$. Avec $E(X)$ et $V(X)$ étant l'espérance mathématique et la variance respectivement, la loi de Poisson est donnée par la formule suivante :

$$P(X = x) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!}$$

λ est la moyenne. La distribution spatiale peut être caractérisée par un indice de dispersion :



La variable est géographiquement répartie d'une manière aléatoire :
Variance/Moyenne =1

La répartition est agrégative
Variance/Moyenne >>1

La répartition est régulière
Variance/Moyenne <<1

I=Variance/moyenne.

La variable aléatoire X représente la distance entre deux individus de *Cordyla pinnata*. Ainsi les indices de distribution de l'espèce dans le parc sont consignés dans le tableau 9.

Tableau 8: Indices de distribution de *Cordyla pinnata* sur les sites étudiés

Villages	Parcs agroforestiers	Moyenne	Variance	Indice de distribution
Keur Samba Gueye	<i>Cordyla pinnata</i>	79,27	3210,025	114
Santhie Rame	<i>Cordyla pinnata</i>	46,39	1790,22021	38,58

L'analyse de ce tableau montre que l'indice de distribution de l'espèce dominante dans les parcs est largement supérieur à 1. Cela signifie qu'au niveau de ces parcs, *Cordyla pinnata* est répartie de manière agrégative comme illustré par les schémas ci dessous:

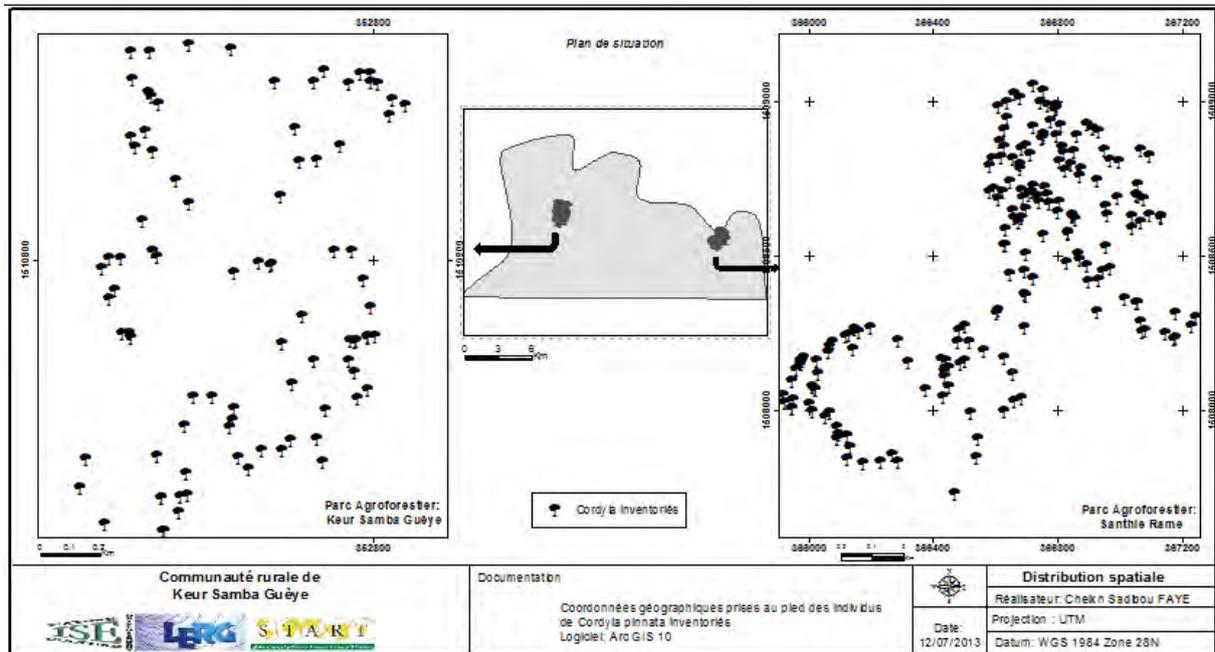


Figure 20: Distribution spatiale de l'espèce dans le parc

L'analyse de ces schémas montre que le parc de Santhie Rame est beaucoup plus fourni que celui de Keur Samba Guèye. Cette forte dégradation notée à Keur Samba Guèye est, en grande partie, liée à l'implantation de projets comme le PASA, le Projet « Maïs ») avec un besoin croissant de terres ; cette situation a alors entraîné l'abattage de certaines essences forestières, notamment le « dimb ». Cette dégradation très localisée diffère en fonction de l'occupation ou de l'utilisation du sol. En effet, dans les jachères de longue durée, nous avons recensé plus d'individus de cette espèce.

Quant aux régénérations quasi-nulles dans les espaces cultivés, elles sont rencontrées en grande partie dans des espaces d'1ha abritant les plantations d'*Eucalyptus*. Une enquête menée dans ces villages montre que cette absence de régénérations dans les espaces cultivés est également liée aux outils de culture, notamment la houe et à l'exode rural qui a laissé l'exploitation de la terre aux enfants et aux femmes.

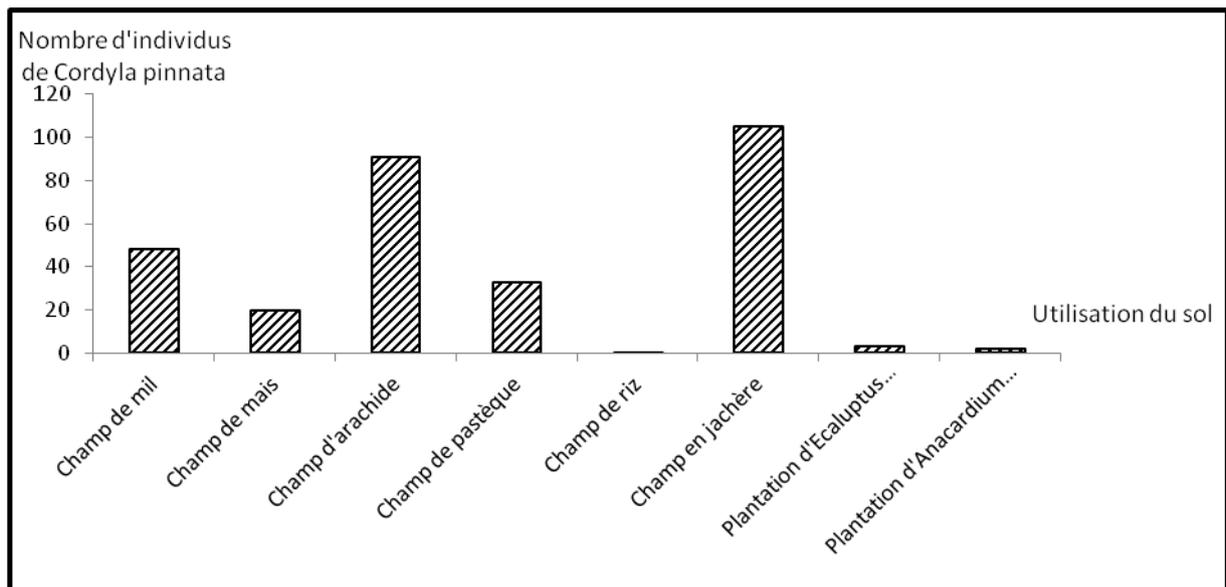


Figure 21: Nombre d'individus de *Cordyla* en fonction de l'utilisation du sol

I. MODELISATION DE LA BIOMASSE AERIENNE

II.1 Modélisation?

Elle consiste à mettre au point un ensemble d'équations ou de règles pour décrire un phénomène de façon reproductible et simulable. Le produit réalisé (le modèle) se définit comme « ce qui sert d'objet d'imitation pour faire ou reproduire quelque chose » (Petit Robert 1986). C'est une forme de représentation de la réalité. Cette représentation est imparfaite et limitée par notre degré de connaissances. Son utilité trouve tout son sens dans l'actualisation des données notamment celles relatives à la biomasse d'un écosystème.

Notre approche est entièrement basée sur le développement du houppier, support de l'appareil photosynthétique de l'arbre. En effet, cette photosynthèse explique en partie la biomasse aérienne.

II.2 Extraction des houppiers à partir d'une image de haute résolution

II.2.1 Définition

Le houppier est la partie supérieure de l'arbre, au-dessus du tronc, contenant les branches, les feuilles et les fruits. Un houppier peut être facilement identifiable sur une image satellitaire grâce à certaines caractéristiques :

- Sa forme plus ou moins circulaire ;

- Les paramètres spectraux (réflectance) de sa partie supérieure qui reçoit le rayonnement, etc.

II.2.2 Description structurelle du houppier

Les formes assez irrégulières que l'on observe sur les espaces agricoles d'une image haute résolution sous forme de taches sont encore mal connues. Elles caractérisent en effet la charpente d'espèces végétales ligneuses ou non ligneuses et le terme employé pour les désigner est **houppier**. Le houppier comme l'ensemble constitué par les branches, les feuilles et les fruits d'un arbre, change de forme selon le milieu, la saison ou les actions anthropiques. Ce faisant, quatre catégories de formes géométriques de houppiers ont été identifiées dans notre zone d'étude :

- **Circulaire**
- **Semi-circulaire**
- **Croisé**
- **Linéaire**

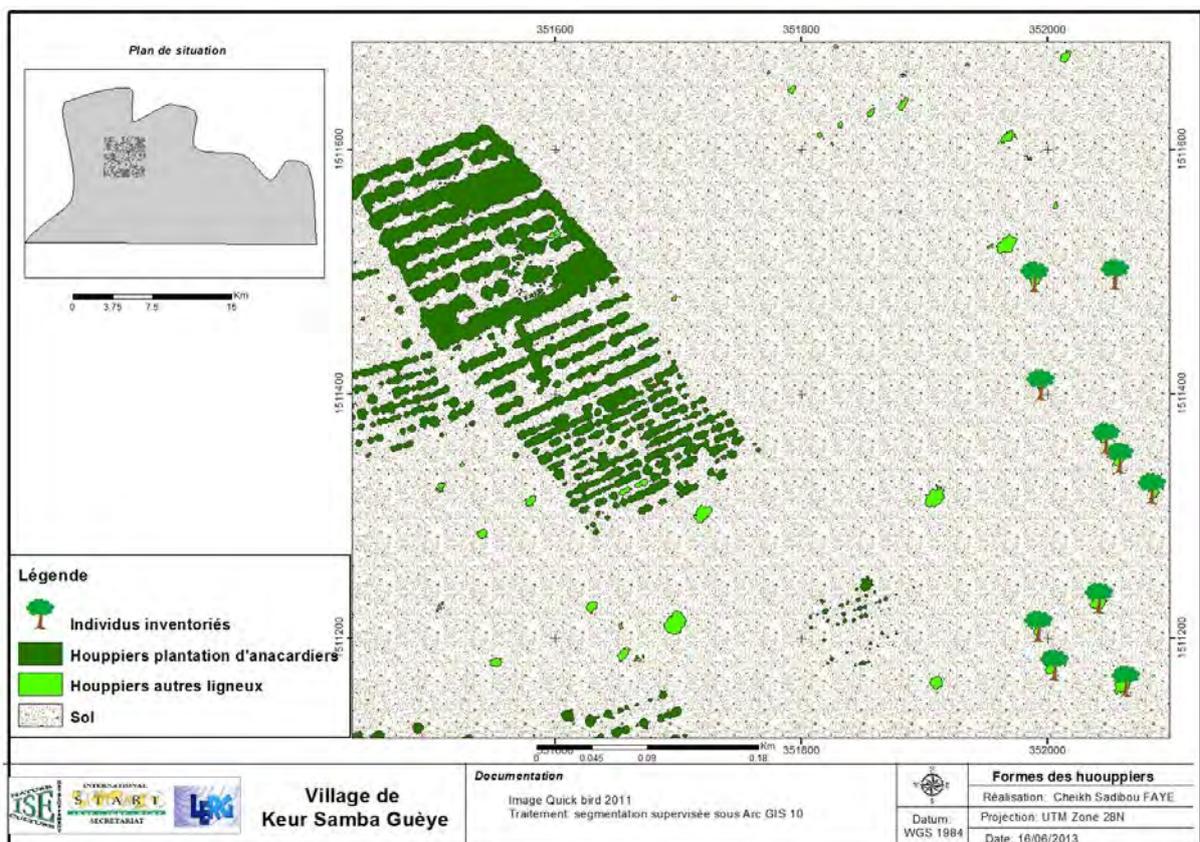


Figure 22: Différentes formes de houppier dans une plantation d'anacardiers

La plupart de ces formes s'observe dans les plantations d'anacardiers où plus la plantation est vieille, plus les houppiers ne sont pas continus et leur forme tend à être linéaire. Par contre, dans l'espace agricole dominé par *Cordyla pinnata* (Lepr. ex A.Rich.), les formes sont généralement assimilées à un disque. Cette catégorie est rencontrée dans le parc agro forestier à *Cordyla pinnata* de Keur Samba Guèye et dans les jeunes plantations d'anacardiers. Il faut signaler que les actions anthropiques, pour diverses raisons, peuvent modifier l'architecture du houppier. En effet, les enquêtes menées dans le village de Keur Samba indiquent que, les populations émondent les vieilles plantations pour augmenter leurs rendements. Ce faisant, cette catégorie de houppiers (de forme circulaire) est rencontrée exceptionnellement dans les vieilles plantations d'anacardiers. Dès lors, ces formes de houppiers constituent un indicateur de l'âge des plantations



Figure 23: Plantation d'anacardiers à Keur Samba Guèye

II.4 Extraction des paramètres du houppier

II.4.1 Définition :

Extraire des diamètres de houppiers d'un individu végétal sur une image, par la méthode de segmentation revient à trouver la meilleure" configuration d'objets, c'est-à-dire la configuration qui va respecter un certain nombre de propriétés géométrique (nature des objets) et radiométriques (contraste) (Jia Zhou, 2012). Des contraintes liées à l'inclinaison des arbres qui modifie la forme du houppier sont négligées dans cette étude. En effet,

l'inclinaison optimale serait d'avoir une image prise lorsque le soleil est au zénith, ce qui permettrait d'exclure les surfaces liées à l'ombrage dans le houppier.

II.4.2 Méthodologie

La méthodologie retenue pour l'extraction des paramètres du houppier sur l'image pour l'élaboration du modèle est résumé ici en six points :

1. Mesures dendrométriques et prises de coordonnées géographiques
2. Saisie et calcul de la Biomasse aérienne (BA) à partir du logiciel Excel en se basant sur le modèle développé par Mbow (2009).
3. Construction d'un algorithme d'extraction du houppier sur l'image Quickbird 2011
4. Traitement et correction (dissociation, filtrage...)
5. Jointure de la couche des houppiers extraits avec les données (sous format Excel) de calcul de la BA
6. Importation et modélisation sur SPSS.

Les deux premiers points étant déjà explicités (Cf chap. 1), le développement de cette section sera consacré aux quatre derniers points.

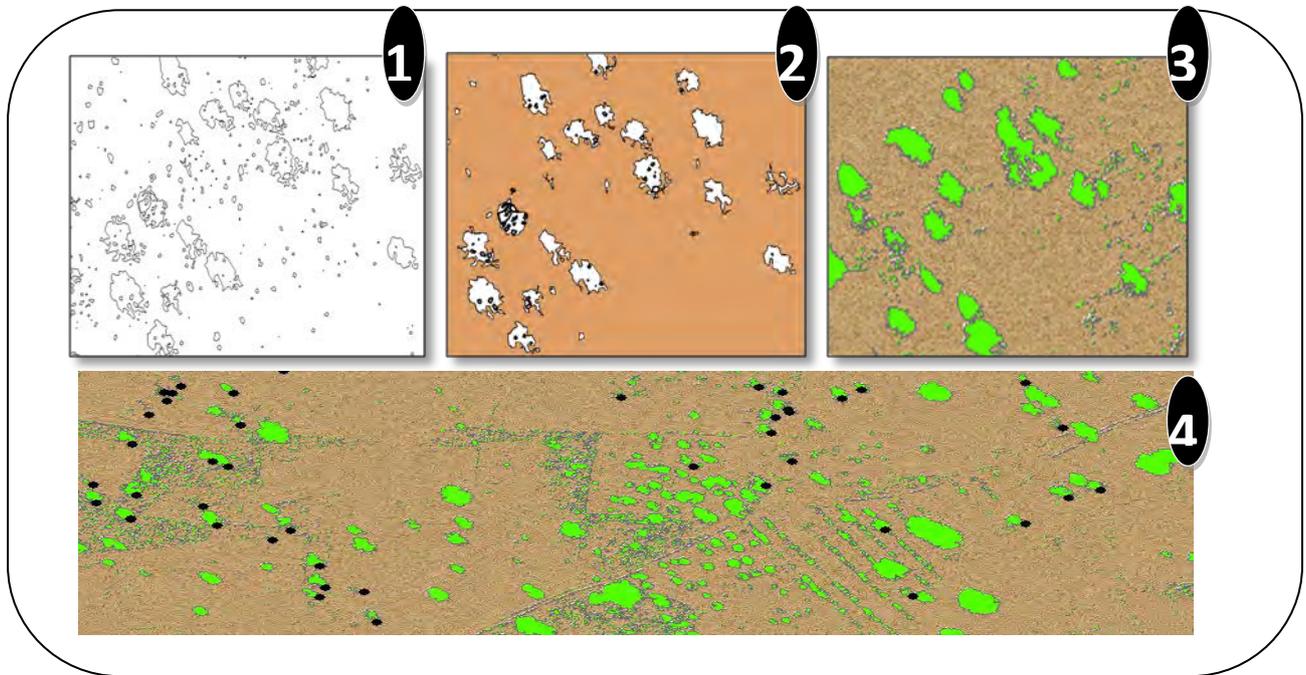
II.4.3 Processus d'extraction

Le principe d'extraction consiste donc à rechercher la configuration optimale sur un espace donné, autrement dit la configuration qui s'approche au mieux de la réalité. Il s'agit à partir d'images Quickbird, de séparer les houppiers des arbres du reste des objets occupant le sol. Pour ce faire, nous avons eu recours au logiciel Arc GIS 10 qui permet de collecter, organiser, gérer, analyser, communiquer et diffuser des informations géographiques.

A partir de l'image brute rectifiée et géo référencée, nous avons déterminé l'intervalle de la signature spectrale des houppiers des arbres sur le canal rouge qui donne une forte réflectance de la végétation. Nous avons préalablement appliqué l'algorithme de segmentation des houppiers suivant sur l'image.

L'instruction réalise des affectations dynamiques fondées sur ces signatures multi spectrales en utilisant l'intervalle de valeurs introduites et génère une trame (photo 1). Nous avons ensuite effectué une classification pour associer les pixels d'une image à des unités de paysage afin d'obtenir deux classes : une classe formée par les houppiers et une autre représentant les objets restant de l'image. Un algorithme automatique de filtrage (3X3) qui permet d'améliorer la lisibilité de l'image est ensuite appliqué. L'image raster filtré est convertie en polygone

(photo 2). Une dissolution des quelques polygones liés à la non fermeture du feuillage des houppiers est appliquée à cette image afin d'avoir un seul polygone pour l'ensemble du houppier (photo 3).



1=segmentation ; 2=dissociation ; 3=filtrage ; 4=Projection des coordonnées géographiques

Sur l'image vectorielle produite, sont projetées les coordonnées GPS relevés au pied des individus inventoriés (photo 4). Nous avons enfin sélectionné les houppiers superposés aux points GPS de telle sorte que l'échantillon soit statistiquement acceptable et représentatif des différentes formes et tailles des espèces inventoriées.

Les diamètres ainsi obtenus sont exportés vers le tableur Excel et SPSS pour tester plusieurs modèles et en choisir celui qui présente une meilleure estimation de la biomasse.

III. GENERALITES SUR LE MODELE

Un échantillon aléatoire de 67 individus sur les 116 *Cordyla pinnata* est utilisé dans le cadre de cette étude. Ce choix d'une partie des individus inventoriés vient du fait que les 47 individus de *Cordyla pinnata* restants se trouvent soit dans des plantations d'anacardiens ne facilitant pas la différenciation des houppiers, soit des individus morts dont la réflectance de la chlorophylle n'est pas visible sur l'image. Ce faisant, le seul paramètre pouvant être extrait des images satellitaires pour expliquer la biomasse est le diamètre du houppier.

III.1 Paramètres du modèle

Les principaux paramètres du modèle sont:

- Le diamètre des houppiers extraits des images satellitaires (en m).
- La biomasse aérienne emmagasinée (en kg) ou la DBH (en cm)

Les pondérations entre la biomasse emmagasinée ou le Diamètre à hauteur de poitrine (Y_i) et les diamètres des houppiers extraits (DHE) sont des valeurs constantes telles que $3m < DHE < 29m$.

Sur l'ensemble des 67 individus retenus, les courbes d'évolution de la biomasse et du diamètre du houppier ont une allure voisine. Ce sont des courbes non linéaires se rapprochant d'une courbe d'équation cubique.

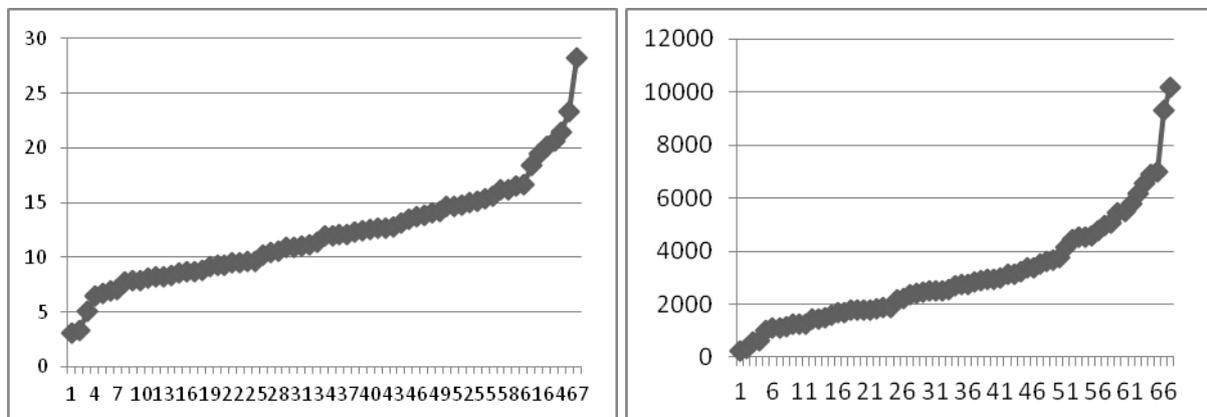


Figure 25: Courbes d'évolution du diamètre du houppier et de la biomasse aérienne

III.2 Diagramme de dispersion et tendance de la Biomasse Aérienne

L'existence de cette corrélation peut être déterminée graphiquement en traçant le nuage des points $M_i (x_i, y_i)$ ($1 \leq i \leq 67$) appelé diagramme de dispersion. La forme de ce nuage nous permettra de déceler le cas échéant, la nature de la liaison entre le diamètre du houppier et la biomasse aérienne ou la DBH. Il nous renseigne sur la forme de la liaison statistique entre les deux variables observées ainsi que sur l'intensité de cette liaison. Les courbes de tendance ci-après montrent une corrélation assez faible entre les diamètres des houppiers mesurés sur le terrain et calculées à partir du diamètre moyen ($(\text{grand diamètre} + \text{petit diamètre})/2$) ou le diamètre du houppier extrait de l'image satellitaire et les quantités de biomasse aérienne séquestrées par les individus de *Cordyla pinnata*.

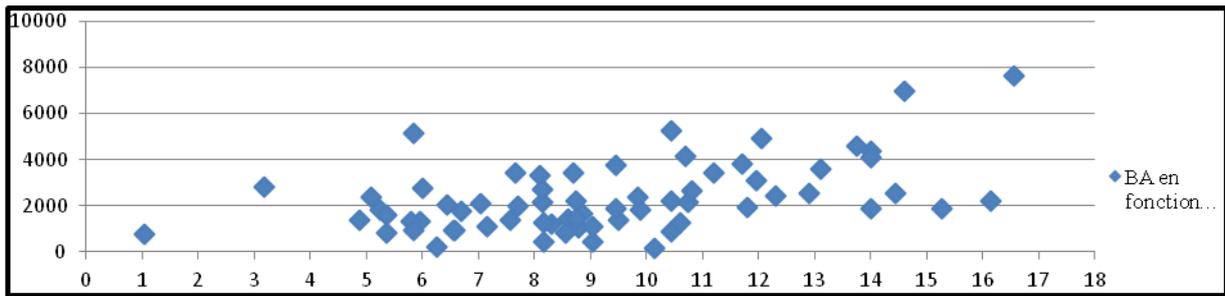


Figure 26: Nuage de points de la BA en fonction du diamètre houppier mesuré

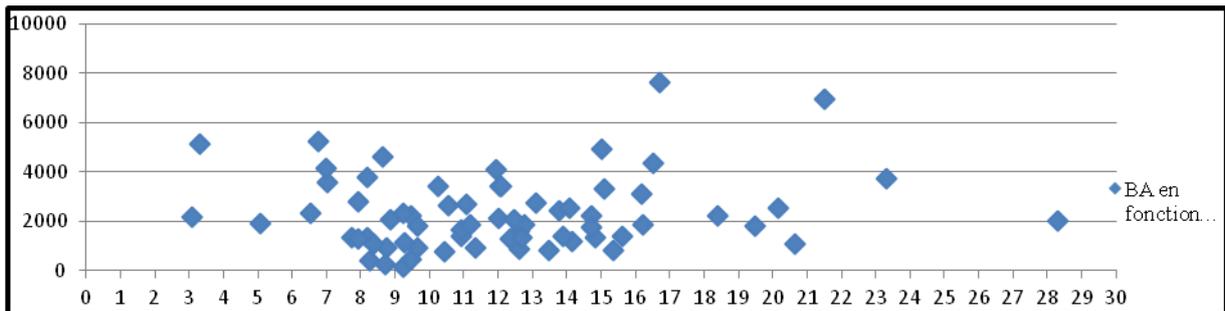


Figure 27: Nuage de points de la BA en fonction du diamètre houppier extrait

Ces deux distributions très similaires peuvent être source de confirmation de l'idée selon laquelle les mesures de houppiers sur le terrain peuvent être substituées par les traitements d'extraction du houppier sur une image de haute résolution.

Une dépendance assez forte est observée entre la BA ou le DBH et le diamètre moyen du houppier extrait de l'image suit une tendance se rapprochant davantage d'un modèle cubique au risque de 05%. Cette liaison entre ces variables est plus forte entre la BA et le diamètre du houppier extrait, suivant une équation du type : $BA = 210,27 + 518,98 * dhe - 53,20 * dhe^2 + 82 * dhe^3 + e_i$

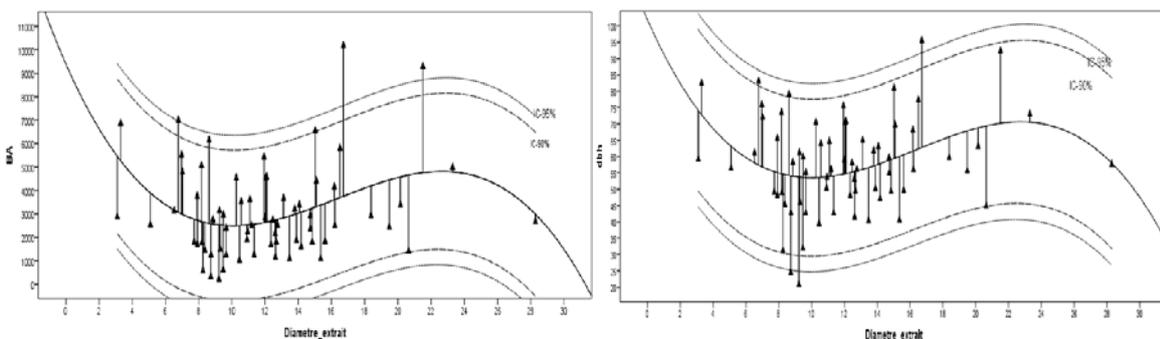


Figure 28: Courbes des intervalles (IC) de confiance autour d'un modèle cubique (trait jaune, trait noir) ajustés aux données de 67 arbres (points) mesurés à Keur Samba Guèye

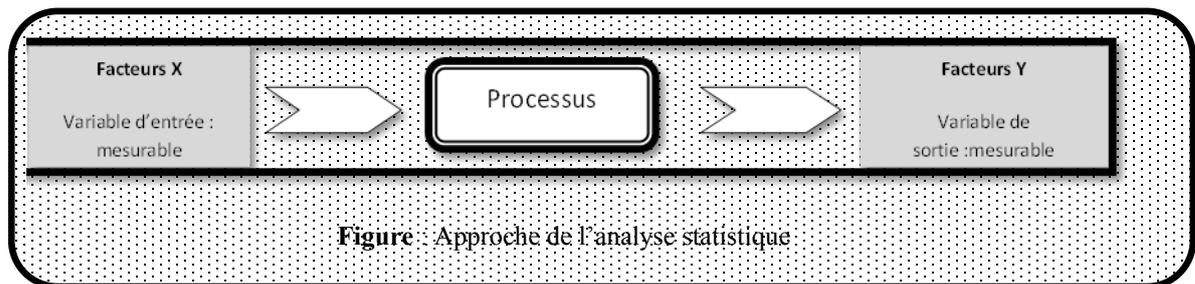
III.3 Position du problème et approche statistique

Etant donné une série de variables aléatoires doubles $(x_1, y_1), \dots, (x_{67}, y_{67})$ avec x_i diamètre du houppier de l'individu i et y_i biomasse aérienne du houppier de l'individu i ou DBH du houppier de l'individu i .

Connaissant le diamètre du houppier, peut-on prédire la biomasse aérienne ? Ou bien, connaissant le diamètre du houppier peut-on prédire le DBH ?

Cette relation entre x_i et y_i est-elle significative ? En d'autres termes y_i est-il expliqué par x_i ?

Pour répondre à ces interrogations, nous avons adopté une approche statistique qui se décline comme suit :



L'objectif fixé est d'arriver à une approximation de y_i par $\hat{y}_i + e_i$ avec \hat{y}_i l'estimateur ou l'approximation de y_i ou encore l'explication de y_i par la variable aléatoire x_i .

e_i , l'erreur d'approximation ou résidu est telle que $V(e_i) = 0$ (Les variables X_i sont aléatoires $E(e_i) = 0$ pour tout i , $V(e_i) = s^2$ pour tout $1 \leq i \leq 67$ (homoscédasticité des erreurs), $Cov(e_i, e_j) = 0$ pour tout i différent de j).

On peut noter à ce sujet que, d'après B. Clément (2010), la nature de la variable X est un paramètre important pour définir le type d'analyse à effectuer. Ainsi, pour une variable X donnée, différents traitements peuvent être effectués :

Tableau 9: Nature de la variable et types d'analyse statistique

Y : variable de sortie	X: variable de sortie	ANALYSE
Quantitatives	Quantitatives / numériques/ continues	Régression
Quantitatives	Qualitatives / catégoriques	ANOVA
Quantitatives	Quantitatives et qualitatives	ANCOVA

Source : B. Clément, 2010

Ainsi, cette étude s'appuie par analyse de régression, pour tester les probables liaisons statistiquement significatives de ces deux variables.

III.4 L'analyse par régression

III.4.1 Tests d'indépendances statistiques de Fisher

C'est un mécanisme qui permet de trancher entre deux hypothèses au vu des résultats d'un échantillon. Sous les deux hypothèses ci-après, quatre possibilités peuvent être dégagées :

H_0 : La biomasse aérienne est significativement liée au diamètre des houppiers extrait (DHE)

H_1 : La biomasse aérienne est significativement indépendante du diamètre des houppiers

Hypothèse H_0

Les deux variables étudiées (BA et DHE) sont indépendantes. Sous cette hypothèse, le fait de connaître le diamètre du houppier extrait d'un individu n'apporte aucune information sur la biomasse aérienne séquestrée par cet arbre.

Hypothèse H_1

Les deux variables étudiées ne sont pas indépendantes. En d'autres termes cela signifie que l'évolution de la biomasse aérienne n'est pas liée à celle du houppier. Cette hypothèse exprime le contraire de H_0 , d'où son nom d'hypothèse alternative.

Tableau 10: Paramètres d'hypothèses

	H_0	H_1
H_0	$1 - \alpha$	β
H_1	α	$1 - \beta$

III.4.2 Risques

Le risque est défini ici comme étant la probabilité de décider qu'une hypothèse est vraie alors qu'il existe une proportion à l'intérieur de laquelle il est faux. Supposons :

α = Probabilité de décider H_1 sachant que H_0 est vraie = risque de première espèce et

β = Probabilité de décider H_0 sachant que H_1 est vraie = risque de deuxième espèce

La puissance du modèle est défini par :

Puissance (P_β) = $1 - \beta$ = Probabilité de décider que H_1 / H_1 est vraie avec un risque α d'affirmer qu'il y a une différence significative alors qu'elle n'existe pas réellement.

Ou Puissance (P_α) = $1 - \alpha$ = Probabilité de décider que H_0 / H_0 est vraie avec un risque β d'affirmer qu'il y a une différence significative alors qu'elle n'existe pas réellement.

Dans ce cas de figure, la règle de décision s'établit comme suit :

- si la valeur calculée de la statistique de Fisher notée F , est inférieure à la puissance notée par P_α , on ne rejette pas l'hypothèse d'indépendance des deux variables.

- si la valeur calculée de la statistique F est supérieure à P_{α} , on rejette l'hypothèse d'indépendance des deux variables. On dira alors que les deux variables sont liées, au risque α .

III.4.3 Résultats du test

L'analyse du tableau ci-dessous montre l'existence d'une liaison entre ces deux variables. Les pondérations b_1 , b_2 et b_3 sont toutes non nulles. Cependant, la statistique Fisher (F) est inférieure à tous les seuils α_i (0,99 ; 0,95 ; 0,90,) donc l'hypothèse H_0 est à rejeter. C'est-à-dire que la liaison entre la biomasse aérienne et le diamètre du houppier extrait de l'image satellite n'est pas significative. Ce résultat est confirmé par la valeur du coefficient de régression de Pearson qui elle aussi, est très en deçà de la valeur conventionnelle (0,87) pour une bonne explication d'une variable par rapport à une autre.

Tableau 11: Résultat d'analyse des modèles testés

Résumé des modèles et paramètres estimés						
Variable dépendante: BA (kg)						
Modèle	Résumé du modèle		Paramètres estimés			
	R ²	F	Constante	b1	b2	b3
Linéaire	0,349	61,136	-183,076	338,455		
Logarithmique	0,258	39,708	-1397,636	2020,928		
Inverse	0,114	14,726	3576,087	-4797,009		
Quadratique	0,376	33,995	1391,987	-51,753	21,307	
Cubique	0,385	23,394	210,276	518,984	-53,204	2,828
Compound	0,330	56,047	458,050	1,189		
Power	0,420	82,403	123,551	1,358		
Growth	0,330	56,047	6,127	,173		
Exponentiel	0,330	56,047	458,050	,173		
Logistique	0,330	56,047	,002	,841		
Variable indépendante: Diamètre moyen du houppier extrait de l'image (m).						

III.5 Validation du modèle

La validation du modèle est faite à partir d'une comparaison avec la vérité-terrain que l'on désignera par la suite la référence. Compte tenu du fait que les houppiers segmentés ont été assimilés à leur configuration la plus proche (disque) et que les mesures de références utilisées (inventaires de terrain) sont assimilées à cette même configuration, la quantité de biomasse aérienne de chaque individu estimée à partir du modèle allométrique élaboré par Mbow (2009) est comparée avec celle produite par le modèle.

Le résultat est alors le suivant :

Tableau 12: Comparaison des résultats obtenus

Modèle	Type	R ²	Seuil (α)	Erreur	BA (kg)	Appréciation
Modèles de test	Cubique	0,39	5%	- 478306839,2	1478514037,32	Surestimation
	Power	0,42	5%	-198140,34	9057,798	Sous estimation
Référence	Mbow(2009)	0,99	5%	-----	207198,14	-----

Ces résultats obtenus avec les deux modèles (puissance et cubique) s'approchant plus de la référence (Modèle de Mbow, 2009) donnent respectivement des quantités de biomasses aériennes qui surestiment ou sousestiment la biomasse aérienne calculées avec la référence au risque de 5%.

Discussions de l'étude

Dans la pratique, l'attribution des éléments d'images (pixels) à certaines catégories d'objets est une opération complexe. Les pixels ayant des réflectances spectrales voisines et appartenant à des classes différentes sont difficiles à dissocier. Ce faisant, les plantations d'anacardiens contiguës aux forêts classées ont tendance à augmenter la surface de ces dernières.

Pour aller plus loin dans cette analyse et comprendre de manière fine les classes d'occupation du sol mis en jeu, il est nécessaire de s'interroger les images à utiliser pour faire ressortir les habitations ce qui n'a pas été possible avec les images Landsat utilisées.

Aussi, est-il important de préciser les limites d'application du modèle à ne pas dépasser lors de son utilisation. Tout d'abord le modèle a été calibré sur des houppiers d'individus ligneux dont le diamètre est compris entre 3,096 et 28,287 m. Bien qu'il soit calibré pour ces individus ligneux, l'utilisation du modèle reste conditionnée par les formations végétales éparses comme les parcs agro forestiers.

La segmentation supervisée appliquée dans cette étude nécessite donc des images de résolution fine, captées à un moment où le feuillage des arbres est assez développé afin que la réflectance des herbacées ne soit pas confuse avec celle des houppiers (saison sèche par exemple).

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

Cette étude sur l'analyse spatiale de l'occupation du sol de la communauté rurale de Keur Samba Guèye et la modélisation de la biomasse aérienne des individus de *Cordyla pinnata*, espèce prédominante des parcs arborés des villages de Santhie Rame et Keur Samba Guèye, a permis d'appréhender les changements d'occupation du sol et les quantité de carbone séquestrées dans le parc.

Le premier objectif est basé sur l'analyse diachronique d'images Landsat de 1999 et 2011. Il a permis d'identifier les différents changements survenus au cours de ces dix dernières années dans la communauté rurale mais aussi les facteurs ayant entraîné ces modifications ou conversions.

La seconde s'appuie sur des images Quickbird 2011 qui a fait l'objet d'un traitement ayant abouti à l'identification de paramètres adaptés à l'élaboration d'un modèle d'estimation de la biomasse aérienne. Ce modèle est conçu à partir des logiciels Arc GIS 10, Excel et SPSS. Il est obtenu à partir d'une corrélation de paramètres (diamètre du houppier) extraits des images satellitaires. Le houppier extrait explique 38,5% de la biomasse aérienne. Cette liaison entre la biomasse séquestrée par *Cordyla pinnata* n'est pourtant pas significative au risque de 5% de se tromper. Cette corrélation dépend ou peut être influencée par plusieurs autres facteurs. Il s'agit de la qualité et de la résolution de l'image, de sa date de capture, de la période de floraison de la plante, etc.

Au final, à travers cette recherche, nous avons apporté notre contribution à l'analyse des classes d'occupation du sol retrouvées dans cet espace ainsi que les facteurs explicatifs des changements observés. Pour ce faire, nous avons superposé deux images multi dates Landsat et mené des enquêtes afin d'explicitier les informations observées. Au-delà de l'aspect analytique de cet espace, l'étude a mis en place en place une méthodologie d'extraction de houppier basé sur l'identification de la réflectance des pixels de ce dernier. Ce résultat qui a permis d'amorcer un modèle mathématique d'estimation de la biomasse dont les paramètres sont extraits des images satellitaires nécessite des images rescentes et prises à des dates où le cycle foliaire est assez développé. Ce modèle pourrait dans ce sens être intéressant d'étendre les résultats de cette étude très ciblée sur localité où les individus de *Cordyla pinnata* ont un houppier non moins mutilé avec d'autres localités, voir d'espèces du pays, pour tenter de faire ressortir un modèle générale qui s'appliquera à tous les parcs agroforestiers.

BIBLIOGRAPHIE

Albertz J. et Tauch R. 1989. Rapport sur la conférence internationale de Berlin (Ouest) Vol N°1 : La télédétection au service du développement, 169 pages.

Alexandre D. Y. 2002. Initiation à l'agroforesterie en zone sahélienne : Les arbres des champs du Plateau Central au Burkina Faso, 234 pages.

Barima Y.S.S., Egnankou M.W., N'doumé C.T.A., N'kouamé F., Bogaert J. 2010: Paysage forestier dans la région de transition forêt-savane à l'est de la côte d'ivoire, Revue Télédétection, Vol. 9, n° 2, p. 129-138.

Baumer M. L'agroforesterie pour les productions animales, ICRAF, 340 pages

Boffa J. M. 2000. Les parcs agroforestiers en Afrique subsaharienne, Cahier FAO conservation, ICRAF, 258 pages.

Mbow C. 2009. « Potentiel et dynamique des stocks de carbone des savanes soudaniennes et soudano-guinéennes du Sénégal », Thèse.

Cellule de gestion du système d'information forestier du Mali. 2009. Répertoire des espèces forestières ligneuses des régions de Mopti, Tombouctou et Gao, Bamako, 181pages.

Clément B. 2010. Modèles d'analyse de variance, Génie stat conseil inc, 20 pages.

Kamel S. 2006. Quelques notions sur les méthodes de spatialisation et analyse de données, 7 pages.

Kane L. 2005 : Essai de construction d'indicateurs biologiques pour le suivi et l'évaluation de l'état et de la dynamique de la flore et de la végétation ligneuses dans la périphérie de la réserve de biosphère du Niokolo Koba (Sud-est du Sénégal), Thèse. 123 pages.

Mary F. (Cnearc) et Besse F. (Cirad-Forêt). 1995. Guide d'aide à la décision agroforestière, Tome 1, Gret, ministère de la Coopération, CTA.

Niang M. M. 1990. Contribution à la connaissance et à la valorisation des systèmes agroforestiers traditionnels au sud du bassin arachidier (Sénégal) : Cas du système à parc à *Cordyla pinnata* Lepr. C.U. de DSCHANG/DRPF/-ISRA.

Nugawela P., Baldé A. et Poublanc C. 2006. Support for accelerated growth and increased competitiveness, analysis and strategic framework for subsector growth initiatives, 78 pages.

Paegelow M., 2004. Géomatique et géographie de l'Environnement : De l'analyse spatial et la modélisation prospective, Tome 1, 201 pages.

Projet SEN/97/G13. 1997. Activités habilitantes pour les changements climatiques phase2. Identification des besoins en transfert de technologie dans le secteur de la forêt et de l'agroforesterie, 32 pages.

Raulier F., Ung C.-H. et Bégin J. 1997. « Utilité sylvicole de la modélisation fonctionnelle : Application aux érablières », Service Canadien des forêts, Centre de foresterie des Laurentides, Sainte-Foy, 15 pages.

Roy J. M. 2013. Arc GIS 10-Question fréquemment posées, 75 pages

Sall P. N. 1996. Les parcs agroforestiers au Sénégal, ISRA/DRPF-Dakar-Sénégal, 147 pages

Samaké O., Dakouo J. M., Kalinganire A., Bayala J. et Koné B. 2011. Régénération naturelle assistée Gestion des arbres champêtres au Sahel, World Agroforestry Centre (ICRAF) Manuel Technique N°16, 29 pages.

Sarr M. A. 2009. Cartographie des changements de l'occupation du sol entre 1990 et 2002 dans le nord du Sénégal (Ferlo) à partir des images Landsat.

SEREIN-Occasional Paper N°19, 2005. Homme, plantes et environnement au Sahel occidental, 331 pages.

Zhou J. 2012. « Application de l'identification d'objets sur images à l'étude de canopées de peuplements forestiers tropicaux : cas des plantations d'Eucalyptus et des mangroves » Université Montpellier II, 2012, pages 36 à 66.

SITES INTERNET

www.cybergeogeo.revues.org

www.westafricanplants.senckenberg.de

www.esri.org

www.ird.fr

www.agroforesterie.org

ANNEXES.

ANNEXE 1 : Fiche de collecte de données biophysiques

ID	UTM_X	UTM_Y	Nom Espèces	C30cm [cm]	H [m]	H 1re br [m]	D1 [m]	D2 [m]	PPI [m]	Obs.	Ocsol	Reg Ligneuses	Herbacées dominantes
----	-------	-------	-------------	------------	-------	--------------	--------	--------	---------	------	-------	---------------	----------------------

ANNEXE 2: Guide d'entretien ANNEXE 5

GUIDE D'ENTRETIEN DESTINE AUX VILLAGES ETUDIES

Numéro : Village : Date : Début de l'activité : Fin :

I. ETAT DU COUVERT VEGETAL

Comment était la végétation au temps de vos ancêtres ?

Comment est-elle aujourd'hui ?

Pouvez-vous citer des espèces de plantes qui ont disparue ?

Pouvez-vous citer des espèces de plantes qui sont devenues rares ?

Pouvez-vous citer des espèces de plantes qui sont apparues ?

Quelles sont les conséquences ?

Comment appréciez-vous la dynamique de la faune ? Cours d'eau ?

Comment les ressources en eau ont-elles évoluées (mares, nappe, cours d'eau...)

Quelles sont les mares qui ont en permanence de l'eau ?

Quelles sont les mares temporaires ? Permanentes ?

Par rapport au passé comment a évolué cette situation ?

Quand avez-vous constaté ces changements ?

Quelles sont les causes ? les conséquences ?

II. EXPLOITATION FORESTIERE

Quels sont les arbres que vous exploitez dans le parc ?

Quels sont les parties que vous prélevez ?

A quel moment sont ces parties sont-elles prélevées ?

Que faites vous des parties prélevées ?

III. AGRICULTURE

Comment a évolué l'agriculture dans la zone ?

- Superficies ou nombre de champs ?
- Les spéculations agricoles cultivées ?
- Les pratiques culturales ?
- Les rendements ?

Y'a-t-il de nouvelles zones de culture ? Si oui à quel niveau ?

Quelles sont les causes ? Les problèmes ?

Quelles solutions préconisez-vous ?

IV. ELEVAGE

Quel type d'élevage pratiquez-vous ?

Quel est la composition de votre cheptel ?

Quelles appréciations faites-vous de l'évolution des pâturages ? Et depuis quand ?

Quels sont les facteurs déterminants ? Et les conséquences ?

Quels sont les problèmes rencontrés dans le secteur de l'élevage ?

Les causes ? Solutions ?

ANNE4 : Extrait de la table des données biophysiques

ID	UTM X	UTM Y	Z	Date	Heure	Nom Espèces	Circonf 1,3 [cm]	DBH 1,3 [cm]	D L	BA (kg)	BAS (kg)	C. BAS (kg)	CO ₂ (kg)	Surf ter [cm ²]	H [m]	H 1 ^{re} br [m]	D1 [m]	D2 [m]	Dmoy [m]	Circonf [m]	Surf [m ²]	PPI [m]
1	366721	1508425	20	11/18/2012	10:14:38	<i>Cordyla pinnata</i>	223,2	71,08	0,75	4639,19	3479,39	1739,70	6377,73	3966,42	12,9	2,9	15,4	12,6	14	43,96	153,86	49,45
2	366698	1508367	20	11/18/2012	10:24:46	<i>Cordyla pinnata</i>	234,4	74,65	0,75	5277,20	3957,90	1978,95	7254,83	4374,47	12,8	2	15,3	12,7	14	43,96	153,86	40,5
3	366692	1508371	19	11/18/2012	10:27:49	<i>Cordyla pinnata</i>	175	55,73	0,75	2464,86	1848,65	924,32	3388,57	2438,30	10,5	3,3	13,3	12,4	12,85	40,349	129,62	62,2
4	366611	1508319	14	11/18/2012	10:33:44	<i>Cordyla pinnata</i>	217,4	69,24	0,75	4329,55	3247,16	1623,58	5952,05	3762,96	12,9	5,1	20,9	18,2	19,55	61,387	300,03	6,5
5	366603	1508310	15	11/18/2012	10:38:27	<i>Cordyla pinnata</i>	173	55,10	0,75	2393,08	1794,81	897,41	3289,89	2382,88	11,3	2,5	20,9	18,2	19,55	61,387	300,03	97,23
6	366691	1508264	15	11/18/2012	10:49:08	<i>Cordyla pinnata</i>	188	59,87	0,75	2965,46	2224,09	1112,05	4076,77	2814,01	11,5	3,1	12	10,4	11,2	35,168	98,47	10,17
7	366629	1508169	18	11/18/2012	10:55:43	<i>Cordyla pinnata</i>	200	63,69	0,75	3482,03	2611,52	1305,76	4786,92	3184,71	11,1	4,9	12,5	10,6	11,55	36,267	104,72	97,2
8	366657	1508114	19	11/18/2012	11:02:20	<i>Cordyla pinnata</i>	162	51,59	0,75	2022,32	1516,74	758,37	2780,18	2089,49	10,7	3,8	11,1	10,25	10,675	33,5195	89,46	112,6
9	366686	1508038	25	11/18/2012	11:08:31	<i>Cordyla pinnata</i>	171,4	54,59	0,75	2336,64	1752,48	876,24	3212,30	2339,01	12,5	4,4	12,7	8,55	10,625	33,3625	88,62	62,57
10	366662	1508028	20	11/18/2012	11:39:29	<i>Cordyla pinnata</i>	256,4	81,66	0,75	6691,57	5018,68	2509,34	9199,24	5234,15	11,7	3,5	12,7	10,9	11,8	37,052	109,30	96,3
11	366629	1507996	11	11/18/2012	11:43:27	<i>Cordyla pinnata</i>	220	70,06	0,75	4466,63	3349,98	1674,99	6140,50	3853,50	12,1	3,3	17,7	12,9	15,3	48,042	183,76	26,88
12	366522	1507989	15	11/18/2012	11:50:32	<i>Cordyla pinnata</i>	239	76,11	0,75	5554,95	4166,21	2083,11	7636,67	4547,85	14,9	3,4	18,6	15,59	17,095	53,6783	229,41	48,3
13	366543	1507907	18	11/18/2012	12:02:37	<i>Cordyla pinnata</i>	200	63,69	0,75	3482,03	2611,52	1305,76	4786,92	3184,71	12	3,7	16,93	11,3	14,115	44,3211	156,40	104,42
14	366538	1507844	28	11/18/2012	12:12:42	<i>Cordyla pinnata</i>	212	67,52	0,75	4053,65	3040,24	1520,12	5572,75	3578,34	11,2	2	13,85	8,6	11,225	35,2465	98,91	87,32
15	366469	1507727	24	11/18/2012	12:22:42	<i>Cordyla pinnata</i>	199	63,38	0,75	3436,91	2577,69	1288,84	4724,90	3152,95	10,3	3	11,71	9,13	10,42	32,7188	85,23	72,9
16	366287	1507831	19	11/18/2012	12:57:50	<i>Cordyla pinnata</i>	187	59,55	0,75	2924,81	2193,61	1096,80	4020,89	2784,16	12,8	3,2	19,16	12,63	15,895	49,9103	198,33	88,7
17	366269	1507856	19	11/18/2012	01:01:33	<i>Cordyla pinnata</i>	299	95,22	0,75	10091,31	7568,48	3784,24	13873,03	7117,91	14,9	3,3	14,28	9,61	11,945	37,5073	112,01	165,2
18	366233	1507831	27	11/18/2012	01:09:49	<i>Cordyla pinnata</i>	186,4	59,36	0,75	2900,60	2175,45	1087,72	3987,60	2766,32	11,9	5,2	13,3	6,6	9,95	31,243	77,72	28,7
19	366174	1507824	21	11/18/2012	01:16:09	<i>Cordyla pinnata</i>	260	82,80	0,75	6944,22	5208,16	2604,08	9546,57	5382,17	14,1	5	16,3	12,9	14,6	45,844	167,33	40,57
20	366124	1507842	23	11/18/2012	01:20:49	<i>Cordyla pinnata</i>	292,4	93,12	0,75	9503,96	7127,97	3563,98	13065,56	6807,15	13,6	3,6	19,5	14,6	17,05	53,537	228,20	60,14

i

UTM X et UTM Y=Coordonnées géographiques ; Z=altitude ; Circonf=Circonférence ; DBH=diamètre à hauteur de poitrine ; C=carbone ; BAS=biomasse aérienne sèche ; H=hauteur de l'arbre ; H1er=hauteur première branche ; D1 et D2=grand diamètre et petit diamètre ; Surf=surface ; Dmoy=diamètre moyen ; PPI= plus proche individu ;

b