



HAL
open science

Structuration spatiale de la biodiversité agricole dans la zone cotonnière du Mali

Sidi Dembele

► **To cite this version:**

Sidi Dembele. Structuration spatiale de la biodiversité agricole dans la zone cotonnière du Mali. Géographie. Normandie Université, 2018. Français. NNT : 2018NORMC046 . tel-03085785

HAL Id: tel-03085785

<https://theses.hal.science/tel-03085785v1>

Submitted on 22 Dec 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Normandie Université

THÈSE

Pour obtenir le diplôme de doctorat

Spécialité GEOGRAPHIE

Préparée au sein de l'Université de Caen Normandie

Structuration spatiale de la biodiversité agricole dans la zone cotonnière du Mali

**Présentée et soutenue par
Sidi DEMBELE**

**Thèse soutenue publiquement le 21/12/2018
devant le jury composé de**

Mme AGNES BEGUE	Chargé de recherche HDR, CIRAD-PERSYST de MONTPELLIER	Rapporteur du jury
M. SAMBA DIALLO	Professeur, Université Bamako	Rapporteur du jury
Mme MARION AMALRIC	Maître de conférences, Université Tours François Rabelais	Membre du jury
M. MAMY SOUMARE	Maître de conférences, Université Bamako	Membre du jury
M. BENJAMIN STECK	Professeur des universités, Université Le Havre Normandie	Membre du jury
M. THIERRY SAINT-GERAND	Professeur des universités, Université Caen Normandie	Directeur de thèse

**Thèse dirigée par THIERRY SAINT-GERAND, Identité et Différenciation des Espaces
de l'Environnement et des Sociétés**



UNIVERSITÉ
CAEN
NORMANDIE



ides
UMR 6266 / IDEES-Rouen

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	X
RESUME	XII
ABSTRACT	XIV
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS	XV
Introduction	1
L'Agriculture au Mali	1
Problématique	3
Questions de recherche	7
Les hypothèses	7
Les objectifs	7
PREMIERE PARTIE : CADRE GENERAL DE LA THESE	9
CHAPITRE I : DEFINITION DES CONCEPTS	10
1. Concepts liés à l'agriculture tropicale	10
1.1. Système agraire	10
1.2. Terroir	11
1.3. Exploitation agricole	11
1.4. Système de production	13
1.5. Système de culture	13
1.6. Le système d'élevage	15
1.7. Parcelle	15
1.8. Jachère	16
2. Concept d'indicateur	16
3. Biodiversité et diversité agricole	18
3.1. La biodiversité	18
3.2. L'agrobiodiversité	19
4. Concept de paysage agricole	19
4.1. La fragmentation du paysage	20
4.2. Structure paysagère	20
4.3. Composition paysagère	20
5. Synthèse de chapitre I	20
CHAPITRE II : LA ZONE COTONNIERE DU MALI	21
2. Le coton en Afrique	21
2.1. Historique	21

2.2.	Les bassins de production	22
2.3.	Historique de la culture du coton au Mali.....	24
2.4.	Caractéristiques de la zone cotonnière du Mali-sud	25
2.4.1.	Relief.....	25
2.4.2.	Climat et végétation	28
2.4.2.1.	Le domaine soudanien	28
2.4.2.2.	Le domaine soudano-guinéen.....	28
3.	Evolution de la population et de sa répartition	33
4.	L'agriculture dans la zone cotonnière	35
4.1.	La zone Nord soudano-sahélienne.....	35
4.2.	Le vieux bassin cotonnier	35
4.3.	La zone hétérogène en équilibre (Sikasso-Bougouni).....	35
4.4.	La zone d'extension du Sud	36
4.5.	La Zone Haute Vallée du Niger (OHVN)	36
4.6.	La nouvelle zone cotonnière.....	36
5.	Synthèse de chapitre II	38
LA DEUXIEME PARTIE : DIVERSITE PAYSAGERE		39
CHAPITRE III : APPROCHES METHODOLOGIQUES DE L'ANALYSE DU PAYSAGE.....		40
3.1.	Indicateur sur le paysagère.....	40
3.1.1.	Choix des indicateurs paysagers.....	41
3.1.2.	Indicateurs de la diversité du paysage	42
3.2.	Le renseignement des indicateurs à partir des images.....	46
3.2.1.	Choix et acquisition des images	46
3.2.2.	Traitement des images	48
3.2.2.1.	La composition colorée	48
3.2.2.2.	Définition de zones d'entraînement pour la classification supervisée.....	49
3.2.2.3.	Classification supervisée ou assistée par ordinateur.....	50
3.2.2.4.	Evaluation de la précision de la classification	51
3.2.2.5.	Vectorisation et calcul de superficie des unités d'occupation	52
3.2.2.6.	Phase de validation de traitement.....	52
4.	Synthèse de chapitre III.....	55
CHAPITRE IV : LA DIVERSITE DES UNITES D'OCCUPATION DES SOLS		56
4.1.	Les unités d'occupation des sols	56

4.1.1.	Forêt galerie.....	56
4.1.2.	Forêt claire.....	57
4.1.3.	Savane arborée	58
4.1.4.	Savane boisée.....	59
4.1.5.	Savane arbustive	60
4.1.6.	Prairie hygrophile	61
4.1.7.	Culture et jachères récentes	62
4.1.8.	Agriculture inondée	62
4.1.9.	Cours d'eau.....	63
4.1.10.	Zone rocheuse	64
4.2.	La distribution des unités d'occupation des sols.....	64
4.2.1.	Synthèse de la diversité paysagère.....	64
4.2.2.	Dans la zone nord soudano-sahélienne	68
4.2.3.	Dans le vieux bassin cotonnier	70
4.2.4.	Dans la zone hétérogène en équilibre	72
4.2.5.	Dans la zone d'extension du Sud	74
4.2.6.	Dans la zone de l'office de Haute vallée du Niger (OHVN).....	76
4.2.7.	Dans la zone nouvelle zone cotonnière	78
4.2.8.	Dans la zone Périurbaine 1 centré sur Kangaba.....	80
4.2.9.	Dans la zone périurbaine 2 centré sur Kalabancoro	82
4.3.	Synthèse de Chapitre IV	84
CHAPITRE V : LA STRUCTURATION DE LA DIVERSITE PAYSAGERE		85
5.1.	La composition	86
5.1.1.	Indicateurs de composition au niveau des classes d'occupation de la zone nord soudano-sahélienne.....	87
5.1.2.	Indicateurs de composition au niveau des classes d'occupation du vieux bassin cotonnier	87
5.1.3.	Indicateurs de composition au niveau des classes d'occupation de la zone hétérogène en équilibre	88
5.1.4.	Indicateurs de composition au niveau des classes d'occupation de la zone d'extension du Sud.....	89
5.1.5.	Indicateurs de composition au niveau des classes d'occupation de la zone haute vallée du Niger	90
5.1.6.	Indicateurs de composition au niveau des classes d'occupation dans la nouvelle zone cotonnière	91

5.2.	Les indicateurs de fragmentation du paysage dans la zone cotonnière du Mali	92
5.2.1.	Pour la zone Nord soudano sahélienne	93
5.2.2.	Pour le vieux bassin cotonnier	94
5.2.3.	Pour la zone hétérogène en équilibre	94
5.2.4.	Pour la zone d'extension du sud	95
5.2.5.	Pour la zone Haute vallée du Niger	96
5.2.6.	Pour la nouvelle zone cotonnière	97
5.3.	Les indicateurs d'agrégation du paysage de la zone cotonnière	97
5.3.1.	Indicateur d'agrégation de la zone Nord Soudano-sahélienne	98
5.3.2.	Indicateur d'agrégation de la zone Nord Soudano-sahélienne	99
5.3.3.	Indicateur d'agrégation de la zone hétérogène en équilibre	100
5.3.4.	Indicateur d'agrégation de la zone d'extension du Sud	100
5.3.5.	Indicateur d'agrégation de la zone de haute vallée du Niger.....	101
5.3.6.	Indicateur d'agrégation de la nouvelle zone cotonnière.....	102
5.4.	Synthèse de chapitre V.....	103
	TROISIEME PARTIE : APPREHENSION DE LA BIODIVERSITE AGRICOLE A DIFFERENTES ECHELLES SPATIALES	104
	CHAPITRE VI : CARACTERISATION DE LA BIODIVERSITE	105
6.1.	Le cadre conceptuel.....	105
6.1.1.	Le concept d'indicateur	106
6.1.1.1.	Objectif d'un indicateur	106
6.1.1.2.	Les caractéristiques d'un bon indicateur.....	106
6.1.1.3.	Utilisation des indicateurs	107
6.2.	Quelques modèles d'indicateurs.....	107
6.2.1.	Les Modèles d'indicateurs : Modèle PER (Pression Etat Réponse).....	107
6.2.2.	Modèle DPSIR (Driving forces, Pressures, State, Impact, Reponses).....	108
6.2.3.	Démarche IDEA (Indicateur de Durabilité des Exploitations Agricoles).....	109
6.2.4.	Indicateurs de la biodiversité agricole de la CDB.....	110
6.2.5.	Les indicateurs de biodiversité agricole de l'Institut Français de la Biodiversité (IFB).	110
6.2.6.	Indicateurs de biodiversité agricole de l'OCDE	111
6.3.	La construction des indicateurs de biodiversité.....	111
6.3.1.	Notre choix du cadre conceptuel pour les indicateurs de biodiversité agricole	

6.3.2.	Choix de la construction des indicateurs	112
6.3.3.	Les indicateurs retenus.....	113
6.3.3.1.	Les indicateurs d'Etat.....	113
6.3.3.2.	Les indicateurs de pression.....	115
6.3.3.3.	Les indicateurs de réponses	116
6.3.4.	Retour des acteurs sur les indicateurs retenus.....	118
6.4.	Cadre opérationnel	123
6.4.1.	Echantillonnage.....	123
6.4.2.	Les questionnaires.....	128
6.4.2.1.	Fiche exploitations.....	128
6.4.2.2.	Fiche champs	128
6.4.2.3.	La saisie et le contrôle des données.....	128
6.4.2.4.	Analyse des données	129
6.5.	Synthèse du chapitre VI.....	130
CHAPITRE VII : LA MESURE DE LA BIODIVERSITE AGRICOLE.....		131
7.1.	Les indicateurs d'Etat	131
7.1.2.	L'Indicateur de diversité spécifique.....	131
7.2.1.	Classes d'indicateur spécifique à l'échelle des exploitations agricoles.....	133
7.1.3.	Indicateur de diversité des Systèmes de cultures identifiés	137
7.1.3.1.	Classification des indicateurs de diversité des Systèmes de cultures à l'échelle de l'exploitation.....	138
7.2.	Les indicateurs de pression.....	141
7.2.1.	Indicateur de pression spécifique 1 (superficie).....	141
7.2.1.2.	Pour le coton	141
7.2.1.3.	Pour le Maïs	142
7.2.1.4.	Pour le Sorgho	144
7.2.1.5.	Pour le Mil.....	147
7.2.1.6.	Pour l'arachide	148
7.2.2.	Indicateur de pression spécifique 2 (parcelles)	150
7.2.2.1.	Pour le coton	151
7.2.2.2.	Pour le Maïs	152
7.2.2.3.	Pour le Sorgho	154
7.2.2.4.	Pour le Mil.....	155
7.2.2.5.	Pour l'arachide	157

7.3. Les indicateurs de réponse.....	159
7.3.1. Le Rendement.....	159
7.3.1.1. Evolution du rendement du coton de 2013 à 2015.....	159
7.3.1.2. Classification des rendements de coton	160
7.3.1.3. Evolution du rendement du maïs de 2013 à 2015	162
7.3.1.4. Classification du rendement de maïs	163
7.3.1.5. Evolution du rendement du Sorgho de 2013 à 2015.....	164
7.3.1.6. Classification du rendement de sorgho	165
7.3.1.7. Evolution du rendement du mil de 2013 à 2015	167
7.3.1.8. Classification du rendement de mil	168
7.3.1.9. Evolution du rendement d’arachide de 2013 à 2015	170
7.3.1.10. Classification du rendement d’arachide	170
7.3.2. Indicateur de stabilité du rendement	172
7.3.2.1. Stabilité du rendement de coton	173
7.3.2.2. Stabilité du rendement de Maïs	175
7.3.2.3. Stabilité du rendement de Sorgho.....	177
7.3.2.4. Stabilité du rendement de Mil.....	178
7.3.2.5. Stabilité du rendement d’arachide	180
7.4. Synthèse du chapitre VII	181
QUATRIEME PARTIE : ETAT ET SERVICES ECOSYSTEMIQUES DE LA BIODIVERSITE AGRICOLE.....	183
CHAPITRE VIII : MODELE D’EXPLICATION DE LA BIODIVERSITE EN LIEN AVEC LE CHANGEMENT D’ECHELLE	184
8.1. Les changements d’échelle	184
8.2. Notre approche du changement d’échelle	186
8.3. Méthodologie	188
8.3.1. Analyse en composante principale (ACP).....	188
8.3.2. La Classification Ascendante Hiérarchique (CAH).....	188
8.3.3. Mesure d’autocorrélation spatiale des indicateurs au niveau des villages ...	189
8.4. Catégorisation des exploitations agricoles.....	190
8.4.1. Les variables discriminantes sélectionnées	190
8.4.2. La typologie des exploitations agricoles	194
8.4.2.1. Les exploitations agricoles de type 1.....	194
8.4.2.2. Les exploitations agricoles de type 2.....	194

8.4.2.3.	Les exploitations agricoles de type 3.....	195
8.4.2.4.	Les exploitations agricoles de type 4.....	195
8.5.	La mesure d'autocorrélation spatiale des indicateurs	197
8.5.1.	L'autocorrélation spatiale globale Moran I	197
8.5.2.	L'autocorrélation spatiale locale LISA	199
8.6.	La spatialisation des systèmes de culture	203
8.6.1.	Le Système de Culture 1 : Coton/maïs	203
8.6.2.	Le Système de Culture 2 : Coton/Maïs et Sorgho ou mil	204
8.6.3.	Le Système de Culture 3 : Céréales Mil/Sorgho et légumineuses.....	205
8.6.4.	Le Système de Culture 4 : Céréaliculture pure Mil/Sorgho/Maïs.....	206
8.6.5.	Le Système de Culture 5 : Légumineuses (Arachide, Niébé ou Soja)	207
8.6.6.	Le Système de Culture 6 : Riz.....	208
8.6.7.	Le Système de Culture 7 : Maïs, Mil, Sorgho et légumineuses	209
8.6.8.	Synthèse de systèmes de culture	210
	Synthèse du chapitre VIII.....	212
CHAPITRE IX : SERVICES ECOSYSTEMIQUES DE LA BIODIVERSITE		
	AGRICOLE	213
9.1.	Les services d'entretien	213
9.2.	Les services d'approvisionnement (ou de prélèvement)	214
9.3.	Les services de régulation	214
9.4.	Les services culturels	214
9.5.	Méthodologie	220
9.5.1.	Analyse du niveau de sécurité alimentaire	220
9.5.2.	Régression linéaire	220
9.6.	Etat de la sécurité alimentaire dans la zone cotonnière du Mali.....	220
9.6.1.	La disponibilité céréalière à l'échelle des villages	221
9.6.2.	La disponibilité céréalière à l'échelle des exploitations	225
9.7.	L'impact de la diversité spécifique sur le niveau de sécurité alimentaire	229
9.8.	L'impact de la diversité des systèmes de culture sur la sécurité alimentaire ..	229
9.9.	Relation entre rendement moyen des denrées alimentaires et les autres variables.....	230
9.10.	La stabilité du rendement et son impact sur le bien être des exploitations ..	230
9.10.1.	Pour le Coton	230
9.10.2.	Pour le Maïs	231

9.11. Impact de la pression spécifique sur la sécurité alimentaire	232
9.12. Synthèse du chapitre IX.....	233
CONCLUSION GENERALE	234
CONCLUSION GENERALE.....	235
BIBLIOGRAPHIE	238
BIBLIOGRAPHIE	239
LISTE DES FIGURES	266
LISTE DES TABLEAUX	268
LISTE DE PUBLICATIONS ET COMMUNICATIONS	271
ANNEXES	272

A la mémoire de mon père *feu Soumaïla DEMBELE*, Que le Tout Puissant l'accueille dans son paradis éternel.

Je dédie ce travail.

REMERCIEMENTS

Ce travail est le fruit de l'excellente coopération entre l'Université de Bamako et l'Université de Caen Normandie en France, rendue possible grâce à la bourse d'étude du Service de Coopération et d'Action Culturelle (SCAC) de l'Ambassade de France à Bamako. Mes remerciements vont à l'endroit du corps professoral de ces deux Universités (Pr Thierry Saint GERAND Directeur du Laboratoire IDEES Caen, Dr David GAILLARD, Dr Emmanuel BONNET, Dr Fabien GUILLOT) et à tous les personnels du SCAC de l'Ambassade de France au Mali.

J'adresse mes remerciements au corps enseignant du Département de Géographie de la Faculté d'Histoire et de Géographie de l'Université de Bamako pour les efforts consentis à ma formation, pour les conseils et les encouragements. Une mention spéciale est adressée au Professeur Samba DIALLO Recteur de l'Université des Sciences Sociales et de Gestion de Bamako, Dr Yaranga COULIBALY, Dr Baba COULIBALY, Dr Abdou BALLO, M. Fousseiny CISSOKO, Dr Hamadoun TRAORE et tous les autres professeurs du département de Géographie.

J'exprime ma gratitude à Dr Mamy SOUMARE Vos accompagnements, soutiens et conseils n'ont jamais manqué tout au long de mon parcours universitaire depuis la maîtrise jusqu'à ce jour.

Mes sincères remerciements à tous ceux et toutes celles qui d'une manière ou d'une autre ont contribué à l'aboutissement de cette thèse. En particulier je remercie Dr Cheick Hamala DIAKITE qui m'a donné de précieux conseils tout au long de ce travail de recherche, Dr Hamidou KONARE, Chef du Laboratoire Sol-Eau-Plante pour m'avoir accepté au sein de la Structure. Je remercie également Dr Lassana TOURE pour ses conseils et ses appuis techniques. Je ne saurais terminer sans dire merci à tous mes collègues du Laboratoire Sol-Eau-Plante : Dr Souleymane Sidi TRAORE, Samba DEMBELE, Moriké DIAWARA, Alou TRAORE, Sidiki TRAORE, Mama DIARRA, Dansiné DIARRA, Alassane BA, Bandiougou DEMBELE et Karim DOUMBIA.

J'adresse mes sincères remerciements à tous les membres de ma famille et à tous mes proches et amis qui m'ont toujours soutenu et encouragé au cours de la réalisation de cette thèse de doctorat au cours de bons et moins bons moments.

Une pensée profonde à mes deux mamans Fatoumata TOURE et Fatoumata DEMBELE, à mon épouse Mariam DIOP, mon grand-père Amadou DEMBELE pour son affection et pour m'avoir aimé comme ton propre fils. Mes sincères remerciements s'adressent à mes frères et sœurs : Siaka, Awani, Baba, Papou, les jumelles (Fafouné et Kadiafouné), Lamine, Assétou, Ousmane, Mamadou, Minata, Boubacar et Kadidia DEMBELE vous avez qui m'ont été solidaires durant les moments difficiles. A vous un remerciement sans précédent.

Je remercie également mes oncles et tantes : Madou, Abdoulaye, Cheichna, Issa, Adama, Assétou, Mamou, Fanta, Djénébou, Baïdy TRAORE, SOGODOGO et tous les autres de San,

Sikasso, Bamako, Ségou pour vos amours, conseils et surtout pour vos compréhensions. Que ce document soit pour vous un signe de reconnaissance de ma part. Mention spéciale pour Sébé KANE et sa femme Fati COULIBALY pour leurs substantiels conseils.

Je remercie très sincèrement mes amis : Mamadou KANE, Idrissa BALEM, Issiaka TRAORE, Mamadou TAMBADOU, Ahamadou DIAKITE, Tahirou TRAORE, Sagui K TRAORE et Djiby SALL.

RESUME

La diversité des systèmes de culture et des variétés joue un rôle important dans la capacité des agricultures familiales à résister aux chocs socio-économiques et environnementaux. Pour une meilleure conservation, cette diversité agricole doit d'être caractérisée et suivie dans l'espace et le temps. Tandis qu'ils étaient dominés par des éléments sur le prix, les surfaces et les productions jusqu'à récemment, les systèmes de suivi agricole commencent à intégrer les questions de diversité. Alors que jusqu'à la fin des années 1990 elle était considérée comme un facteur limitant dans l'amélioration de la productivité des systèmes d'exploitations dans le processus de sélection variétale. Or dans une situation d'incertitude pluviométrique, pour réduire le risque de cet aléa, les agriculteurs ont recours à plusieurs espèces et variétés pour survivre et produire au travers de tous les aléas rencontrés. La stratégie paysanne consiste à cultiver à la fois plusieurs variétés présentant diverses caractéristiques agronomiques (précocité, rendement, résistance aux pathologies, aux parasites, à la sécheresse, etc.) et culinaires dans un même champ ou dans des champs différents. Cette stratégie permet aux paysans de cultiver les variétés s'adaptant le mieux aux conditions pédologiques de leurs champs et répondant à la fois à leurs divers besoins.

C'est dans ce contexte que se situe la présente thèse qui vise principalement à analyser la structuration spatiale de l'agrobiodiversité dans la zone cotonnière. Pour atteindre cet objectif, plusieurs méthodes et approches ont été utilisées. L'approche adoptée combine l'analyse numérique d'images satellitaires et l'utilisation de données issues d'enquêtes de terrain. L'analyse de ces données s'appuie sur la distribution spatiale de la biodiversité et sa corrélation avec les pratiques et les conditions agro-écologiques, les résultats et les performances agronomiques.

Les principaux résultats issus de l'analyse des données de l'étude sont :

- a) On observe une grande hétérogénéité et une diversité des paysages dans la zone cotonnière du Mali-Sud avec au total, onze (11) unités de paysages ;
- b) On constate une grande diversité au niveau spécifique et des systèmes de culture. Les valeurs moyennes de l'indicateur de diversités spécifiques les plus sont enregistrées dans les villages où la moyenne pluviométrique est comprise entre 700 à 1000 mm d'eau suivis par des villages de moins de 700 mm ;
- c) L'indicateur de pression spécifique montrant une répartition géographique des pressions des différentes espèces culturales. En effet dans les villages où le coton est en tête de rotation, il exerce une forte pression sur les autres espèces. Dans ces villages, la surface en coton est beaucoup plus importante que celle des autres espèces ;
- d) Le rendement fait constater que la plupart des villages ont des moyens de coton au-dessus de la moyenne nationale en 2015. En analysant son évolution entre 2013 et 2015, on constate une baisse de rendement dans la plupart des villages même si cette baisse est très souvent en dent de scie avec des hausses en 2013 et 2014.
- e) L'indicateur de stabilité du rendement montrant que les rendements sont stables avec toutes les espèces sauf le maïs..
- f) Ces résultats ouvrent la voie à une plus grande contribution de la géographie dans l'analyse agronomique.

Mots-Clés: Structuration spatiale, diversité, biodiversité, analyse spatiale, indices paysagers, échelle.

ABSTRACT

The diversity of cropping systems and varieties plays an important role in the ability of family farms to withstand socio-economic and environmental shocks. For better conservation, this agricultural diversity needs to be characterized and monitored in space and time. While they were dominated by elements of price, area and production until recently, agricultural monitoring systems are beginning to integrate diversity issues. The diversity of cropping systems and varieties plays an important role in the ability of family farms to resist socio-economic and environmental shocks, whereas until the end of the 1990s it was considered as a limiting factor in improving the productivity of farming systems in varietal selection processes. In a situation of uncertain rainfall, to reduce the risk of this hazard, farmers use several species and varieties to survive and produce through all the hazards encountered. The peasant strategy consists in cultivating several varieties with different agronomic characteristics (early maturity, yield, resistance to diseases, parasites and drought, etc.) and culinary in the same field or in different fields. This strategy allows farmers to cultivate the varieties best suited to the soil conditions of their fields and to meet their diverse needs.

It is in this context that this thesis focuses on the spatial structuring of agrobiodiversity in the cotton zone. To achieve this objective, several methods and approaches have been used. The approach adopted combines the digital analysis of satellite imagery and the use of data from field surveys. The analysis of these data is based on the spatial distribution of biodiversity and its correlation with agro-ecological practices and conditions, agronomic performance and performance.

The main results from the analysis of the study data are:

- a) There is a great heterogeneity and diversity of landscapes in the cotton zone of Mali-Sud with a total of eleven (11) landscape units;
- b) There is great diversity at the specific level and in cropping systems. The mean values of the most specific indicator of diversity are recorded in villages where the mean rainfall is between 700 and 1000 mm of water followed by villages of less than 700 mm;
- c) The specific pressure indicator shows a geographical distribution of the pressures of the different crop species. Indeed, in villages where cotton is at the head of rotation, it exerts strong pressure on other species. In these villages, the cotton area is much larger than for the other species;
- d) For yield, most villages have average yields of cotton above the national average in 2015. Analyzing its evolution between 2013 and 2015, there is a decline in yield in most villages if this decline is very often sawtooth with increases in 2013 and 2014.
- e) The yield stability indicator shows that yields are stable with all species except maize.

These results open the way for a greater contribution of geography in agronomic analysis.

Keywords: spatial structuring, diversity, biodiversity, spatial analysis, landscape indices, scale.

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

ADRAO : Association pour le Développement de la Riziculture en Afrique de l'Ouest
AEE : Agence Européenne de l'Environnement
AEF : Afrique Equatoriale Française
AV : Associations Villageoises
BCGA : British Cotton Growers Association
CAADP : Programme Global Africain de Développement Agricole
CDB : Convention sur la Diversité Biologique
CFDT : Compagnie Française de Développement du Textile
CIDT : Compagnie Ivoirienne de Développement des Textiles
CILSS : Comité Permanent Inter Etat de Lutte Contre la Sécheresse au Sahel
CIRAD : Centre International en Recherche Agronomique pour le Développement
CMDT : Compagnie Malienne de Développement des Textiles
CEPIA : Cabinet d'Expertises Politiques et Institutionnelles en Afrique
CPS/SDR : Cellule de Planification et de Statistique du Secteur Développement Rural
CRRA : Centre Régional de Recherche Agronomique
DNPIA : Direction Nationale de la Production et des Industries Animales
DNSI : Direction Nationale de la Statistique et de l'Informatique
EAF : Exploitation Agricole Familiale
ETM+ : Enhanced Thematic Mapper Plus
FAO : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture
FFEM : Fonds Français pour l'Environnement Mondial
FIT : Front Intertropical
FM : Franc Malien
HBDS : Hypergraph Based Data Structure
IBA : Indicateurs de Biodiversité Agricole
ICRISAT : International Crop Research Institute in the Semi-Arid Tropics
IER : Institut d'Economie Rurale
IFB : Institution Française de Bulgarie
ILWAC : La Gestion Intégrée de la Terre et de l'Eau pour l'Adaptation à la Variabilité et au Changement Climatique
IRCT : Institut de Recherche Cotonnière et des Fibres Textiles Exotiques
IITA : International Institute on Tropical Agricultural
INRA : Institut National de la Recherche Agronomique
INAO : L'Institut National de l'Origine et de la Qualité
IRAT : Institut de Recherche Agronomique Tropicales et de Cultures Vivrières
IRD : L'Institut de Recherche pour le Développement
IRRI : L'Institut International de Recherche sur le Riz
INSTAT : Institut Nationale de la Statistique
ISDA : Innovation et Développement Durable dans l'Agriculture et l'Agroalimentaire
KMO : Kaiser-Meyer-Olkin
MAE : Ministère des Affaires Etrangères

MCD : Modèle Conceptuel de Données
MDRI : Mission de la Décentralisation et des Réformes Institutionnelles.
MEATEU : Ministère de l'Équipement, de l'Aménagement du Territoire, de l'Environnement et de l'Urbanisme
OAM : Observatoire des Agricultures du Monde
OCDE : Organisation de Coopération et de Développement Economique
OSS : Observatoire de Sahara et du Sahel
PASE : Programme d'Amélioration des Systèmes d'Exploitation
PER : Pression, Etat, Réponse
PIB : Produit Intérieur Brut
PIRL : Projet d'Inventaire des Ressources Ligneuses
PIRT : Projet d'Inventaire des Ressources Terrestres
PROMISAM : Projet de Mobilisation des Initiatives en Matière de Sécurité Alimentaire au Mali
RCA : République Centrafricaine
RGA : Recensement Général de l'Agriculture
RGPH : Recensement Général de la Population et de l'Habitat
SC : Système de Culture
SCAC : Service de Coopération et d'Action Culturelle
SEBI : Streamlining European Biodiversity Indicators
SGBD : Système de Gestion de Base de Données
SIG : Système d'Information Géographique
SOCADA : Société Centrafricaine de Développement Agricole
SODECOTON : Société de Développement du Coton
SODEFITEX : Société de Développement et des Fibres Textiles
SOFITEX : Société Burkinabé des Fibres Textiles
SONAPRA : Société Nationale pour la Promotion Agricole
SOTOCO : Société Togolaise de Coton
SPSS : Statistical Package for the Social Sciences
Tmax : Température Maximale
Tmin : Température Minimale
Tmoy : Température Moyenne
UP : Unité de production
UNESCO : Organisation des Nations Unies pour l'Éducation, la Science et la Culture
ZAER : Zones d'Animation et d'Expansion Rurale

Introduction

L'Agriculture au Mali

Le Mali est un pays essentiellement agricole tant par la population vivant directement ou indirectement des activités agricoles que par la forte contribution du secteur primaire à l'économie du pays. Ainsi sur un produit intérieur brut (PIB) de l'ordre 5 291 milliards de F CFA courants, la part du secteur primaire dans ce PIB était de 40,2% soit 2 127 milliards de FCFA en 2012 (INSAT, 2013).

De par sa diversité en zones bioclimatiques et agro écologiques, le Mali présente une importante richesse de ressources naturelles tant sur le plan hydrique, fauniques et floristiques, que des ressources minières et énergétiques (ILWAC 2011). Le pays dispose de 33% des terres qui sont aptes à l'agriculture (Dembélé, 2009). Soit 30 millions d'ha dont 11,4 millions hectares de terres sous cultures et jachères, sur lesquels 3 à 3,5 millions d'hectares sont cultivés chaque année et un potentiel de 1 million d'hectare irrigable (ILWAC, 2011). Il est à noter cependant que le potentiel agro-sylvo-pastoral est relativement faible en raison des contraintes agronomiques et climatiques.

Selon les informations disponibles pour l'ensemble de l'agriculture malienne (CPS/SDR 2015), le Mali compterait environ 1 098 630 exploitations agricoles regroupant une population de 14 107 926 de personnes (CPS/SDR 2015). L'agriculture malienne repose sur des exploitations familiales de petites tailles ainsi 68% des exploitations ont moins de 5 ha, 18% des exploitations ont des superficies comprises entre 5 et 10 ha et seulement 14% dépassent 10 ha. Ces exploitations sont basées sur la polyculture de céréales et sur l'élevage. certaines exploitations dans le nord du pays présentant une très forte spécialisation eu égard aux conditions agro-climatiques sahéliennes et sub-sahariennes.

Au Mali, l'élevage est une composante structurante de l'ensemble des systèmes de production. Il est pratiqué dans 88% des exploitations et 43% des exploitations possédant moins de 10 têtes.

Contrairement à la terre, le cheptel est assez concentré car les exploitations qui ayant plus de 20 têtes sont faibles (14 %) mais concentre l'essentiel du cheptel (53%). Les animaux représentent un capital d'environ 1000 milliards de F CFA, équivalent à la valeur annuelle du PIB agricole (DNPIA 2015).

Les céréales sont l'autre composante structurellement importante des exploitations agricoles car elles comptent pour 72% des superficies cultivées. Les cinq cultures principales (céréales) : Mil, Sorgho, Maïs, Riz et fonio occupaient environ 5 103 029 ha. Les trois premières cultures occupaient respectivement 1 943 002, 1 457 067 et 899 640 ha en 2015

(CPS/SDR 2015). Pour la même période, la production de ces trois cultures s'élevait respectivement à : 1 864 301 tonnes, 1 527 456 et 2 276 036 tonnes.

Les cultures dites « industrielles » sont exploitées sur 20 % des superficies au sein desquelles seule la culture du coton est significative avec des superficies estimées à 545 308 pendant la campagne 2015/2016. La culture du coton est faite par des petites exploitations familiales au nombre de 171 000 exploitations et fait vivre directement ou indirectement autour de 4 026 000 de personnes (CMDT, 2016). Selon la même source, La production cotonnière a été estimée pendant la campagne 2015/2016 à 550 370 Tonnes avec un rendement de 1009 kg à l'hectare.

La zone cotonnière au Mali-Sud regorge l'essentielle de la production céréalière du pays et alimente près d'un tiers de la population malienne (Ba, 2011). La population de la zone est essentiellement rurale (83%) et l'économie est largement dépendante du secteur primaire et plus particulièrement de l'agriculture qui assure plus de 80 % de la production du Mali-Sud (Traoré, 2014).

Elle est aussi caractérisée par sa diversité paysagère et ses paysages nous apparaissent comme "l'œuvre conjuguée des Hommes et de la Nature" comme le stipule l'article 1 de la "Convention du Patrimoine Mondial", (Le Berre, 2000). En effet, rien n'exprime autant que le paysage, la relation entre une société et son territoire. Les paysages observés de nos jours correspondent à la manifestation des relations entre les hommes avec leur environnement à travers leurs cultures, leurs vécus, leurs savoir-faire, leurs pratiques, leurs technologies. Ces paysages ne sont pas de simples héritages fossiles ou des reliques, ils sont le fruit de l'histoire et sont vivants. Ils conservent un rôle social actif dans la société contemporaine et sont généralement étroitement associés au mode de vie traditionnel mais dans lequel le processus évolutif continue (Le Drezen, 2008). Ils résultent de systèmes de production marqués par l'interaction entre les comportements sociaux et les variables naturelles.

Problématique

Une réduction de la diversité génétique des plantes cultivées a été constatée suite à la création des variétés très productives à travers le monde (FAO, 1997). Dans les systèmes agraires traditionnels, les paysans maintiennent une diversité élevée au niveau spécifique et variétal (Glachan et Levêque 1993, Radanielina, 2005). Cette diversité communément appelée biodiversité agricole ou agrobiodiversité représente une richesse à la fois culturelle, technique et naturelle. Elle joue un rôle crucial dans les systèmes de production. C'est pour cette raison qu'elle est au cœur de plusieurs activités de recherche et de la convention des Nations sur la préservation de la biodiversité.

Les inquiétudes concernant la biodiversité se sont accrues dans les années passées au niveau national, sous régional voir international avec des évènements notables, des lancements de programmes et des innovations institutionnelles. Parmi ces événements on peut citer le sommet de Rio en 1992, la conférence sur la biodiversité en 2005 et l'année mondiale de la biodiversité en 2010. Tous ces sommets et conférences avaient d'une manière ou d'une autre pour objectif une prise de conscience sur les menaces qui pèsent sur la biodiversité en vue de sa meilleure gestion et la conservation de cette diversité biologique (Dembélé, 2012). Mais force est de constater que malgré ces sommets et conférences, les défis demeurent. Le premier défi auquel fait face l'agrobiodiversité est la sécurité alimentaire. L'agrobiodiversité est considérée comme la « pierre angulaire » de la sécurité alimentaire. A cet effet, elle doit pouvoir assurer l'alimentation à une population de plus en plus croissante. Le second défi est la durabilité de l'agriculture. Elle apparaît comme un facteur important de la durabilité des agricultures des pays du Sud et comme une des clés de leur développement futur (Richards, 1986 ; Cochet 2001 ; Dufumier 1993).

L'agrobiodiversité ou biodiversité agricole « désigne de façon générale tous les éléments constitutifs de la diversité biologique qui constituent l'agro-système : la variété et la variabilité des animaux, des plantes, des micro-organismes, aux niveaux génétiques, spécifiques et écosystémiques, nécessaires au maintien des fonctions clés de l'agro-système, de ses structures et de ses processus » (INRA, 2008).

Elle contribue à la réduction de la pauvreté à travers la sécurité alimentaire, l'amélioration de la santé, la génération de revenus, la réduction de la vulnérabilité et le maintien de l'équilibre des écosystèmes. L'agrobiodiversité est menacée par l'évolution des systèmes de production qui ont tendance à s'intensifier. Plus de 90% des variétés végétales ont disparu des exploitations agricoles au cours du siècle dernier (Baco, 2007) tandis que les races animales disparaissent à raison de 5% par an à l'échelle mondiale (CRDI, 2005).

La diversité des systèmes de culture et des variétés joue un rôle important dans la capacité des agricultures familiales à résister aux chocs socio-économiques et environnementaux alors que jusqu'à la fin des années 1990 elle était considérée comme un facteur limitant dans

l'amélioration de la productivité des systèmes d'exploitations dans processus de sélection variétale (Gallais, 1990).

Dans une situation d'incertitude pluviométrique, pour réduire le risque, les agriculteurs ont recours à plusieurs espèces et variétés pour survivre et produire au travers de tous les aléas rencontrés. La stratégie des agriculteurs consiste à cultiver à la fois plusieurs variétés présentant diverses caractéristiques agronomiques (précocité, rendement, résistance aux pathologies, aux parasites, à la sécheresse, etc.) et culinaires dans un même champ ou dans des champs différents (Baco, 2007). Cette stratégie permet aux paysans de cultiver les variétés s'adaptant le mieux aux conditions pédologiques de leurs champs et répondant à la fois à leurs divers besoins.

Pour une meilleure valorisation, cette biodiversité agricole a besoin d'être caractérisée et suivie dans l'espace et le temps. Or à présent, les systèmes de suivi de l'activité agricole se sont focalisés sur les superficies cultivées, les productions et les prix. L'absence de la biodiversité en leur sein s'explique non seulement par la faible importance qui lui est accordée dans les projets de développement agricole mais aussi et surtout par la complexité de son observation et son analyse à différentes échelles. Cette diversité contribue à la réduction de la pauvreté à travers la sécurité alimentaire, l'amélioration de la santé, la génération de revenus, la réduction de la vulnérabilité et le maintien de l'équilibre des écosystèmes. Il faut cependant noter la faible voire la non prise en compte de la dimension spatiale de la biodiversité dans les projets et programmes de développement (Dembélé, 2012). La dimension spatiale revêt d'une importance capitale pour l'analyse du fonctionnement des écosystèmes. Les plantes, les animaux et les hommes sont répartis dans l'espace géographique et interagissent avec leur environnement.

L'information recueillie sur les organismes vivants peut par conséquent être partiellement décrite par des coordonnées géographiques. La mise en relation de l'information sur les plantes et autres organismes avec l'espace géographique permet de comprendre leur répartition dans l'espace.

A l'échelle d'un territoire villageois les paysages vont des sommets plats des collines aux bas-fonds en passant par différents niveaux de glacis. Ainsi les champs d'un même agriculteur peuvent être dispersés pour mieux valoriser cette diversité des unités de reliefs ; même à l'échelle d'une seule parcelle, les conditions pédologiques et hydriques changent. En conséquence, il n'est pas exclu que la distribution spatiale de la diversité inter et intra spécifique se fasse selon cette répartition spatiale des paysages et des structures de production. Pour une prise de décision rapide et efficace, il faut des outils d'évaluation et de suivis d'évolution de l'agrobiodiversité dans les exploitations. D'après Philippe Girardin cité par (Craeynest, 2008), il existe trois manières d'effectuer une évaluation :

- 1) Une caractérisation directe du milieu à travers la mesure pure et simple des variables du milieu ;

2) L'utilisation de la modélisation des dynamiques de population et espèces variétales, le travail de terrain se résumerait alors à quelques expériences pour paramétrer les modèles. Cependant, les enjeux de l'agrobiodiversité sont beaucoup plus complexes pour se limiter à une abstraction simplifiée qu'est le modèle

3) la caractérisation du milieu par des variables indicatrices.

Les indicateurs sont « des variables qui fournissent des renseignements sur d'autres variables plus difficiles d'accès servant aussi de repères pour prendre une décision » selon Gras, (1989). Les indicateurs sont des outils d'évaluation et d'aide à la décision et ils permettent de rendre compte d'une réalité complexe. On peut alors limiter le travail à une mesure directe de certaines variables pertinemment choisies. Le seul bémol est qu'il n'existe pas à ce jour des travaux sur les indicateurs qui collent à la réalité de notre milieu d'étude. Pour faire face à ce problème l'Institut d'Economie Rurale (IER) et ses partenaires ont mis en place le Projet Valorisation de la Biodiversité Agricole au Mali qui consacre une composante à la création d'indicateurs pour caractériser et suivre la diversité agricole dans les agro systèmes du Sud du Mali. Ainsi ; 21 indicateurs réunis ont été identifiés et regroupés en 3 classes : les indicateurs de caractérisation, les indicateurs de menaces et les indicateurs de réponses.

Les indicateurs sont choisis non seulement pour la caractérisation ou l'évaluation d'une situation donnée mais aussi ils doivent être en phase avec les réalités de l'agriculture de la zone concernée. Le rôle premier de l'agriculture, sa raison d'être, est la production de denrées alimentaires et non alimentaires. Elle est aussi le principal moyen par lequel l'homme interagit avec l'environnement et façonne l'écosystème pour le rendre viable pour 6 milliards et plus d'êtres humains (Dauvergne, 2008).

La question de la durabilité de l'agriculture malienne se pose de manière accrue : adaptation de l'agriculture aux contraintes climatiques, sécurité alimentaire et nutritionnelle des ruraux et des citadins, multifonctionnalité de l'agriculture, création de revenu suffisant pour les agriculteurs et protection de l'environnement

Dans la zone cotonnière, le problème de l'agriculture est la question de la durabilité des exploitations agricoles familiales dans un contexte de forte croissance démographique (3.6% par an pour l'ensemble du Mali 1998-2009) avec un système cotonnier en mutation entre hausse et baisse de prix du coton sur le marché mondial (Soumaré, 2011). L'agriculture en zone cotonnière du Mali est en pleine mutation.

En 50 ans, le Mali est passé d'une agriculture de subsistance orientée vers l'autoconsommation à une agriculture d'exportation basée sur des exploitations familiales à fort taux d'utilisation de main d'œuvre. Pendant cette période, les exploitations de la zone cotonnière ont fait de progrès non négligeables : la culture du coton a connu un développement spectaculaire et parallèlement, la situation alimentaire et les conditions de vie générales se sont améliorées, le pourcentage d'exploitations équipées est passé de 10 à 80 % en zone cotonnière. Ces mutations fondamentales se sont accompagnées de quelques crises de croissance tel que le boycott de la production cotonnière en 2000, il est consécutif au faible prix d'achat du coton graine annoncé aux producteurs.

Dans la zone cotonnière du Mali, on observe depuis quelques décennies, une nouvelle transformation des modes de mise en valeur agricole avec une modification radicale des systèmes agraires locaux. Le système d'agriculture sur abattis brûlis avec des cultures en rotation avec des friches a été progressivement délaissé au profit d'un système dans lequel les parcelles sont mises en culture tous les ans sans période de friche et sans occasionner de crise des rendements et des revenus. Le nombre de personnes présentes dans les exploitations a progressé à un rythme moyen de 3 % par an (Dembélé 2012).

L'apport de la nature dans ce processus de transformation de l'agriculture et du maintien de conditions de vie de plus en plus favorables, à travers l'exploitation de la terre pour l'agriculture, les pâturages pour l'élevage, la forêt pour la cueillette fut capital. Ainsi, le service fourni par les différents écosystèmes contribue au développement et à l'équilibre des exploitations agricoles. Les revenus du secteur agricole se composent à 58 % des activités agricoles, 28 % de l'élevage et 14 % des activités forestières et de pêche (Club du Sahel et de l'Afrique de l'Ouest, 2006, Blanchard, 2010 op cité).

La question de l'apport de la nature à l'amélioration ou au maintien de la vie humaines aboutie à la création du concept de « services écosystémiques ». Le concept a beaucoup évolué au cours des dernières décennies. Conçu avant tout comme un outil de communication, à la fin des années 1970, pour expliquer la dépendance de la société à l'égard de la nature, il renvoie aujourd'hui à des questions de valeurs économiques ou autres, de biodiversité et vise à favoriser la participation dans les processus de développement durable (Wallis, 2011). Les travaux fondateurs de (Costanza et Daily, 1987) à la fin des années 1980, représentaient le premier essai d'évaluation à grande échelle des services écosystémiques. Par la suite, nombre d'études de cas ont mis en relief les connaissances lacunaires dans l'évaluation du capital naturel quand il s'agit de planifier l'aménagement et l'allocation de ressources : le résultat - la dégradation et la destruction probables de ce capital s'avère en fin de compte très coûteux pour la société.

La problématique de la présente thèse se résume dans la question suivante : Quels sont les indicateurs pertinents pour caractériser et suivre la biodiversité agricole et son apport dans les zones cotonnières du Mali ?

Questions de recherche

Question 1 : Quels sont les indicateurs pertinents permettant de caractériser et suivre la biodiversité agricole dans l'espace et le temps ?

Question 2 : Quels sont les modèles d'explication de la biodiversité agricole dans les différentes échelles spatiales : Exploitation agricole, Village et celle du paysage ?

Question 3 : Qu'est-ce que la biodiversité apporte aux exploitations agricoles dans la zone cotonnière du Mali ?

Les hypothèses

H-1 : le modèle d'indicateur Pression Etat Réponse (PER) de l'OCDE couplé à la démarche IDEA (indicateurs de durabilité des exploitations agricoles) permet une meilleure caractérisation et une bonne suivi de la biodiversité agricole dans le temps et l'espace.

H-2 : Il existe des relations d'explication entre les diversités observées à différentes échelles. En effet la diversité des exploitations peut s'apprécier à l'échelle des villages qu'elles constituent. De même, celles des villages peuvent s'apprécier à l'échelle des régions agricoles.

H-3 : L'amélioration du bien-être des exploitations agricoles familiales est tributaire des services fournis par les écosystèmes naturels.

Les objectifs

L'objectif global du présent travail est d'analyser la structuration spatiale de l'agrobiodiversité dans la zone cotonnière.

Les objectifs spécifiques(OS) sont :

OS1 : Caractériser la biodiversité agricole à l'échelle de l'exploitation agricole, du village et de la région agricole. Pour atteindre cet objectif il s'agira de:

- ❖ D'identifier une liste d'indicateurs appropriée permettant de caractériser la biodiversité ;
- ❖ De caractériser l'agrobiodiversité à différentes échelles spatiales notamment l'exploitation agricole, le village et celle du paysage avec les indicateurs retenus.

OS2 : Analyser de biodiversité agricole à différentes échelles territoriales de la zone cotonnière. Nous envisageons de:

- ❖ D'identifier le modèle d'explication de la biodiversité agricole à travers ces trois échelles : exploitation, village et paysage

- ❖ D'analyser le modèle de biodiversité à l'échelle du village
- ❖ D'analyser le modèle entre les petites régions agricole pour comprendre si les petites régions les plus proches ont tendance à se ressembler du point de vue des indicateurs et/ou des variables.

OS3 : Etudier les services économiques fournis par les différents écosystèmes notamment les agroécosystèmes, les écosystèmes, de végétations naturelles.

Ce travail sera développé en quatre parties structurées en neuf chapitres en plus de l'introduction et des protocoles de la recherche notamment la problématique, les objectifs, les hypothèses et les questions de recherche.

La première partie porte sur la présentation du cadre de travail, elle comporte deux chapitres (chapitres 1 et 2). Le premier chapitre de cette partie présente la définition des expressions employées dans le texte, il s'agit des concepts relevant du champ de l'agronomie, de la géographie et de l'écologie du paysage. Le second chapitre est consacré à la présentation des zones cotonnières de l'Afrique en général et celle du Mali Sud de façon particulière. Il retrace l'histoire de la culture du coton dans les grands bassins cotonniers d'Afrique et fait un focus sur le cas du Mali. On y retrouve aussi les caractéristiques de la zone cotonnière du Mali-Sud du point de vue physique et humaine.

La deuxième partie traite de la diversité paysagère, elle comporte quant à elle, trois chapitres (chapitres 3, 4 et 5). Le chapitre 3 présente les approches méthodologiques de l'analyse du paysage. Il expose les méthodes de traitement d'images satellitaires jusqu'aux indices paysagers. Quant au quatrième chapitre, il est consacré à l'analyse de la diversité des unités de paysage de la zone cotonnière. Le cinquième chapitre fait un focus sur une partie de ce paysage pour analyser la structuration du point de vue de la composition, de la fragmentation, de l'agrégation à l'aide des indices de paysage.

La troisième partie est relative à l'appréhension de la biodiversité agricole à différentes échelles spatiales de l'exploitation à la parcelle. Cette partie comporte deux chapitres (chapitres 6 et 7). Le chapitre 6 décrit, de la conception jusqu'aux renseignements, les indicateurs de biodiversité agricole. Le septième chapitre présente la mesure de la biodiversité agricole à travers quelques indicateurs.

La quatrième partie est axée sur l'état de la biodiversité agricole et les services écosystémiques qu'elle rend aux exploitations agricoles. Elle est composée de deux chapitres (chapitres 8 et 9). Le huitième chapitre traite du modèle d'explication de la biodiversité en lien avec le changement d'échelle. Enfin le neuvième et le dernier chapitre est consacré aux services écosystémiques fournis par la biodiversité agricole.

**PREMIERE PARTIE : CADRE
GENERAL DE LA THESE**

CHAPITRE I : DEFINITION DES CONCEPTS

Notre thèse portant la biodiversité agricole dans la zone cotonnière du Mali nécessite de définir certains concepts fondamentaux. Il s'agit de : système agraire, terroir, territoire ou agrosystème villageois, système de production, système de culture ou d'élevage, parcelle, biodiversité, l'échelle...etc. Les définitions associées à chacune de ces expressions peuvent varier selon les auteurs, le contexte géographique (Nord ou Sud) et même historique. La démarche adoptée le long de ce travail a recours principalement aux outils et aux méthodes de la géographie, de la statistique spatiale, de l'agriculture tropicale et de l'écologie du paysage. Depuis une vingtaine d'années, avec le développement de l'analyse systémique, les études rurales en milieux africains ont de plus en plus recours à la combinaison des approches de ces disciplines pour analyser la structure et la dynamique dans les agrosystèmes. Enfin, l'utilisation de ces concepts dans le cadre de cette thèse est liée à leur dimension géographique pour des représentations et analyse spatiales.

1. Concepts liés à l'agriculture tropicale

1.1. Système agraire

Parmi les concepts de l'analyse du système en agriculture, celui de « système agraire » occupe une place à part. Pour Cholley, (1949) et (Soumaré, 2008 op cité), « le système agraire est plus que l'agrégation des systèmes de production d'une région, plus que même les relations qui s'établissent entre eux, l'acteur important d'un système agraire n'est pas un individu ou un groupe familial mais une société ». Cette définition met en avant la dimension sociétale plus que les systèmes de production et encore plus que les exploitations agricoles. Pour Vissac (1980), « un système agraire est l'expression spatiale de l'association des productions et des techniques mises en œuvre par une société en vue de satisfaire ses besoins ». Derrière "l'emboîtement des échelles" (parcelle, exploitation, et société) mis en évidence par plusieurs auteurs quelle que soit leur spécialité, il faut souligner le changement de vision quand on passe des concepts système de culture et système de production à celui de système agraire.

Nous pensons que pour aborder le concept de système agraire, il faut nécessairement recourir à des notions qui se situent à deux échelles d'analyse : la première est celle de l'unité de production pour le concept de système de production ; et la seconde est celle du groupe de parcelles cultivées ou du troupeau pour celui de système de culture ou d'élevage. En combinant ces différentes échelles d'analyse, on doit tenir compte de leur interdépendance. Pour ces raisons, la définition qui nous paraît adaptée à notre étude est celle de Vissac 1980.

1.2. Terroir

Un terroir désigne une aire géographique considérée comme homogène à travers les ressources et productions qu'il est susceptible d'apporter, notamment mais pas uniquement par sa spécialisation agricole. En géographie rurale, on le définira comme une portion d'espace agricole homogène présentant des aptitudes agronomiques particulières et des qualités spécifiques, mais approprié, aménagé et valorisé par un groupe social, notamment sous l'angle de savoir-faire reconnu par des usages et capables d'exprimer ces potentialités naturelles à travers un produit, en particulier un aliment dont la typicité et l'origine sont reconnues collectivement (Cartier, 2005). Dans ces deux définitions, le caractère homogène de l'espace agricole est mis en évidence cela correspond plus au pays du Nord que ceux du Sud parmi lesquels les pays africains.

Pour l'Institut National de l'Origine et de la Qualité (INAO, 2005), « le terroir est un espace géographique délimité dans lequel une communauté humaine construit au cours de son histoire un savoir collectif de production fondé sur un système d'interaction avec un milieu /*physique, biologique et un ensemble de facteurs humains ».

Si l'on peut attribuer des notions restrictives de réputation ou d'espace « délimité » ces limites étant plus ou moins formelles et toujours sous le contrôle d'un pouvoir (Chef de village ou autres autorités), on conviendra que le terroir est un système complexe, constitué d'un lien entre les facteurs (naturels et sociaux) allant jusqu'au produit final ou produit de terroir. Le terroir est souvent confondu à une notion dénommée "finage". « Le finage correspond aux limites d'un territoire villageois. C'est une étendue de terre appropriée et plus ou moins complètement exploitée par une communauté agricole » (Marie, 1998).

En lieu et place de terroir, d'autres ont préféré aussi le concept "d'agrosystème villageois" jugé moins problématique et moins partial dans le sens où l'agrosystème villageois peut être considéré comme l'organisation adoptée par une communauté villageoise pour exploiter son espace, gérer ses ressources et subvenir à ses besoins au travers de l'activité agricole (Jouve, 1997, *op cité*).

Pour notre étude, nous employons la notion du terroir dans le sens de la délimitation d'un territoire villageois et son mode d'organisation (Naturelle et sociétale) pour l'exploitation au plan agricole de ce territoire.

1.3. Exploitation agricole

Le concept d'exploitation agricole a pris des considérations particulières dans le contexte africain en raison de ses réalités sociologiques. Pour l'économie classique, l'exploitation agricole est une entreprise, donc, l'exploitant un entrepreneur qui a un objectif : faire le maximum de profit. Pour les partisans de cette école, l'exploitation agricole est une entreprise avec un centre de décision et un objectif unique : optimiser son profit en combinant production et facteurs de production. Par contre dans le contexte tropical africain où le modèle

de société agraire segmentée et lignagère est le plus répandu (Cattinand et Faye, 1982), l'exploitation agricole n'est pas vue comme une entreprise. Dans cette partie de l'Afrique dominée en grande partie par l'agriculture familiale, le processus de prise de décision au sein de l'exploitation est complexe. Les objectifs sont multiples, variables et même souvent contradictoires. Le chef d'exploitation ou chef de famille est la principale instance de décision. Malgré ces spécificités, la définition de Jouve 1997 ci-dessus cadre parfaitement avec notre cadre d'étude (Figure 1 et Figure 2).

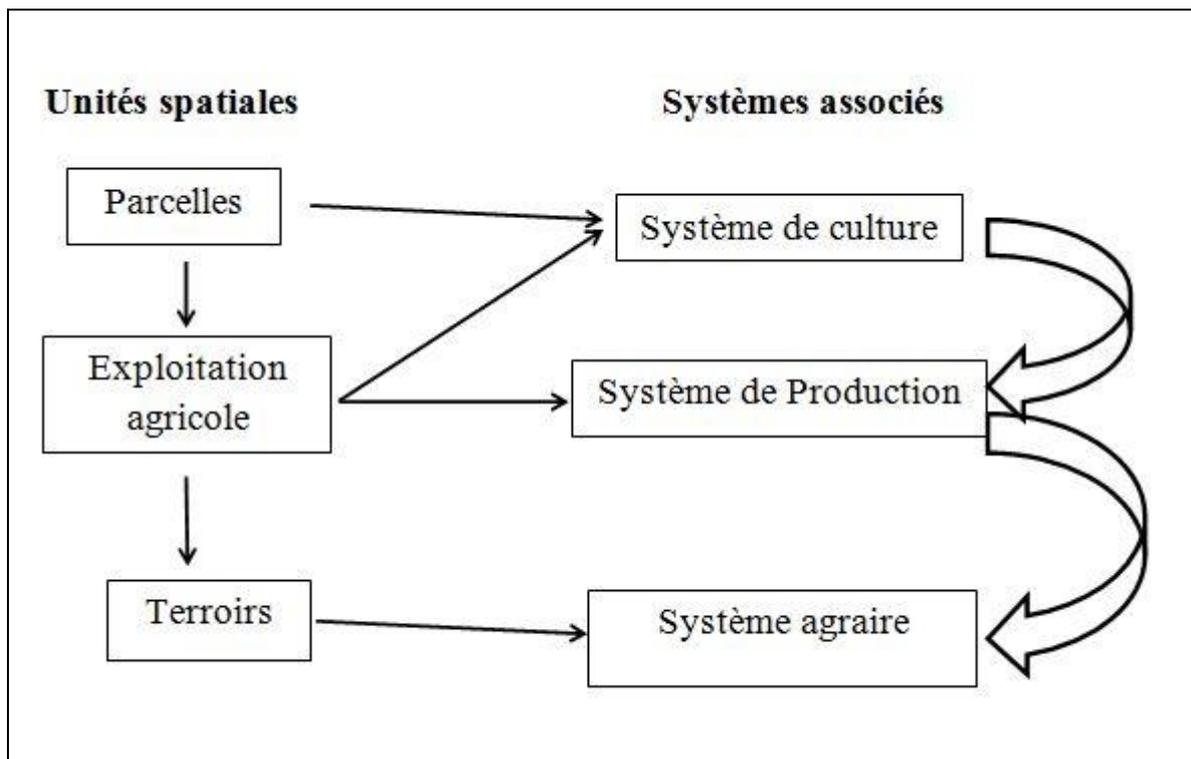


Figure 1 : Relation entre les unités spatiales et les systèmes associés

Source : Dembélé S

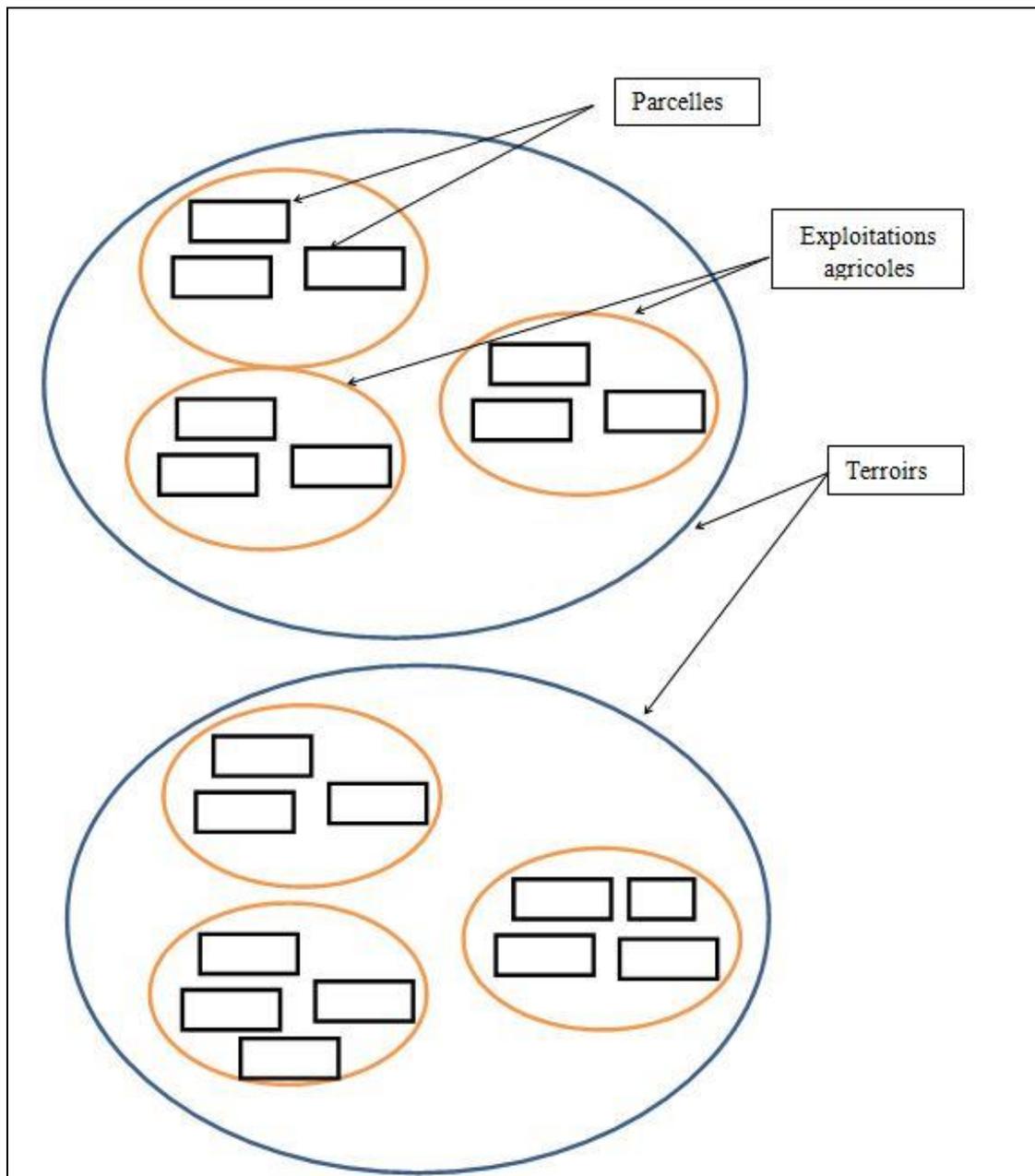


Figure 2 : les différentes échelles spatiales entre parcelle, exploitation et terroir

Source : Dembélé S

1.4. Système de production

Un système de production agricole peut être défini comme « un ensemble structuré de moyens de production (travail, terre, équipement) combinés entre eux pour assurer une production végétale et/ou animale en vue de satisfaire les objectifs et besoins de l'exploitant (ou du chef de l'unité de production) et de sa famille » (Jouve, 1992). A ce effet, le système de production se caractérise entre autres par les moyens techniques (outils et savoir-faire), les moyens humains (main d'œuvre), les moyens financiers (capital) employés, mais également par les niveaux de production atteints. Il est mis en œuvre par une exploitation agricole.

1.5. Système de culture

Le système de culture est un sous-système du système de production. Il est pratiqué par l'exploitation agricole. Plusieurs définitions lui ont été associées selon l'espace et le temps.

En 1922, quand naissait le Larousse Agricole, le système de culture était défini comme : « choix que fait l'homme des procédés culturaux par lesquels il exploite la nature soit en la laissant agir seule, soit en la dirigeant avec plus ou moins d'intensité ». Les systèmes de culture sont indépendants de l'étendue des exploitations ; il ne faut pas non plus les confondre avec l'assolement.

Le géographe, Fénelon 1971, faisant le point sur le vocabulaire de la géographie agraire à la fin des années soixante, définit le système de culture comme : « l'expression s'appliquant à l'organisation de la production agricole d'un domaine ou d'une région en fonction du milieu physique (relief, sol, climat, eau, tapis végétal) et du milieu humain (propriété, arrangement agraire, mode de faire-valoir, matériel, moyens de transport, autoconsommation) ; les combinaisons de ces divers objets aboutissent à des rendements plus ou moins élevés en produits végétaux ou animaux ».

En 1974, Pierre George, dans son Dictionnaire de la Géographie réunit dans la même rubrique, le système de culture et le système agricole. Ces expressions recouvrent, selon lui : toutes les formes d'utilisation du sol et la manière d'assurer cette utilisation ; le système agricole apparaît comme le bilan des cultures et des élevages pratiqués et des moyens mis en œuvre ; le système de culture est indissociable des conditions sociales et foncières dans lequel il s'exerce.

Enfin pour (Sébillote, 1982- cité par ; Soumaré, 2008 ; le système de culture est un ensemble de techniques mises en œuvre sur des parcelles traitées de manière identique dans l'espace et le temps. Chaque système de culture se définit par la nature des cultures, leurs ordres de succession et les itinéraires appliqués à ces différentes cultures ce qui inclut le choix des variétés pour les cultures retenues.

Le système de culture est caractérisés par quatre éléments fondamentaux : les espèces cultivées, leurs successions dans le temps, leurs associations éventuelles sur une même parcelle et l'itinéraire technique des cultures pratiquées. (Jouve, 2006),

Dans cette thèse, nous utilisons la définition de Sébillote (1982) qui dit que le système de culture « est un ensemble de techniques mises en œuvre sur des parcelles traitées de manière identique ». A cette définition, nous attribuons les quatre caractéristiques de Jouve, 2006 à savoir : les espèces cultivées, les successions des cultures, les associations culturales et les itinéraires techniques.

1.6. Le système d'élevage

Le système d'élevage est le pendant du système de culture dans les productions animales. Selon Landais (1992) « c'est un ensemble d'éléments en interaction dynamique organisée par l'homme en vue de valoriser des ressources par l'intermédiaire d'animaux domestiques pour en obtenir des productions variées (lait, viande, peau, travail, fumure, etc.) ou pour répondre à d'autres objectifs ». Son fonctionnement résulte des interactions dynamiques entre trois pôles : « l'exploitant, le territoire et le troupeau » (Landais, 1992) in (Jouve, 2003 op cité). Il est caractérisé par un ensemble d'éléments comme les ateliers, l'alimentation et les soins de santé. C'est « l'ensemble des ateliers et des techniques qui permettent de produire des animaux ou des produits dans des conditions compatibles avec l'objectif de l'agriculteur et avec les contraintes d'exploitation » (Menjon, D'orgeval 1983 ; Dufumier, 1996 op cité).

Le système d'élevage est abordé dans le même sens Lhoste (2001) : « La combinaison des ressources, des espèces animales et des techniques et pratiques mises en œuvre par une communauté ou par un éleveur pour satisfaire ses besoins en valorisant des ressources naturelles par des animaux ». Le système d'élevage est donc un ensemble complexe et non pas l'addition de moyens et de techniques de production ni la juxtaposition de modes d'utilisation du sol. Pour l'étudier, il est nécessaire de considérer d'abord l'ensemble avant d'étudier les parties que l'on sait aborder (Osty, 1978).

1.7. Parcelle

Les auteurs du Recensement Général de l'Agriculture du Mali (RGA, 2005) définissent la parcelle comme étant un terrain portant une culture unique (du coton par exemple) ou une combinaison de cultures (maïs et sorgho par exemple). Dans le premier cas, on dit que la parcelle porte une culture unique ou pure, dans le second cas, des cultures associées. Une parcelle peut correspondre à un bloc (bloc à une parcelle) ou être une partie de celui-ci (un bloc à plusieurs parcelles).

La parcelle est une unité spatiale traitée de façon homogène avec les mêmes itinéraires techniques (Soumaré, 2008). Elle se caractérise par le faible changement des conditions écologiques et la continuité dans la réalisation des opérations dans le temps. Milleville, en 2007 a fait la différence entre la parcelle en milieu africain et européen. En Afrique le plus souvent la parcelle présente une hétérogénéité physique (pente, sol) et exceptionnellement les opérations culturales y sont réalisées aux mêmes dates et avec la même intensité. En conséquence d'un point à l'autre, sur la même parcelle, la densité de peuplement et les rendements peuvent énormément varier (**Figure 1 et Figure 2**).

Dans cette thèse, nous retiendrons la définition de Soumaré 2008 pour qui la parcelle se définit par son homogénéité du point de vue de son traitement et de ses itinéraires techniques.

1.8. Jachère

L'origine du mot jachère vient du latin *jachere* c'est-à-dire labourer. Selon Sébillote, (1991) dans son livre « la jachère, les éléments pour la théorie » stipule que de Gasparin, a été le premier à donner une définition entre 1848-1850. Il considère la jachère comme « l'état où le sol étant appelé à produire une ou deux années de suite, on lui accorde ensuite une année de repos pendant laquelle la terre est soumise à des labours, l'étalement aux influences atmosphériques en le délivrant en même temps de toute végétation spontanée qui épuiserait ses sucs sans grand profit pour le cultivateur ». Ce système ne devient faisable que lorsque le sol dispose déjà d'éléments nutritifs conséquents pour satisfaire les besoins des plantes. Le système de jachère suppose alors une alternance rapide.

Pour le même auteur, l'agronomie moderne a besoin d'une définition à la fois plus large et plus rigoureuse dans laquelle ne soit pas mélangée par exemple les caractéristiques de l'état de la parcelle, leurs rôles sur les cultures suivantes et la durée nécessaire pour que ces rôles soient remplis ni a fortiori les conditions socio-économiques responsables de sa présence.

Sébillote (1991) dans le cadre d'une agronomie moderne propose une définition plus large et plus rigoureuse. Selon lui, « la jachère est l'état de la terre d'une parcelle entre la récolte d'une culture et le moment de la mise en place de la culture suivante. La jachère se caractérise, entre autres, par sa durée, par les techniques culturales qui sont appliquées à la terre, par les rôles qu'elle remplit » dans cette définition, l'auteur donne les caractéristiques de la jachère. Ces caractéristiques sont la durée, les techniques culturales et les rôles de ces techniques.

Dans le contexte tropicale, (Serpantié et Ouattara, 2001) définissent la jachère tropicale comme « l'état post-cultural, phase passive de restauration d'un écosystème dont l'état final procure en principe des conditions renouvelées pour la culture suivante, en particulier un milieu assaini et des éléments nutritifs plus abondants, plus disponibles et plus accessibles aux racines ».

Cette dernière définition nous paraît plus appropriée dans le contexte tropical. L'objectif de la mise en jachère d'une terre est d'avoir des éléments nutritifs plus abondants à la reprise des cultures sur cette terre.

2. Concept d'indicateur

Le concept d'indicateur constitue donc un mot complexe, il est défini de différentes façons par les auteurs. Il a d'abord été utilisé dans un contexte purement scientifique, la recherche en Sociologie (Soumaré, 2008). Il indique la traduction de concepts abstraits en variables observables, traduction indispensable pour soumettre les hypothèses scientifiques impliquant de tels concepts à la vérification empirique.

Selon Turnhout, (2007) l'indicateur est défini en tant que « concept imbriqué, capable de représenter n'importe quel niveau de complexité. L'utilisation de ces indicateurs repose sur la réaction des ressources naturelles sensibles à des facteurs d'impact» Les indicateurs peuvent être à la fois des impacts sur les ressources naturelles et les causes de ces impacts (Niemi et

McDonald, 2004). Il est donc une variable observable utilisée pour rendre compte d'une réalité non observable. Quant à Boutry, 2000, il définit un indicateur comme étant une « donnée objective qui décrit une situation du strict point de vue quantitatif. Toutes les définitions des indicateurs considérés révèlent qu'un point de vue précis généralement partagé par les indicateurs ne semble pas exister. Les indicateurs peuvent représenter n'importe quel niveau de complexité. Ils peuvent être appliqués à tout point, le long d'une chaîne de causalité entre une première action de l'homme aux réponses, aux impacts sur les ressources environnementales ».

Cependant, les indicateurs ne sont pas seulement utilisés pour décrire les états de l'environnement ou des changements, mais aussi de les évaluer et de fixer des objectifs (Dziok, 2006). En général, ils permettent de quantifier l'information en agrégeant des données distinctes et variées. Les indicateurs ont deux orientations. La première consiste en « un outil de diagnostic qui va mettre à jour des dysfonctionnements et des points forts soit en faisant un état des lieux, soit en faisant le suivi sur une période plus longue. L'autre utilisation est un outil d'aide à la décision qui évaluera les effets potentiels d'un changement dans une pratique agricole » (Fahrner, 2008). Ils sont pareillement décrits suivant deux approches : l'approche statique qui décrit l'environnement biotique de la zone étudiée et ses éléments et l'approche dynamique qui évalue les relations entre les éléments de l'environnement et tous les aspects interférents dans ces relations.

L'indicateur est caractérisé par sa facilité d'analyse, son adaptation à la prise de décision, sa capacité à refléter les transformations de l'environnement et l'effet des pratiques et sa validité à plusieurs échelles d'analyse. A cet effet, (Turpin, 1993) nous propose de regarder l'indicateur non pas comme « la simple mesure d'un paramètre mais aussi comme la réponse à une préoccupation sociale relative à un problème identifié, présent ou à venir ; destinée à des acteurs multiples, susceptibles d'avoir des points de vue différents, son interprétation nécessite un consensus » in (Boulanger, 2004 op cité).

Dans le domaine agricole, (Andrieu et Tonneau, 2006) considèrent l'indicateur comme « une mesure quantitative et qualitative permettant de porter un diagnostic sur les performances et impacts du système de production ». Donc c'est un outil qui rend compte à la fois des résultats des exploitations agricoles mais aussi des impacts éventuels de leurs activités productives. C'est dans cette perspective que nous utilisons le concept dans le sens d'appréhender la biodiversité agricole dans la zone cotonnière du Mali.

3. Biodiversité et diversité agricole

3.1. La biodiversité

Le terme biodiversité, rétraction de la diversité biologique, est classiquement considéré dans son sens littéral comme la diversité du vivant. Le concept de biodiversité, en tant que problématique de l'environnement a fait son apparition dans l'histoire au début des années 1980. Il a été vulgarisé à partir de 1992, pendant la Conférence de Rio et l'approbation de la Convention sur la Diversité Biologique (CDB) (Lévêque, 2008). La biodiversité est aperçue à plusieurs niveaux d'échelles telles des molécules et celle à la biosphère.

Lévêque, 2008, la convention sur la diversité biologique définit la biodiversité comme « étant la variabilité des organismes vivants de toute origine y compris, entre autres, les écosystèmes terrestres, marins et autres systèmes aquatiques et les complexes écologiques dont ils font partie ; cela comprend la diversité au sein des espèces (diversité interspécifique) et entre les espèces (diversité intra-spécifique) ainsi que celle des écosystèmes (diversité écologique) ». Toutefois, certains auteurs comme (Barbault et Chevassus-au- Louis, 2004), soulignent que le concept de biodiversité va plus loin que la simple description de la diversité du vivant. En effet, selon ces auteurs, la biodiversité est une affaire d'interactions au sein de chaque niveau fonctionnel cité ci-dessus, entre les échelles fonctionnelles mais aussi avec les sociétés humaines. En premier lieu, les facteurs humains font peser des menaces sur cette dernière à travers :

- La dislocation ou la détérioration des écosystèmes tels que la déforestation, la pollution des sols et la fragmentation des habitats) ;
- L'exploitation éphémère de la diversité biologique (braconnage, surexploitation forestière) ;
- La variabilité du climat qui perturbe les cycles biogéochimiques.

Toutes ces forces distinctes interagissent entre elles et peuvent provoquer des perturbations. Parmi les mouvements représentant une source de menace pour la biodiversité, aux moins deux ont connu une forte augmentation au cours de ces dernières années selon le Millenium Ecosystem Assessment (MEA, 2005): l'intensification agricole et la variabilité climatique. Or, ces deux phénomènes sont les principales sources d'érosion de la biodiversité aujourd'hui. Nous utilisons le terme biodiversité dans le sens de la convention de diversité biologique (1992) pour elle la biodiversité est « la variabilité des organismes vivants de toute origine y compris, entre autres, les écosystèmes terrestres, marins et autres écosystèmes aquatiques et les complexes écologiques dont ils font partie; cela comprend la diversité au sein des espèces et entre espèces ainsi que celle des écosystèmes ».

Le concept s'applique à la fois à des écosystèmes naturels qu'aux milieux aménagés et fortement artificialisés. Parmi les domaines d'application, celui de l'agriculture qui est le plus interpellé en raison de son lien étroit avec les espaces naturels. Vu sous l'angle de l'agriculture la diversité est alors appelé agrobiodiversité ou diversité agricole.

3.2. L'agrobiodiversité

Tout comme le mot biodiversité, l'agrobiodiversité fut aussi défini lors de la conférence de 1992 sur la diversité biologique. Dans l'appréhension de toutes les définitions de la diversité biologique agricole ou de l'agro-biodiversité, les éléments suivants sont importants : les espèces animales et végétales comme le point de départ, l'alimentation humaine et animale, la production agricole au sens large du terme et l'espace du système. La biodiversité agricole, ou l'agrobiodiversité désigne « la diversité des espèces et des usages des gènes et espèces associés à l'agriculture ou utilisée par elle » (INRA, 2008). Dans cette définition l'auteur exclut les autres composantes telles que les terres agricoles pour se baser sur la diversité des espèces. Pour la FAO, ce sont les composantes de la biodiversité, qui contribuent à promouvoir la production agricole et alimentaire. Le terme agrobiodiversité recouvre la diversité des écosystèmes, des espèces et entre les espèces.

La définition, qui cadre le mieux avec cette étude est celle formulée lors de la cinquième conférence des parties de la CDB (Convention sur la Diversité Biologique) cité par (INRA, 2008). Ainsi l'expression « diversité biologique agricole ou agrobiodiversité » désigne de façon générale « tous les éléments constitutifs de la diversité biologique qui constituent l'agrosystème : la variété et la variabilité des animaux, des plantes, des micro-organismes aux niveaux génétiques, spécifiques et écosystémiques nécessaires au maintien des fonctions clés de l'agrosystème, de ses structures et de ses processus ». Mais comme souligné par Barbault et Chevassus-au-Louis, 2004, l'interaction entre composante et échelles est capitale dans l'appréhension de la diversité ; d'où notre question sur les relations entre les différents niveaux de diversité agricole que sont : l'exploitation, le terroir et la région agricole. Pour mieux cerner cette interaction dans ce travail, nous cherchons à comprendre les relations entre les différents niveaux de diversité agricole (Parcelle, Exploitation, village et régions agricoles) dans la zone cotonnière du Mali.

4. Concept de paysage agricole

Au sens initial, collectif et répandu du terme, le paysage c'est « ce que je vois » (Neuray, 1982), c'est-à-dire la « physionomie d'un espace qu'on embrasse du regard ou celle d'une contrée que l'on traverse, parcourt ou survole » (Noirfalise, 1988). Le plus élémentaire et le plus ordinaire des paysages est, comme le dit (Bertrand, 1978) « à la fois social et naturel, subjectif et objectif, production matérielle et culturelle, réel et symbolique ». Le paysage se place ainsi à la charnière entre un objet : l'espace, le lieu, et un sujet : l'observateur, (Berque, 1991). À présent, le paysage trouve une dimension forte notamment en écologie et en aménagement du territoire dans la mesure où il est une représentation de la réalité perçue par les sens. Dans ces perspectives, le paysage peut se définir comme l'image d'un lieu tel qu'il est perçu par un observateur qui, du sol, le regarde. Le paysage est alors un aspect de la manière dont les éléments constitutifs de ce lieu s'organisent dans l'espace.

« Les paysages agricoles sont le résultat visible de l'interaction entre l'agriculture, les ressources naturelles et l'environnement, englobant aussi bien des valeurs d'agrément et des valeurs culturelles que d'autres valeurs sociales » (OCDE 2001) c'est à la fois indicateur

naturel, économique, technique et social de l'activité agricole dans un espace donné d'où la fameuse citation « Il faut savoir lire le paysage, on y trouvera le milieu qui le sous-tend, la société qui l'anime et l'histoire qui l'a construit » (Gondard, 1991)

4.1. La fragmentation du paysage

La fragmentation est le morcellement d'un paysage en éléments de petites dimensions (Godron, 2008).

4.2. Structure paysagère

La structure paysagère peut être définie comme une « association ou agencement d'éléments topographiques, minéraux, végétaux, architecturaux ...constituant des ensembles cohérents qui organisent et qualifient un espace. Elles sont naturelles (crête, falaise, gorge, ripisylve) ou façonnées par l'homme (restanques, haies, canaux, formes urbaines) » (Simalis, 2006)

4.3. Composition paysagère

La composition paysagère est la façon dont se combinent relief, végétation spontanée, aménagements liés aux activités humaines et qui caractérisent un secteur ou organisation volontaire des éléments pour composer un projet de paysage. (Simalis, 2006)

5. Synthèse de chapitre I

Depuis plusieurs décennies déjà, la littérature scientifique sur les concepts utilisés en agriculture abonde. Ces concepts sont souvent différemment utilisés selon qu'on soit dans les pays développés ou dans les pays en voie de développement. De même, l'emploi des concepts diffère qu'on parle de l'agriculture tropicale ou des autres régions agricoles de par le monde. Bien que certaines définitions soient âprement débattues entre les chercheurs, plusieurs concepts de base font cependant l'unanimité qu'on soit de l'agronomie ou dans les autres disciplines œuvrant dans le secteur rural.

En plus du caractère « tropicalisés » des concepts mobilisés, ce qui fait la cohérence du positionnement de la thèse par rapports aux différentes définitions et la dimension spatiale liée elle-même aux questions et aux orientations du projet de thèse : représentation spatiale, analyse spatiale et relation entre échelles géographiques dans la zone cotonnière du Mali

Le chapitre suivant traite de la présentation de la zone cotonnière du Mali dans ses traits essentiels. Elle retrace l'historique de la culture du coton en Afrique et fait un focus sur le cas malien. Une analyse est faite sur l'agriculture à travers les régions agricoles.

CHAPITRE II : LA ZONE COTONNIERE DU MALI

Le bassin cotonnier de l’Afrique de Ouest est l’un des cinq bassins cotonniers du continent avec le bassin égyptien, le bassin Est-africain, le bassin des grands lacs et le bassin de l’Afrique australe. Le bassin ouest-africain est le plus important en terme de superficie et de production.

2. Le coton en Afrique

2.1. Historique

Depuis les années 1860, des essais de culture de coton sont lancés dans les pays comme la Gambie et la Sierra Leone, puis au Nigeria par une association pour le développement de la culture du coton créée à Manchester par un groupe d’industriels inquiets des difficultés d’approvisionnement des usines de transformation. En 1903, la British Cotton Growers Association (BCGA) fut établie au Nigeria par les anglais. Ainsi, la France à la même époque a débuté les essais de culture de coton dans la vallée du fleuve Sénégal où les Soninké disposent d’une longue tradition cotonnière, puis en Casamance mais sans succès, (Bakayoko 2013).

Dans les années 1920, la France se tourne vers le Soudan français l’actuel « Mali » avec la construction de l’Office du Niger au Mali, conçu pour la production de coton par irrigation. Cette expérience n’a pas eu de succès. Ce sont finalement les savanes d’Afrique Equatoriale Française (AEF) entre le Cameroun, le Tchad et la République Centrafricaine (RCA) qui accueillent le premier grand bassin cotonnier d’Afrique avant de s’étendre à l’Afrique de l’Ouest.

Après les années 1960 à la suite des indépendances dans de nombreux pays africains, le coton se développe plus à l’ouest sous l’effet de politiques volontaristes largement incitées par les anciens pouvoirs coloniaux. Ces politiques s’appuyaient sur des entreprises parapubliques, dont les activités de soutien et d’encadrement rapproché des producteurs portaient sur la vulgarisation, la recherche, l’appui à la commercialisation du coton, etc.

En Afrique, les années 70, ont été marquées par la création des sociétés d’économie mixte. Parmi celle-ci on peut citer Cotontchad au Tchad, la Compagnie Ivoirienne de Développement des textiles (CIDT) en Côte d’Ivoire, la Société de Développement et des Fibres Textiles (SODEFITEX) au Sénégal, Société de Développement du Coton (SODECOTON) au Cameroun, Compagnie Malienne de Développement des Textiles (CMDT) au Mali, La Société Burkinabé des Fibres Textiles (SOFITEX) au Burkina Faso et

de la Société Centrafricaine de Développement Agricole (SOCADA) en République Centrafricaine.

Elles ont été aussi marquées par la création de plusieurs Sociétés d'État. Par exemple on a la Société Nationale pour la Promotion Agricole (SONAPRA) au Bénin et la Société Togolaise de Coton (SOTOCO) au Togo.

Au cours des quatre dernières décennies, les superficies emblavées en coton en Afrique de l'Ouest ont pratiquement quadruplé, passant de 800 000 hectares à 3 millions d'hectares. En d'autres termes, les superficies cotonnières sont passées de 1,5 % à 3,5 % des terres cultivables dans la région. L'extension de ces surfaces cultivées en coton s'est accompagnée d'une augmentation tendancielle des rendements de 400 kg/ha au début des années 1960 à 1 000 kg/ha aujourd'hui (OCDE, 2006). L'introduction du coton, soutenue par des politiques de développement de la culture attelée voire mécanisée dans certaines zones a accru l'emprise agricole sur les zones de pâturage et de forêts, source de conflits entre agriculteurs et éleveurs (Ba, 2011).

2.2. Les bassins de production

Comme mentionné précédemment, l'Afrique compte cinq bassins de production du coton (**Figure 3**). Le bassin ouest africain le plus important, s'étend de la Sénégambie au Sud-Est du Tchad au centre de la République centrafricaine et représente 60 % de la production des bassins cotonniers en Afrique (OCDE, 2006). On estime que 2 à 3 millions d'exploitations agricoles familiales Ouest-africaines cultivent le coton sur une partie de leurs champs et la superficie cotonnière moyenne est comprise entre 1 et 2 hectares (OCDE, 2006).

En Afrique sub-saharienne, la culture cotonnière, en majorité pluviale, est concentrée dans la zone climatique tropicale où alternent les saisons sèches et humides. Le coton est cultivé dans l'ensemble des zones sub-humides et semi-arides bénéficiant d'une pluviométrie annuelle comprise entre 1 200 - 1 500 mm et 500 - 700 mm. Ceci explique pourquoi on retrouve cette culture aussi bien dans les zones septentrionales des pays côtiers (Bénin, Cameroun, Côte d'Ivoire, Nigeria, Togo) que dans les zones méridionales des pays continentaux (Mali, Burkina Faso, Niger et Tchad). Le cotonnier est aussi cultivé dans le Centre voire le Sud du Bénin et du Togo, s'adaptant aux caractéristiques pluviométriques de cet espace.

Le bassin ouest-africain se fractionne en zones de production du coton. La zone la plus importante est située entre le Mali, le Burkina Faso et la Côte d'Ivoire (Ba, 2011). Le Bénin et le Togo se partagent l'essentiel de la seconde zone. La troisième est centrée sur le Nord Cameroun et le Sud du Tchad. La quatrième est essentiellement nigériane. La cinquième zone, bien que marginale sur le plan régional, peut être dessinée entre le Sénégal, l'Est de la Gambie, une partie du Nord de la Guinée et du Nord-Est de la Guinée Bissau. Certains de ces espaces sont soudés par des liens socio-culturels très forts tels que l'espace Haoussa entre le Nigeria et le Niger, ou l'aire Sénoufo entre la Côte d'Ivoire, le Mali et le Burkina Faso (**Figure 3**).

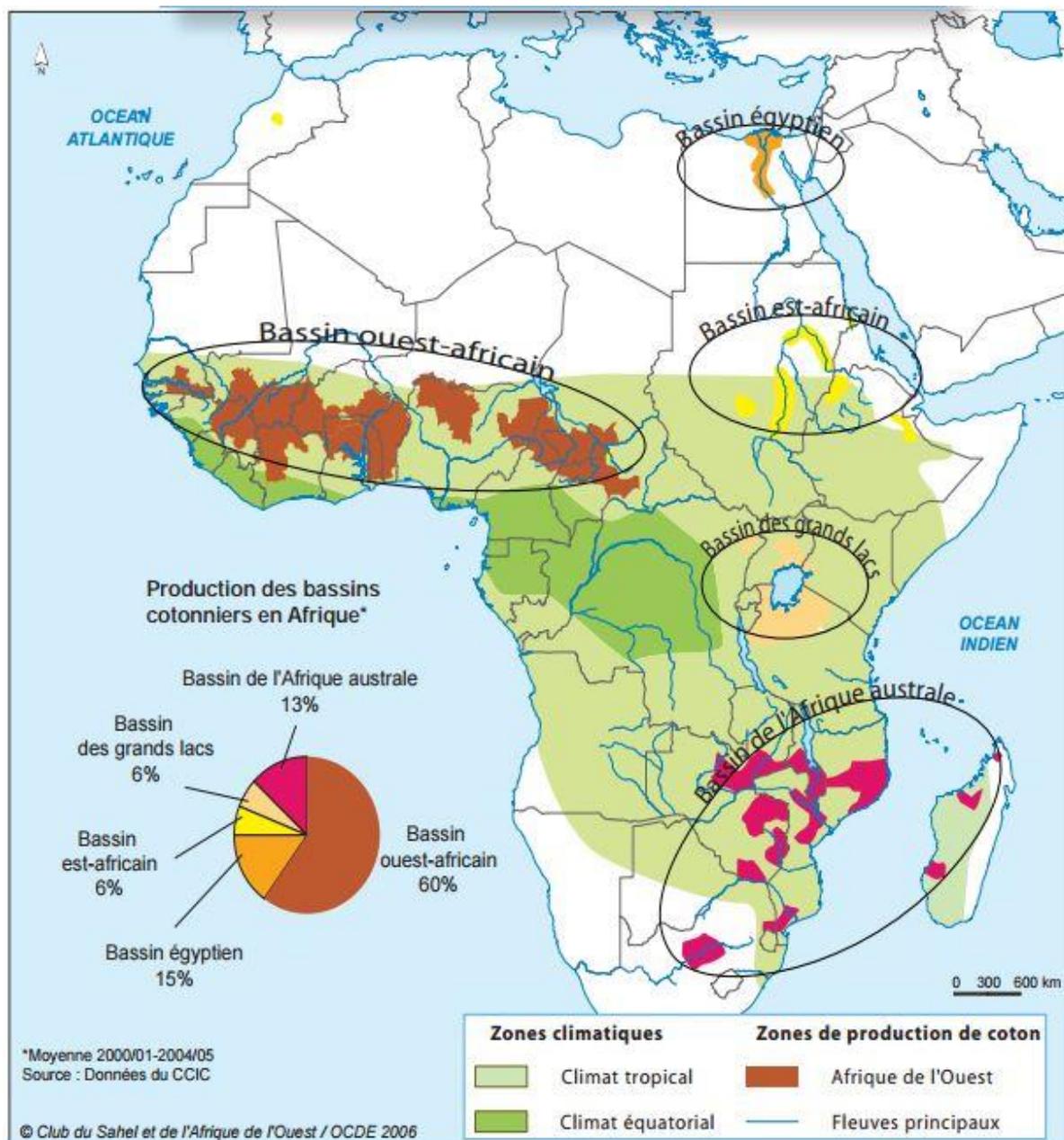


Figure 3: Bassins de production du coton en Afrique

Source : Club du sahel et de l'Afrique de l'Ouest / OCDE 2006

La Géographie du coton africain a évolué depuis les années 1960. Après les indépendances des pays, la production de coton de l'Afrique de l'Ouest ne représentait en moyenne que 15 % de la production africaine, contre près de 40 % pour l'Égypte et 20 % pour l'Afrique de l'Est (OCDE, 2006). Les politiques cotonnières menées à partir des années 1970 expliquent certainement le développement du coton dans cet espace.

L'Afrique de l'Ouest et du Centre, avec 5 % de la production mondiale et 13 % des exportations était ainsi devenue au début du XXIe siècle, le deuxième exportateur mondial de fibre de coton, derrière les États-Unis. La productivité a été multipliée par quatre au cours de

la période 1960 -1985, passant de 100 kg à plus de 400 kg de fibre/ha (contre 319 kg fibre/ha) en culture pluviale (Texier, 2009).

2.3. Historique de la culture du coton au Mali

Le coton est la première production agricole de rente du Mali, Cette culture emploie directement plus de 4 millions de personnes. Le secteur cotonnier apparaît donc comme le principal pourvoyeur d'emplois. Au Mali, en 2012, le coton représentait environ 14% du PIB (740,74 milliards FCFA sur les 5 291). Il fournit 98,8% des recettes d'exportation agricole et il occupe le second rang des exportations totales après l'or (Bakayoko, 2013). L'historique du coton au Mali est indissociable avec celle des autres pays africains en général mais toujours est-il qu'à l'intérieur de chaque pays les spécificités existent et le Mali ne se soustrait pas à cette règle.

En effet, le coton a toujours été cultivé en zone Mali-Sud de façon traditionnelle par les populations en utilisant des variétés locales. La France pour diminuer sa dépendance vis à vis de l'Angleterre et des Etats Unis a introduit à travers les services agricoles de l'administration coloniale des actions d'encouragement de la culture par :

- la création de la ferme de Baraouéli;
- l'expérimentation des premières variétés importées;
- la mise au point de techniques culturales.

Ces actions furent à l'origine des premières améliorations de la culture cotonnière du Soudan français (actuel Mali) dans la zone de l'Office du Niger dont les travaux d'aménagements, commencés en 1920 (CMDT, 2008) et qui étaient conçus pour la culture irriguée des fibres de longue soie du coton. Par la suite, la ferme de Baraouéli fut dotée de la première machine d'égrainage du coton du Soudan français (actuel Mali) et devint du coup le premier centre de modernisation du coton. L'Institut de Recherche Cotonnière et des Fibres Textiles exotiques (IRCT) créa en 1948 la station de N'Tarla pour y effectuer la recherche appliquée, la création de variétés, et la formation des agents d'encadrement. En 1960, la culture attelée est introduite par les maîtres laboureurs des services d'outre-mer en zone cotonnière du Mali.

Au départ, la recherche variétale visait principalement un objectif de production. Le critère de qualité était moindre (Bakayoko, 2013). Les exigences des filateurs dans les années 80 et l'insuffisance de personnel ont conduit la CMDT à ne pas réaliser plusieurs variétés à la fois. Cela pour se mettre à l'abri des problèmes de mélange variétal.

En octobre 1974, la Compagnie Malienne pour le Développement des Textiles (CMDT) fut créée avec comme actionnaire majoritaire l'Etat malien avec 60% du capital de 200 millions Francs malien et la CFDT qui détenait le reste précisément les 40%. La CMDT est aussi chargée du développement rural intégré de ses zones d'intervention. L'année 1975 a vu la création de la région CMDT de Sikasso et la même année, le modèle des Associations Villageoises (AV) est testé dans certains villages des cinq régions CMDT alors existantes. Ces actions ont eu pour conséquences une augmentation de la production qui passe de 60 000

tonnes en 1974-75 à 264 142 tonnes en 1990-91, avec des rendements respectifs de 883 et 1,328 kg à l'hectare et le prix au producteur de 37,5 FM à 85 FM le kg (Bakayoko, 2013).

En 1983 sont créées les premières Zones d'Animation et d'Expansion Rurale (ZAER) sur la base d'un groupement d'Associations Villageoises performantes. En 1989 est signé le premier contrat-plan entre l'Etat et la CMDT. La filière enregistrera cependant deux crises dont l'une en 1981-82 et la seconde en 1990-91. La crise de 1981-82 a pour origine la mauvaise conduite des opérations de collecte, de pesée et de classement du coton par les équipes d'achat constituées par les agents CMDT et les travailleurs saisonniers. Les associations villageoises ont dénoncé ces mauvaises pratiques des agents et ont refusé de vendre leur coton. Après des enquêtes, le département de tutelle a demandé à la CMDT d'intensifier l'alphabétisation et de confier les activités de collecte et de classement du coton aux associations. Le coton occupe alors une place importante dans l'économie du Mali. Il est égrené, la fibre est vendue principalement à l'extérieur et les graines sont écrasées pour en extraire de l'huile fabriquée du savon et de l'aliment bétail.

A partir de 2000, le Mali entame la réforme de la filière du secteur coton suite au boycott de la culture du coton par les paysans. Suite aux difficultés, les différents actionnaires se retirent, l'Etat malien rachète leur part. Le secteur rentre dans une incertitude qui commence à se lever à partir de 2010. Depuis, on assiste à une augmentation importante des superficies du coton, à une évolution de la production de coton graine et de coton fibre.

2.4. Caractéristiques de la zone cotonnière du Mali-sud

Limitée par les frontières de la Guinée et de la Côte d'Ivoire au Sud, du Burkina Faso à l'Est et du fleuve Niger au Nord, la zone cotonnière au Mali-Sud couvre administrativement toute la Région de Sikasso et partiellement les Régions de Kayes, Koulikoro et de Ségou (**Figure 7**). Elle couvre au total 13 Cercles, 79 Arrondissements et 3 505 villages. Sa superficie est d'environ 165 814 km² (PASE et CMDT) soit presque 9 à 10 % du territoire national et 36 % de la superficie non désertique du pays. La zone cotonnière fait vivre près d'un tiers de la population malienne.

La zone cotonnière du Mali-Sud est située entre les isohyètes 600 mm d'eau au nord et à plus de 1 200 mm d'eau au sud (**Figure 7**). Elle est la principale zone de production cotonnière du pays. Cette zone est encadrée par la compagnie malienne de développement des textiles (CMDT) et l'Office de la Haute vallée du Niger (OHVN). En tant que principale zone agricole du pays (toute la production du coton malien), elle fait l'objet de recherches depuis une cinquantaine d'années et sur les systèmes de production depuis la fin des années 1990 (Ba, 2011).

2.4.1. Relief

Le relief est constitué de plaines, de glacis d'accumulation, de surfaces sommets plates et de dépôts alluviaux. Les sols sont de type argileux, argilo-limoneux, limono-sableux et

gravillonnaire sur les pentes. Du Nord au Sud, on rencontre les grands types de savanes tropicales : boisée, arborée et arbustive (Soumaré, 2004).

Le relief est peu accidenté, mais il présente quelques inselbergs dont les sommets présentent parfois un dénivelé de 400 mètres avec les pédiplaines situées aux alentours, surgissent néanmoins ici ou là, aux alentours de Kita et Sikasso (**Figure 4**). On y observe alors souvent des sédiments très étendus en contrebas (piémont) des versants escarpés ; ces vastes glacis rectilignes sont eux aussi généralement recouverts de gravillons latéritiques en amont et de sédiments sablo-limoneux dans leur partie aval (Dufumier, 2005).

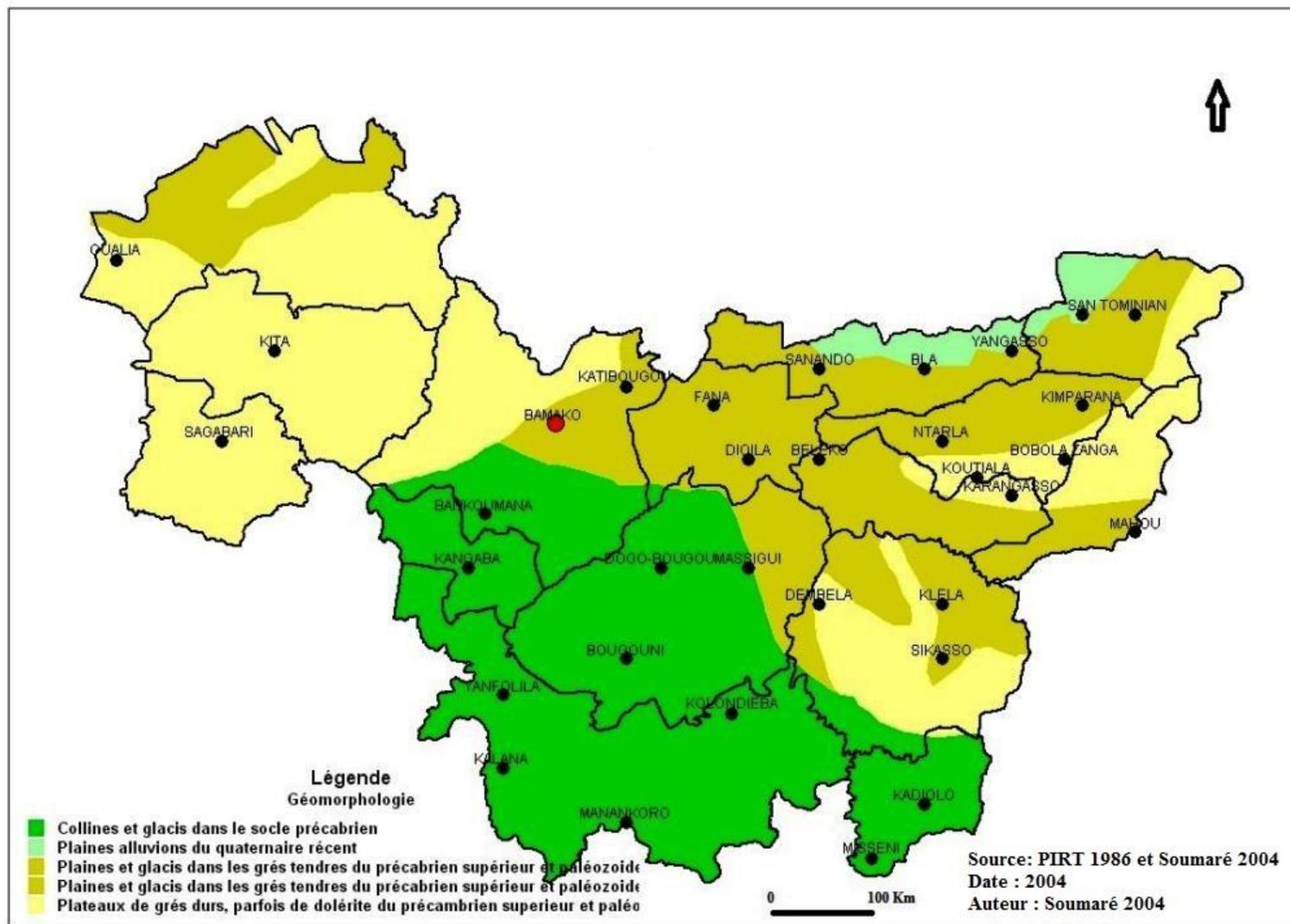


Figure 4 : Géomorphologie de la zone cotonnière du Mali

2.4.2. Climat et végétation

La zone cotonnière, de par sa position géographique, appartient à un climat tropical sec soumis à l'influence de la mousson. Elle couvre du sud vers le nord les domaines pré-guinée et soudanien. Le climat est caractérisé par l'alternance de deux saisons : une saison pluvieuse ou hivernage dont la durée varie de 4 à 7 mois selon la zone et une saison sèche sur le reste de l'année. La pluviométrie moyenne annuelle varie de 1 300 au Sud à moins de 700 mm par an au Nord dans la zone de San (Région de Ségou). La durée de la saison de croissance des cultures s'étend de 140 à 120 jours (Soumaré, 2005).

L'agriculture malienne en générale et celle de la zone cotonnière en particulier est dépendante des conditions climatiques dont la pluviométrie et la température. Elle dépend presque exclusivement de la pluviométrie qui demeure aléatoire et variable d'une année à une autre, même d'une localité à une autre (Sultan, 2004). Cependant, le facteur le plus important qui limite le développement des cultures est la satisfaction des besoins en eau.

2.4.2.1. Le domaine soudanien

Les pluviométries interannuelles varient de 516 mm en 1984 notamment la période juste après la sécheresse de 1983 à 1358,4 en 1994. On note une variation importante interannuelle (Figure 5). La durée de la saison des pluies est assez longue 3 à 5 mois et la pluviosité est quant à elle élevée. Les températures moyennes interannuelles au niveau de la station de Koutiala varient entre 27,25 °C en 1982 et 28,85 °C en 2016. Les températures sont élevées dans l'ensemble, mais varient peu d'une année à une autre. En espaces de trente-six ans, on constate une hausse de 1,60° C (Figure 6).

La végétation est dominée par la savane arborée et la savane et la savane boisée. On note également la présence de la forêt galerie, de la prairie hygrophile, de la savane arbustive et de la forêt claire dans des proportions moins importantes que les deux premières cités. (Chapitre 4)

La zone soudanienne est la partie qui offre le plus de potentialités à l'agriculture malienne avec des bonnes conditions d'alimentation hydrique des sols sur les glacis et dans les bas-fonds favorisent le développement de nombreuses cultures.

2.4.2.2. Le domaine soudano-guinéen

Plus au Sud, le domaine soudano-guinéen se présente généralement sous la forme d'une mosaïque de savanes et de forêts claires. Les fonds de vallées y sont bordés de forêts galeries, domaine de prédilection de la mouche tsé-tsé causant la trypanosomiase ou maladie du sommeil. Les bas-fonds hydromorphes n'y ont été qu'assez récemment « libérés » de l'onchocercose.

Dans cette zone, la végétation constituée par les savanes (boisée et arborées) et des forêts (galerie et claires) prédominent très largement. (Chapitre 4)

C'est dans ce domaine qu'on retrouve les parties les plus pluvieuses du Mali, la normale pluviométrique dépasse les 1 000 mm d'eau par an. Sur les trente-six dernières années (1981-2016) dans la station de Sikasso, la moyenne interannuelle la plus faible a été enregistrée en 1983 avec 754,7 mm tandis que l'année la plus pluvieuse a été celle de (2016) avec 1 552,8 mm (Figure 6). Dans la même station météorologique, les températures moyennes annuelles dans cette zone sont comprises entre 26,85 en 1982 et 28,25 en 2016 (Figure 6).

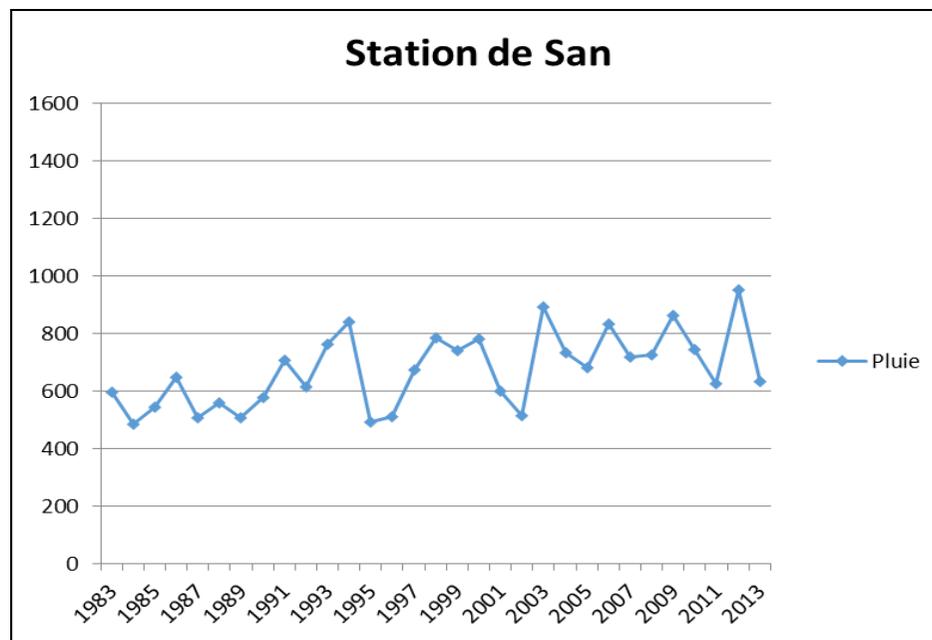
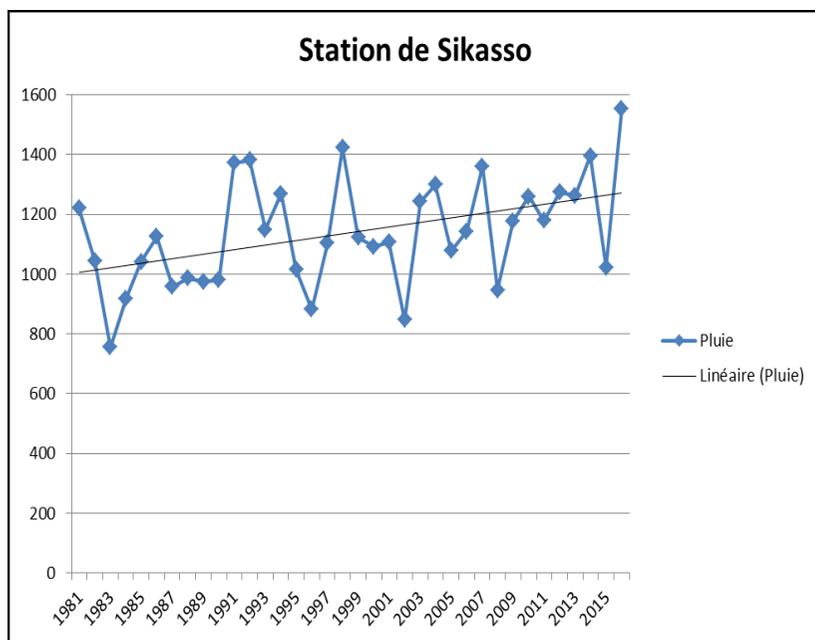


Figure 5 : Variations interannuelles de la pluviométrie des stations de Koutiala, Sikasso, Bougouni et San (Source : MALI-METEO 2016)

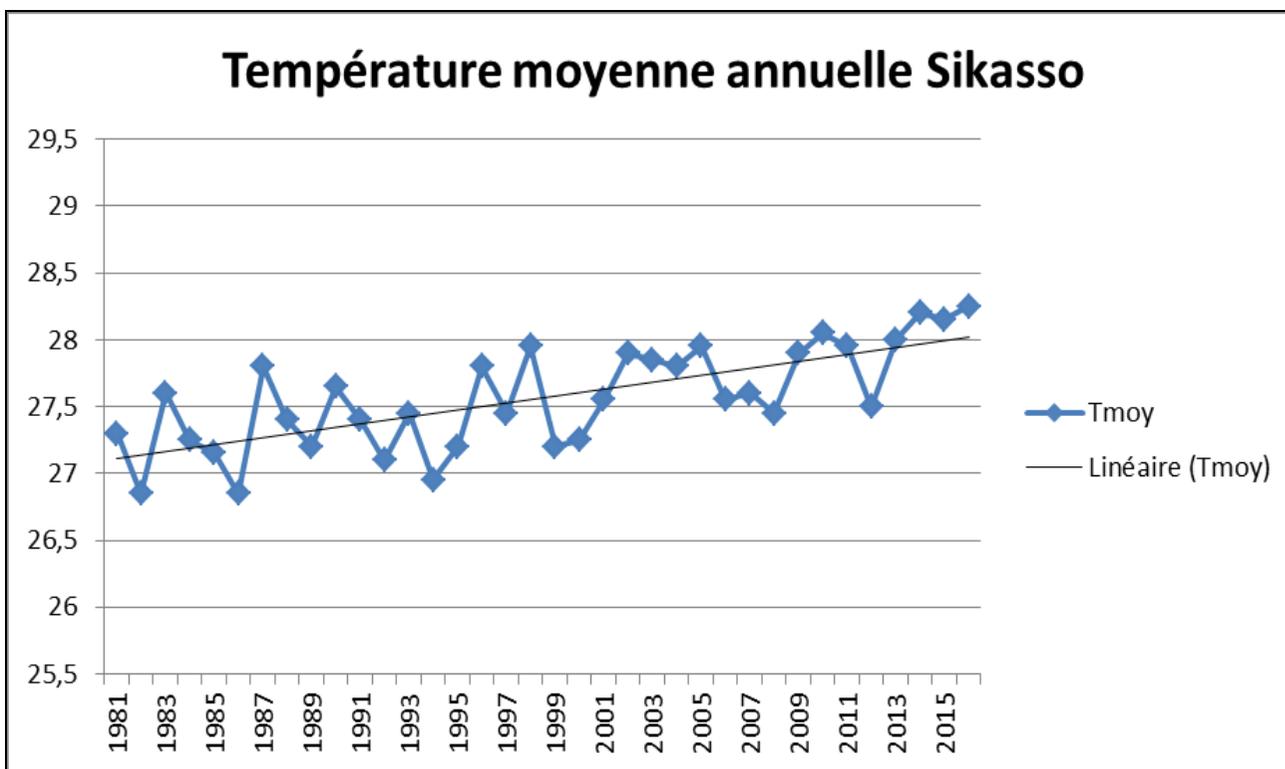


Figure 6 : Variations interannuelles de la température moyenne des stations de Koutiala, Sikasso et Bougouni (Source : MALI-METEO 2016)

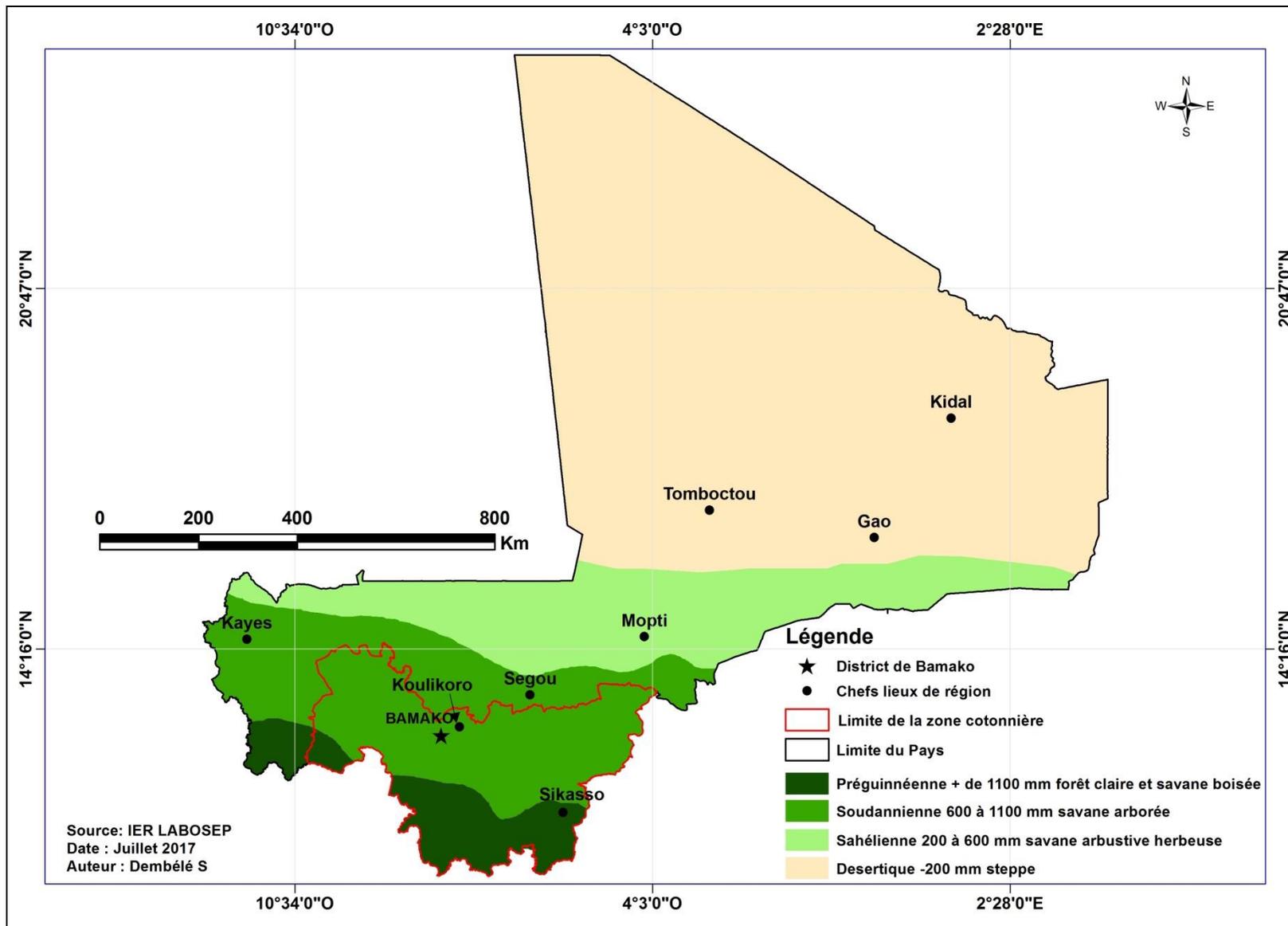


Figure 7 : Carte agroclimatique du Mali et de la zone cotonnière

3. Evolution de la population et de sa répartition

Depuis le Recensement Général de la Population et de l'Habitat (RGPH) de 1987, la population de la zone cotonnière du Sud Mali a augmenté de 3 971 716 pour atteindre en 2009 (**Figure 8**). La population se chiffrait à 7 411 259 habitants (RGPH, 2009), ce qui correspond à une augmentation annuelle moyenne de 180 532 habitants. A ce rythme, elle atteindra en 2020 une population de 9 397 117 habitants.

L'évolution de la population à travers les recensements respectifs de 1987, 1998 et 2009 est illustrée dans la Figure 8, elle montre la variation importante du nombre d'habitants. Ainsi les principaux cercles responsables de cette forte augmentation sont le District de Bamako, celui de Kati, de Sikasso et de Koutiala. En effet ces cercles ont vu tripler leurs populations entre 1998 et 2009. Pour Bamako et Kati, la population de ces deux est passée respectivement de 656 495 habitants en 1987 à 1 810 366 habitants et de 349 947 à 931 164 habitants pour les mêmes périodes.

Tout comme le District de Bamako et le Cercle de Kati, les Cercles de Sikasso et Koutiala qui sont au cœur de la zone cotonnière au Mali-Sud, ont connu aussi une augmentation de leur population depuis les années 1987. Ainsi, la population de Sikasso et de Koutiala était composée de 49 % d'hommes contre 51 % de femmes (INSTAT, 2009). Elle a été multipliée par près de 1,46 entre les recensements de 1998 et 2009, ce qui représente un taux de croissance annuel moyen de 3,6%.

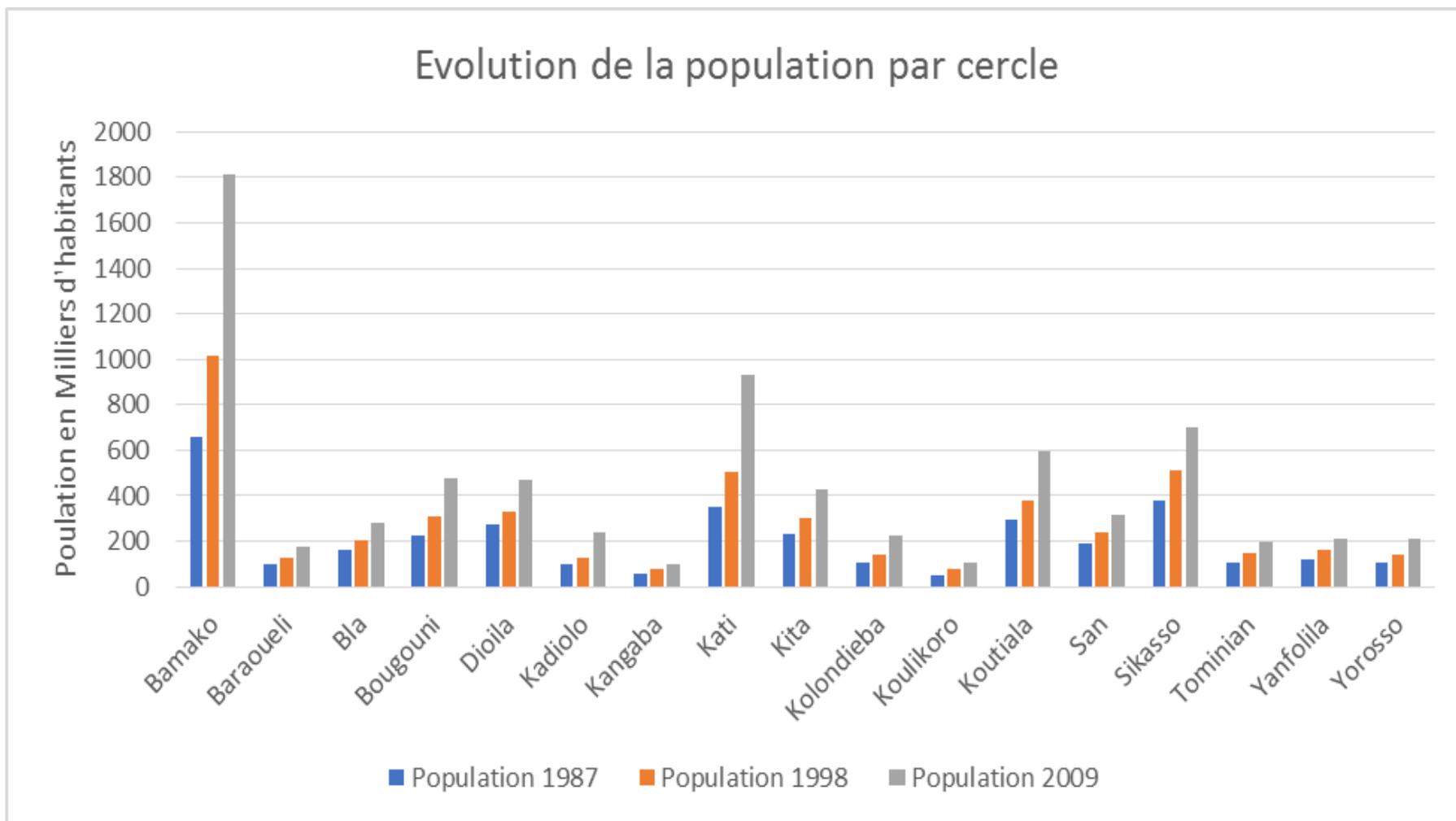


Figure 8 : L'évolution de la population des zones cotonnières du Mali (Source : RGPH 1987, 1998 et 2009)

4. L'agriculture dans la zone cotonnière

La présentation d'agriculture de la zone cotonnière s'inspire des travaux du projet PASE I dans sa composante « caractérisation des dynamiques agraires en zones » et de Soumaré 2008 qui servent de référence dans le zonage des zones cotonnières du Mali. Ces travaux ont permis de subdiviser la zone cotonnière en six régions agricoles : la zone nord soudano-sahélienne, le vieux bassin cotonnier, la zone hétérogène en équilibre, la zone sud d'extension, la zone de la Haute Vallée du Niger et la nouvelle zone cotonnière.

4.1. La zone Nord soudano-sahélienne

Malgré une pluviométrie variant entre 800 et 600 mm, la zone nord soudano sahélienne connaît une densité de 44 habitants au km² en 2009. Les sols sont de types ferrugineux tropicaux à texture majoritairement sableuse avec une part importante d'apports éoliens. Les systèmes de cultures sont dominés par le mil et le sorgho. L'élevage est surtout pratiqué par quelques grandes exploitations. Dans cette zone nous pouvons distinguer deux systèmes agraires locaux : un premier système basé exclusivement sur la céréaliculture et l'arachide avec des pratiques moins intensives au Nord-Est-ce système est surtout visible dans la partie Nord des cercles de San et de Tominian et l'autre système fondé sur les mêmes cultures mais avec une tendance vers l'intensification à travers la culture du coton.

4.2. Le vieux bassin cotonnier

Deuxième zone la plus densément peuplée avec en moyenne 49 habitants au km² en 2009, le vieux bassin connaît une pluviométrie qui varie en moyenne entre 800 et 900 mm. C'est le domaine d'une forte intensification avec recours aux transferts de matière organique malgré une insuffisante disponibilité fourragère pour les animaux. On assiste à la saturation progressive des terroirs dans beaucoup de village ce qui favorise la mise en valeur des terres difficiles d'accès dans la partie nord de cette zone.

4.3. La zone hétérogène en équilibre (Sikasso-Bougouni)

La région est située au centre de la zone cotonnière sur une superficie de 34 519 km². Elle est caractérisée par une densité de population plus faible que le vieux bassin cotonnier (36 habitants au km² en 2009), Néanmoins, cette zone dispose de conditions naturelles très favorables : une pluviométrie abondante avec plus de 1000 mm de précipitations annuelles en moyenne et les terres cultivables sont en quantités suffisantes et fertiles. Ces conditions offrent la possibilité de pratiquer les cultures pluviales très diversifiées. En plus de ces cultures pluviales, la zone regorge d'importantes surfaces en bas-fonds qui favorisent la culture des tubercules et la mise en place des plantations. La seule contrainte à la production agricole dans cette zone est essentiellement lié à la main d'œuvre.

4.4. La zone d'extension du Sud

Situé à l'extrême sud de la zone cotonnière sur une superficie de 28 204 km². L'enclavement de cette zone explique son faible peuplement (36 habitants au km²). La pluviométrie est comprise entre 1000 et 1200 mm. Cette région agricole est subdivisée en deux grandes unités. La première est centrée sur Kadiolo où la culture intensive se développe et la seconde zone concernant Kolondiéba et Yanfolila est marquée par des anciennes pratiques comme la culture manuelle et système d'abattis-brûlis.

4.5. La Zone Haute Vallée du Niger (OHVN)

Situé au centre-Ouest de la zone cotonnière sur environ 23 262 km². Cette zone est densément peuplée (114 habitants au km²) et fortement soumise à l'influence de Bamako et Kati. La pluviométrie annuelle est comprise entre 600 à 1 100 mm d'eau annuelle par an. La région agricole à une orientation plus céréales (Mil/Sorgho) et arachide/tabac pour les cultures commerciales. Cette situation est due au fait que la politique de développement agricole a été plus centrée sur la diversification que sur la production du coton comme cela été le cas dans d'autres régions agricoles de la zone cotonnière du Mali.

4.6. La nouvelle zone cotonnière

Cette région agricole est située à l'Ouest de la zone cotonnière sur une superficie de 39 743 km². Elle est la zone la moins peuplée avec seulement 11 habitants au km² en 2009. La pluviométrie dans cette partie de la zone cotonnière varie de 700 à 1200 mm. Hormis la pluviométrie favorable, le relief est assez contrasté entre le nord et Sud. Les glacis dominant au nord alors que le sud est caractérisé par des collines du Mont Manding avec des sols gravillonnaires (Soumaré 2008). C'est à la suite des problèmes de commercialisation de l'arachide que la Compagnie Malienne de Développement des Textiles a étendu son activité dans cette zone en 1994/1995. Le système de culture est basé sur le sorgho et l'arachide avec un système agraire de culture et jachère.

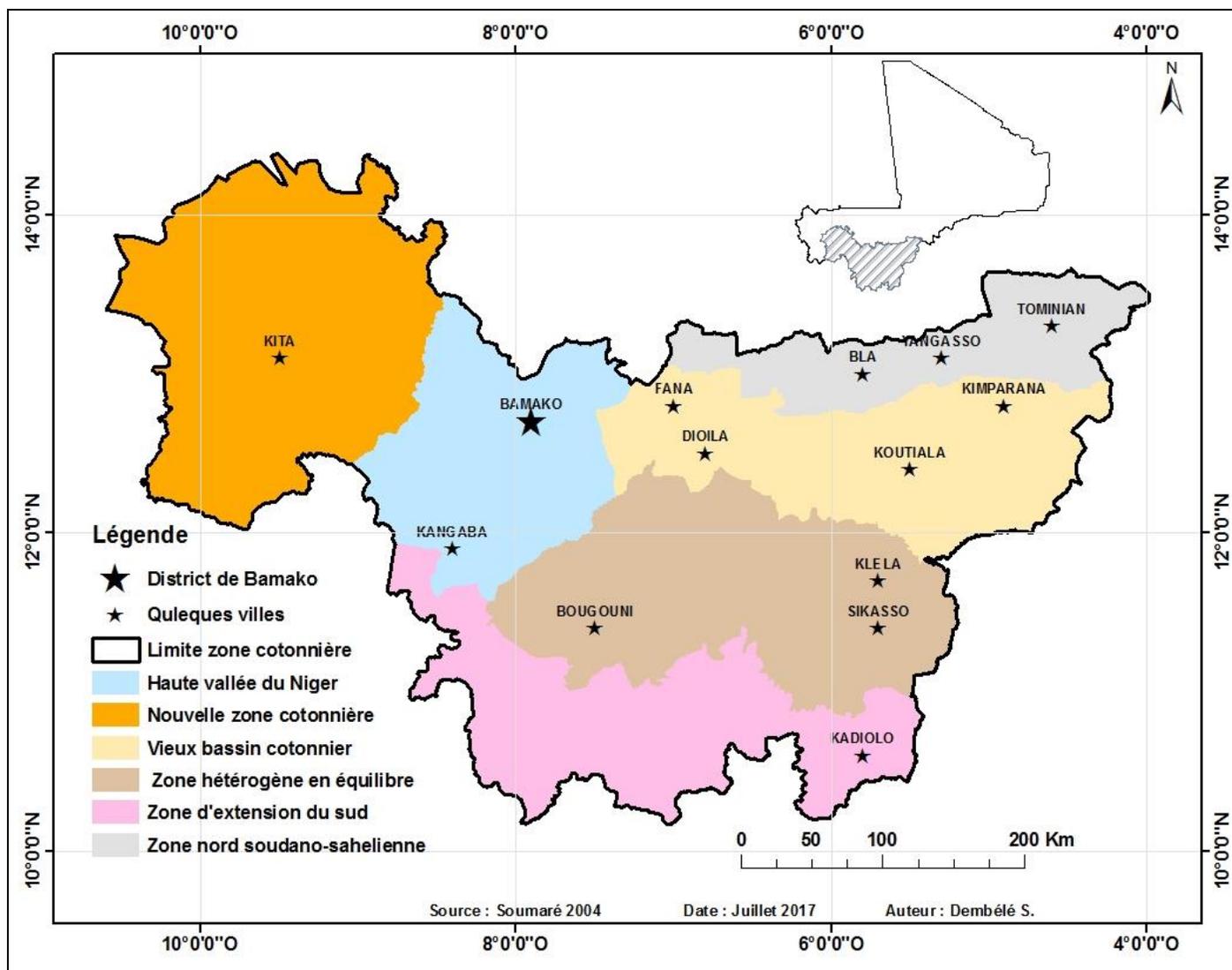


Figure 9 : Présentation de la zone cotonnière du Mali

5. Synthèse de chapitre II

La zone cotonnière du Mali-Sud est une zone de production du cotonnier incontestable du pays depuis un certain nombre d'année. En tant que principale zone agricole du pays toute la production cotonnière vient de cette zone, d'où l'intérêt porté sur elle notamment en matière de recherche et ce depuis les périodes d'avant l'indépendance. En effet c'est dans les années 1930, que le pays colonisateur se dirige vers le Soudan français l'actuel « Mali » avec la mise en place de l'Office du Niger au Mali, qui était destiné à la production de coton par irrigation.

Cette zone couvre presque 10 % du territoire national soit 36 % de la superficie non désertique du pays. Elle se caractérise par un relief plat dans l'ensemble avec souvent des pics de sommets dans les alentours de Kita et Sikasso.

Le climat dans cette zone est de type tropical avec une alternance de deux saisons bien distinctes, une saison sèche et une autre pluvieuse. Nous pouvons distinguer dans cette zone trois grands domaines climatiques, la zone soudanienne avec une pluviométrie variant entre 600 à 1 100 mm d'eau par an ; le domaine soudano-guinéen qui enregistre une pluviométrie supérieure à 1 100 mm d'eau chaque année et la troisième zone qui est le domaine soudano-sahélien. Cette dernière partie est la plus sèche de la zone cotonnière, elle enregistre annuellement une pluviométrie qui dépasse rarement les 900 mm. Les températures sont élevées dans l'ensemble et varient entre 26° à 29° Celsius par an.

Quant à l'évolution de la population, elle a été retracée de 1987 à 2009. On remarque une forte augmentation du nombre d'habitants. Elle est passée de 3,43 à 4,69 millions entre 1987 et 1998 pour atteindre 7,44 millions d'habitant en 2009.

La zone cotonnière est aussi caractérisée par sa diversité paysagère. En effet on y retrouve dans cette zone une dizaine d'unité de paysage qui vont des surfaces savaniques (savane hygrophile, savane boisée, savane arborée, savane arbustive et savane herbeuse), des zones de forêts (forêt galerie et forêt claire), des zones agricoles (zones de cultures sèches et celles irriguées). On y retrouve aussi les surfaces rocheuses et les cours d'eaux (permanents et temporaires). Comment peut-on dissocier ces différentes unités de paysage ?

Le chapitre suivant (Chapitre 3) de cette thèse aborde les aspects méthodologiques d'analyse de cette diversité paysagère. Il traite des données satellitaires à la cartographie d'occupation du sol, de cette dernière aux indicateurs de diversité paysagère. Il expose également les méthodes d'analyse statistique de la dynamique du paysage.

LA DEUXIEME PARTIE : DIVERSITE PAYSAGERE

CHAPITRE III : APPROCHES METHODOLOGIQUES DE L'ANALYSE DU PAYSAGE

L'agriculture est une activité qui dépend beaucoup des conditions naturelles et consomme beaucoup d'espaces, particulièrement dans les zones tropicales où les possibilités d'intensification sont limitées. L'histoire de l'agriculture dans les zones cotonnières du Mali corrobore ce constat. De moins de 100 000 hectares dans les années 80, aujourd'hui les surfaces cultivées dépassent les 700 000 hectares. Une telle dynamique crée de nouveaux paysages, transforme ce qui existe déjà et affecte conséquemment la diversité agricole dans la zone.

Les paysages observés de nos jours correspondent à la manifestation des relations entre les hommes avec leur environnement à travers leurs cultures, leurs vécus, leurs savoir-faires, leurs pratiques, leurs technologies, etc. Ces paysages sont donc au croisement des conditions naturelles et des systèmes de production marqués par l'interaction entre les comportements sociaux et les variables naturelles.

Ce chapitre explique la démarche méthodologie à suivre pour appréhender la diversité des paysages, elle-même produit de la diversité des terroirs, des exploitations et des systèmes de cultures. Il répond aux questions telles : quelles sont les méthodes pertinentes pour cerner diversité paysagère dans la zone cotonnière ? Quels sont les indicateurs paysagers pertinents permettant de caractériser et de quantifier les paysages ? Et enfin quels sont les types de données utilisées pour renseigner ces variables ? Après avoir présenté le cadre théorique des indicateurs sur la diversité des paysages, le chapitre aborde les données et les méthodes mobilisées les renseignées.

3.1. Indicateur sur le paysagère

Les indicateurs de diversité ont été employés dans leur genèse par les forestiers, les agroforestiers pour évaluer les espèces végétales mais par extension, d'autres disciplines et d'autres auteurs les utilisent pour rendre compte de la diversité des unités d'occupation qui composent le paysage. Ainsi Mcgarigal et Marks (1994) utilisaient les indice de Fragstats pour quantifier la structure des paysages , Casado (2007) analyse la structure et la dynamique des paysages de montagne dans le bassin versant de la Voireuze, Germaine (2007) à utiliser des indices paysagers pour évaluer la diversité des paysages de vallées en Basse Normandie et Spaggiari (2010) proposait ces indices pour identifier des continuités écologiques dans le Grand Sud de la Nouvelle-Calédonie.

L'objectif des indicateurs sur le paysage est de disposer d'une base d'information objective et homogène sur l'ensemble de la zone, puis d'extraire des éléments pour caractériser et

quantifier la diversité des paysages. La méthode s'est focaliser sur l'extraction d'informations issues du traitement d'images qui sont les descripteurs les plus appropriés pour caractériser de manière spécifique les paysages (Germaine, 2007). Mais avant, il faut identifier les différents types d'indicateurs de paysages et leur pertinence pour la présente étude.

3.1.1. Choix des indicateurs paysagers

L'utilisation d'indicateurs pour la connaissance des paysages n'est plus à démontrer, ni à justifier (Luginbühl, 2009). Si un système d'information sur les paysages se donne pour objectifs de fournir des connaissances sur l'état, les dynamiques ou les perceptions d'un ou de plusieurs paysages, la mobilisation d'indicateurs constitue un moyen de préciser autant les caractéristiques d'un ou de plusieurs paysages que leurs évolutions ou leurs représentations sociales.

Si les intérêts pour des indicateurs de paysage ont pris de l'ampleur depuis quelques années seulement, en réalité, de nombreux auteurs se servaient des indicateurs pour rendre compte de l'état d'un paysage.

L'analyse quantitative de la composition, de la structure du paysage intègre toute une série d'indicateur issu de l'écologie du paysage. Ces indicateurs sont calculés à partir du logiciel Fragstats © pour l'évaluation quantitative de la structure à l'échelle de la tâche (patch ou unité), d'une même catégorie de tâche (unité d'occupation) et à l'échelle globale du paysage (Casado, 2007). En définitive, leur principale finalité consiste à recréer des structures paysagères et éventuellement leur dynamique dans le temps ainsi que d'évaluer les fonctions et les processus écologiques qui s'y déroulent (McGarigal, 2002). Un certain nombre de ces indicateurs sont utilisés dans la mesure de la composition du paysage (présence et abondance d'une unité d'occupation ou des types d'unités d'occupations) pendant que autres sont employés pour la mesure de la structure du paysage (distribution et arrangement spatial des tâches) (Botequilha Leitão et Ahern, 2002 ; McGarigal, 2002 ; Venturelli et Galli, 2006).

FragStat est un logiciel conçu pour calculer une grande variété d'indicateurs de paysage pour des modèles de cartes catégoriques. Il calcul plusieurs statistiques (Indicateurs de densité, de diversité, de taille, de variabilité...etc.) qui quantifient la diversité au niveau du paysage. Ces mesures quantifient la composition du paysage à l'échelle du paysage ; ils ne sont pas affectés par la configuration spatiale des tâches (Patch). Les indicateurs de diversité les plus couramment utilisés sont l'indice de diversité de Shannon et l'indice de diversité de Simpson et de Fragmentation **Tableau 1** (Casado, 2007).

3.1.2. Indicateurs de la diversité du paysage

Dans le cadre de cette étude, l'objectif est de caractériser le paysage à l'aide des indicateurs pour apprécier sa diversité dans l'espace et le temps. Le choix a porté sur : Indice de diversité de Shannon (SHDI), l'indice de Simpson (SIDI) et l'indice d'agrégation (AI). Mais avant d'utiliser ces indices, il faut être à mesure de déterminer les différentes unités qui font la diversité de l'espace concerné. Ceci nous conduit à définir les unités d'occupation des sols.

L'indice de diversité de Shannon (SHDI) : est certainement l'indice le plus connu et le plus utilisé par les spécialistes œuvrant dans le domaine (Varela, 2009). L'indice de diversité de Shannon qui s'écrit H' est une mesure de diversité spécifique fréquemment employée, en relation avec les fréquences relatives des différentes espèces présentes dans l'échantillon.

$H' = 0$ quand l'échantillon ne contient qu'une seule espèce (ou une espèce dominante) et l'indice augmente à mesure que s'accroît le nombre d'espèces. Pour un nombre donné d'espèces, il est maximum quand toutes les espèces sont également représentées dans l'échantillon donc plus de diversité. Il est sensible aux variations de l'importance des espèces les plus rares dans une zone.

$$SHDI = - \sum_{i=1}^m (P_i \times \ln P_i) \quad (1)$$

(m) est le nombre de types de patch ou taches (classes) présentes dans le paysage

(i) Types de patch ou taches (classes)

(p_i) est la proportion du paysage occupé par un type (classe) i

(ln) Logarithme népérien

(Σ) est la somme des calculs

L'indice de diversité de Simpson (SIDI) est une autre mesure de diversité, il n'est pas aussi populaire que le précédent et il n'est pas fondé sur la théorie de l'information (Simpson, 1949). L'indice de Simpson est peu sensible à la présence de types rares et à une interprétation qui est beaucoup plus intuitive que l'indice de Shannon. L'indice de Simpson mesure la probabilité que deux individus sélectionnés au hasard appartiennent à la même espèce. Ainsi, plus la valeur est élevée, plus grande est la probabilité qu'une quelconque des deux cellules tirées aléatoirement soient des types de patch différents. La diversité spécifique est la plus élevée quand l'indice de Simpson est le plus faible. Il varie entre 0 et 1 donc la valeur maximale est 1 quand toutes les espèces ont la même fréquence.

$$SIDI = 1 - \sum_{i=1}^m P_i^2 \quad (2)$$

(m) est le nombre de types de patch ou taches (classes) présentes dans le paysage

(i) Types de patch ou taches (classes)

(p_i) est la proportion du paysage occupé par un type (classe) i

(Σ) est la somme des calculs

- L'indice d'agrégation nous renseigne sur l'organisation des éléments dans un modèle. Il met en commun les éléments qui vont ensemble et sépare ceux qui ne sont pas associables (Spaggiari, 2010). L'indice d'agrégation permet de caractériser l'arrangement spatial d'un paysage en pourcentage. Les valeurs nulles de cet indice ($AI = 0$) correspondent à une absence de vie végétale : sol nu, bâti, etc., qui est l'état général des zones entretenues. Les valeurs comprises entre (1 et 95 %) de l'indice d'agrégation concordent à une discontinuité du tissu de la végétation qui se traduit par une végétation dispersée où le sol n'est pas entièrement recouvert de végétation (espaces ouverts, surfaces débroussaillées, etc.) (Figure 10). Les valeurs très fortes de l'indice d'agrégation ($AI > 95\%$) correspondent à une continuité horizontale de la végétation se traduisant par une végétation qui a un taux de recouvrement élevé dans cette situation, le sol est entièrement couverte par la végétation (Lampin-Maillet, 2010).

$$AI = \left[\frac{g_{ii}}{\max g_{ii}} \right] (100) \quad (3)$$

(g_{ii}) c'est le nombre d'adjacences entre les pixels de mêmes types de classes

($\max g_{ii}$) est le nombre maximum d'adjacences entre les pixels de mêmes types de classes

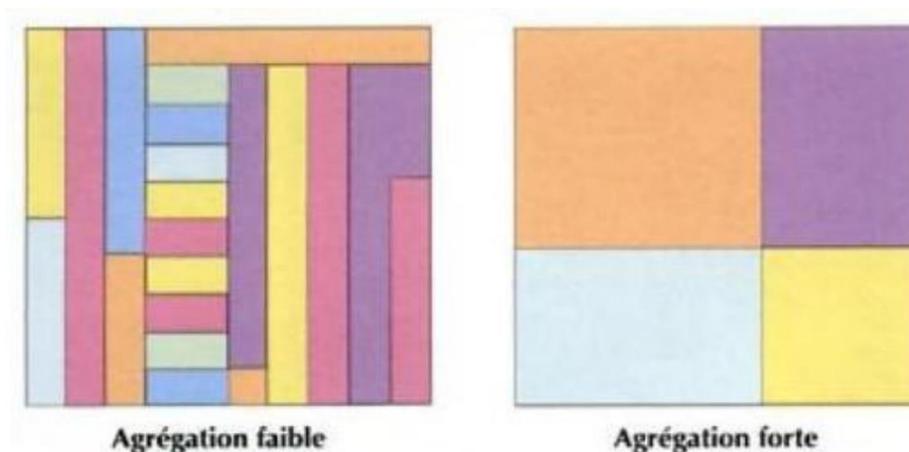


Figure 10 : Indice d'agrégation du paysage .Source : Jappiot, Phillibert-Caillat et al. (2003)

En dehors de ces indices de caractérisation de la diversité paysagère, d'autres indices sont aussi employés pour mesurer la fragmentation, la structure et la composition **Tableau 1**. Ces indicateurs de la diversité paysagère ont été calculés à l'échelle de la région agricole. Pour rappel, la zone cotonnière a été subdivisée en six régions agricoles sur la base des variables structurelles des exploitations agricoles et les similarités géographiques. (Soumaré, 2008).

Tableau 1 : Indices de structure et de composition du paysage

	Indice	Niveau	Unités	Description
Composition du paysage	CA	Classe	Hectares	mesure la surface occupée pour chaque type d'occupation du sol.
	PLAND	Classe	Pourcentage	mesure la proportion du paysage occupé par des types d'occupation du sol. PLAND donne une idée de dominance des types d'occupation.
	LPI	Classe	Pourcentage	mesure la surface de la tache la plus grande pour chaque type d'occupation du sol. LPI indiquent une forte dominance d'une tache unique.
	NP	Classe/Paysage	Nombres	Nombre de taches au niveau des classes et au niveau du paysage.
	SHDI	Paysage	Valeur	SHDI mesure l'hétérogénéité du paysage combinant la richesse et la régularité. Une valeur égale à 0 indique un paysage homogène.
	PR	Paysage	Nombres	PR mesure le nombre de types d'occupation du sol présent dans le paysage. PR augmente en tant le paysage accroisse son hétérogénéité.
	Structure paysage/Fragmentation	PD	Classe	Nombre par 100 hectares
MPS		Classe	Hectares	MPS mesure la surface moyenne des taches conformant une classe. Cette valeur diminue en tant le paysage se présente de plus en plus fragmenté. SD et CV mesurent la variabilité de la taille des taches par rapport à la moyenne. Petites valeurs de variabilité indiquent des paysages uniformes. Ces mesures servent à comparer les variations dans le temps.
SD				
CV				
SHAPE	Classe	Valeur	Valeur moyenne de la forme des taches composant une classe	
Agrégation	ED	Classe Paysage	/ Mètres par hectare	ED mesure la densité des contours des taches conformant des types d'occupation du sol. Hautes valeurs de ED accompagnées par faibles valeurs de surface indiquent une haute fragmentation du paysage en plusieurs petites taches
	AI	Classe Paysage	/ Valeur	AI mesure l'arrangement spatial des taches correspondantes aux types d'occupation du sol. Une valeur AI élevée indique des unités adjacentes et donc des taches agrégés.
	IJI	Classe Paysage	/ Valeur	IJI mesure l'adjacence entre types d'occupation du sol différents. Une valeur IJI égale à 100 indique une classe adjacente avec toutes les autres classes.

CONTAG Paysage

Valeur

CONTAG mesure l'agrégation des taches au niveau du paysage. Hauts indices de contagion conduisent à la colonisation et à la diffusion potentielle des perturbations

Source: CASADO A., 2007

CA (Class area); **PLAND** (Percentage of Landscape); **LPI** (Largest Patch Index); **NP** (Number of Patches); **PR** (Patch Richness); **SHDI**(Shannon Diversity Index); **PD** (Patch Density); **MPS** (Mean Patch Size); **SD** (Standard Deviation);**CV** (Coefficient of Variation); **ED** (Edge Density); **AI** (Aggregation Index); **IJI** (Interspersion/Juxtaposition Index); **CONTAG** (Contagion)

3.2. Le renseignement des indicateurs à partir des images.

3.2.1. Choix et acquisition des images

Pour mener à bien une telle analyse, le choix de la résolution spatiale est très important de même que la résolution temporelle car trouver des images de bonne résolution pouvant couvrir une zone de 165 814 km². Les dates des images devaient être relativement proches pour ne pas fausser les analyses diachroniques. Dans un premier temps nous avons exploré les images Modis mais avec une résolution spatiale de 250 à 500 m (Vintrou 2012 et Vintrou 2012b), il était pratiquement impossible de faire la distinction claire entre les différents types de couverture végétale. Finalement nous avons choisi les images du satellite Landsat OLI (Operational Land Imager), ce choix est motivé parce qu'elles ont une résolution assez bonne 30m pouvant nous permettre de faire la distinction entre les différentes classes d'occupation du sol, une résolution temporelle acceptable (16 jours), une large couverture, la disponibilité des images et surtout gratuites au téléchargement.

Tableau 2 : Caractéristiques de chaque bande OLI

Bande	Bande spectrale	Résolution	Domaine	Utilisation
1	0,435 - 0,451 μm	30 m x 30 m	Coastal/Aerosol	
2	0,452 - 0,512	30 m x 30 m	Blue	Différenciation sol / végétaux, zones côtières
3	0,533 - 0,590 μm	30 m x 30 m	Green	Végétation
4	0,636 - 0,673 μm	30 m x 30 m	Red	Différenciation des espèces végétales
5	0,851 - 0,879 μm	30 m x 30 m	Near-Infrared	Biomasse
6	1,566 - 1,651 μm	30 m x 30 m	SWIR-1	Différenciation neige/nuage
7	2,107 - 2,294 μm	30 m x 30 m	SWIR-2	Lithologie
PAN	0,503 - 0,676 μm	15 m x 15 m	Panchromatic	
Cirrus	1,363 - 1,384 μm	30m x 30 m		

Source: Bouffier 2015

Les images utilisées dans ce travail ont été acquises par téléchargement sur le site internet officiel du glovis. Pour ce faire, il est surtout nécessaire de connaître les références de la zone (longitude/latitude, numéro de scène (Path et Row), nom de la zone, date de prise de vue) selon les besoins (Tableau 3). Ces références ont été acquises grâce à un fichier image contenant certaines scènes des satellites Landsat. La zone cotonnière est couverte par toute ou partie de quatorze (14) scènes et une scène Landsat OLI couvre 185 * 185 km pour les images Landsat (Figure 11 et Tableau 2)

Tableau 3: Scènes téléchargées et traitées

Numéro de Scène	Numéro Path	Numéro Row	Date d'acquisition
LC81970512013314LGN001	197	051	10 Novembre 2013
LC81970522013349LGN001	197	052	15 Décembre 2013
LC81970532013346LGN001	197	053	12 Décembre 2013
LC81980512013273LGN001	198	051	30 Septembre 2013
LC81980522013337LGN001	198	052	03 Décembre 2013
LC81980532013007LGN001	198	053	07 Janvier 2013
LC81990512014315LGN001	199	051	11 Novembre 2014
LC81990522014331LGN001	199	052	27 Novembre 2014
LC81990532013312LGN001	199	053	08 Novembre 2013
LC82000502013319LGN001	200	050	15 Novembre 2013
LC82000512013319LGN001	200	051	15 Novembre 2013
LC82000522013319LGN001	200	052	15 Novembre 2013
LC82010502013342LGN001	201	050	08 Décembre 2013
LC82010512014329LGN001	201	051	25 Novembre 2014

Source : Landsat OLI

Les images satellites (Landsat) sont fournies sous forme de bandes individuelles en format *Geotiff ou tiff*. Ces bandes individuelles doivent être importées puis combinées afin de créer une image multi spectrale (Tableau 2).

Dans le cas d'une image Landsat, il est possible d'importer les bandes une à une, puis les combiner ce qui prend énormément de temps. L'importation et la combinaison des bandes Landsat peuvent aussi se faire en une seule opération. C'est cette méthode qui a été adoptée dans notre étude où cinq bandes ont été combinées, il s'agit de la bande 1, 2, 3, 4, 5.

Une scène Landsat OLI couvre une superficie de 185*185 km pour une résolution au sol de 30 m, et pour des besoins de traitements, les images ont été mosaïquées deux à deux et par date approximative de prise. Le choix de cette méthode s'explique par l'hypothèse que les images prises approximativement à des même périodes proches auront les mêmes types de réflectance du coup elles peuvent être interprétées ensembles. Sur les quatorze scènes téléchargées, neuf ont été acquises entre le 10 Novembre 2013 et 15 Décembre 2013 (Tableau 3).

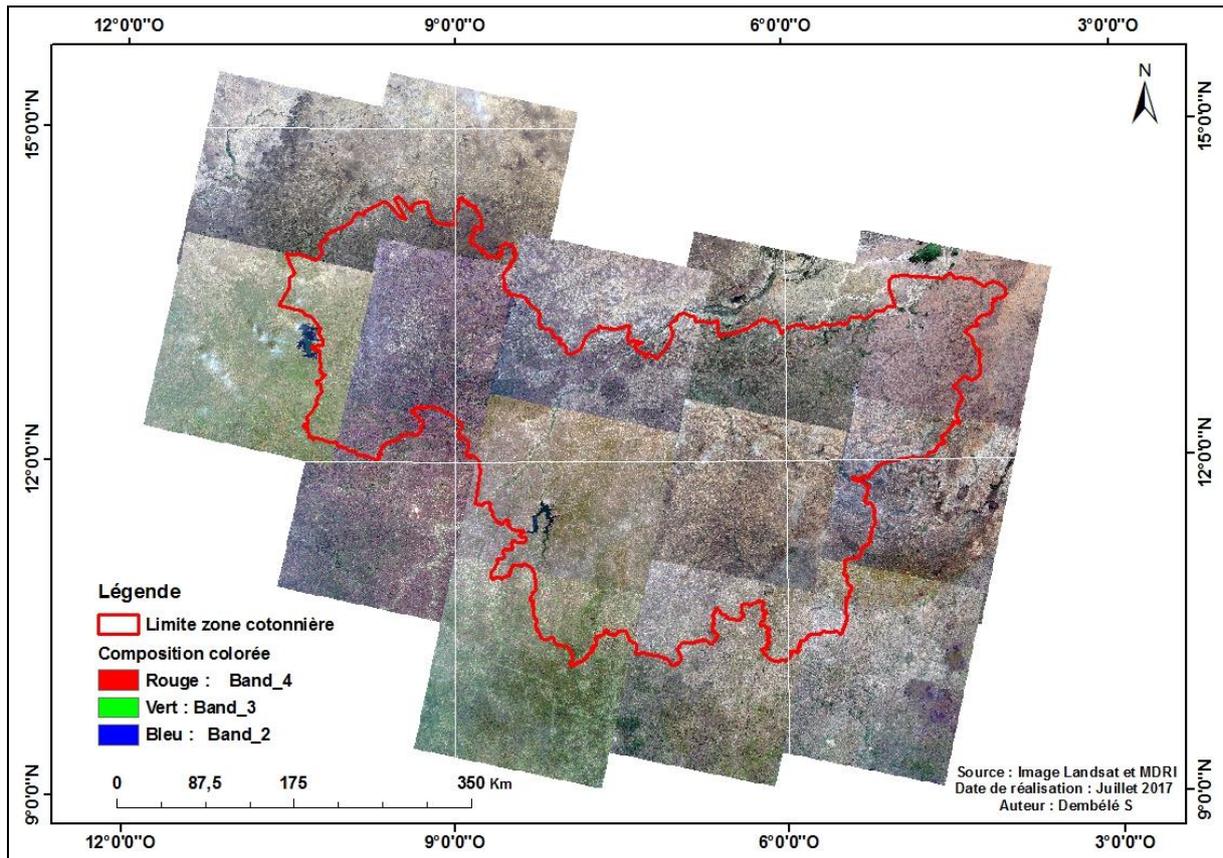


Figure 11 : Carte des scènes traitées

3.2.2. Traitement des images

La démarche méthodologique utilisée pour cette thèse comporte plusieurs étapes qui reposent sur les techniques d'analyse des images satellitaires. Il s'agit notamment de la composition colorée, de la définition de zones d'entraînement, de la classification des pixels et de la validation de la classification.

3.2.2.1. La composition colorée

Pour mieux apprécier l'occupation d'une zone, la composition colorée revêt un grand intérêt visuel. Il est important de noter que pour visualiser les images, les seules dimensions possibles sont le rouge (R), le vert (V) et le bleu (B). Ces couleurs sont appelées couleurs primaires (Becker-Reshef, 2010). Une couleur primaire ne peut être créée par deux autres couleurs. Cependant toutes les autres couleurs peuvent être créées par elle. Généralement pour des thèmes relatifs à l'occupation des sols et à la couverture végétale du sol, la composition colorée est une combinaison de trois bandes notamment, une dans le rouge, une bande dans le vert et une autre dans le bleu. C'est ainsi qu'avec LANDSAT (ETM+), les bandes 1, 2, 3 représentent respectivement le bleu, le vert et le rouge. Dans le cadre de cette étude, tous les

deux (2) types de composition de couleurs ont été utilisées: une composition colorée dite « vraies couleurs » et une autre dite « fausses couleurs ».

Une image est en composition colorée vraies couleurs si les objets vus sur l'image ont la même couleur que dans la réalité.

Exemple : couleur Verte pour la végétation ; couleur bleue pour l'hydrographie, etc. (Figure 12).

Une image est en composition colorée fausses couleurs, si les objets vus sur l'image n'ont pas la même couleur dans la réalité. (Tableau 4)

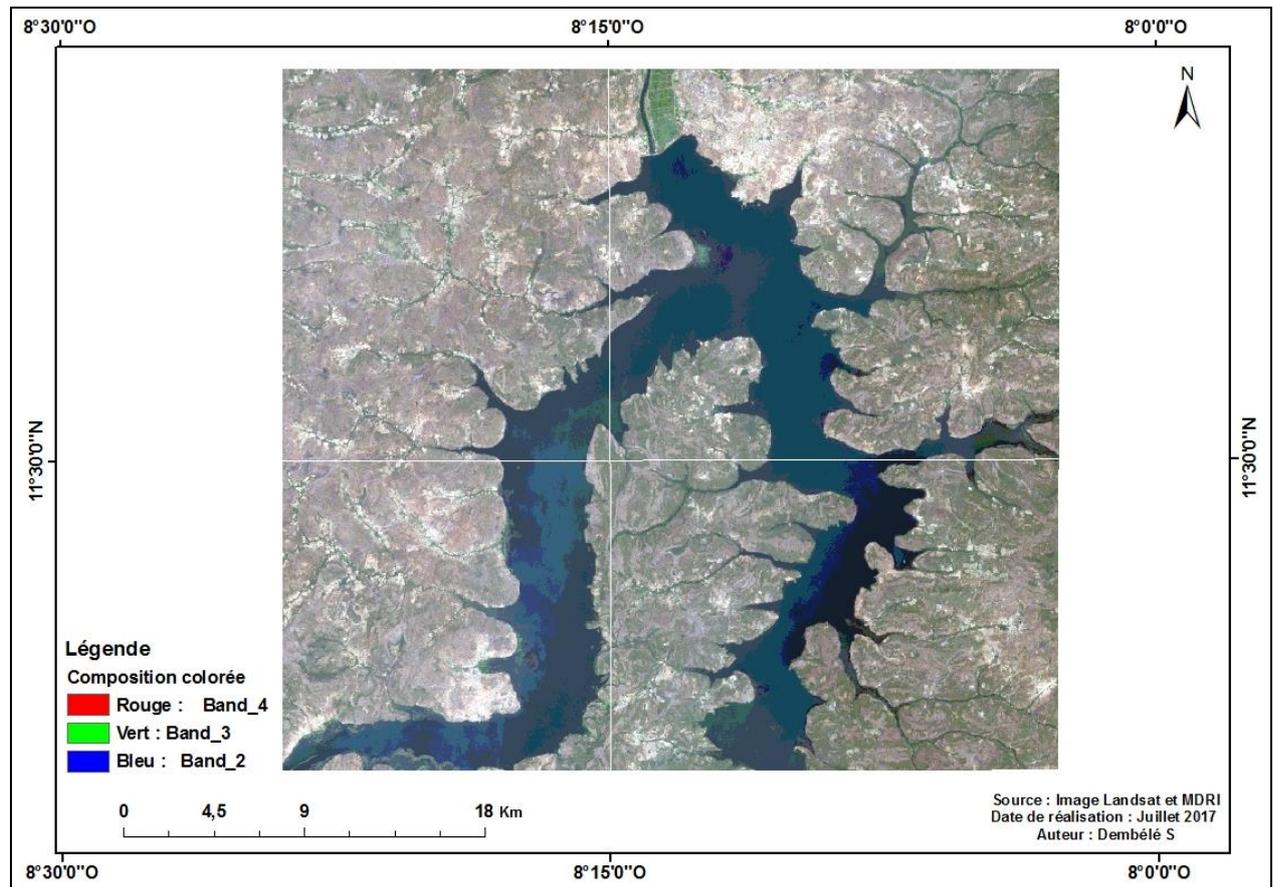


Figure 12 : Composition colorée R(4), V(3), B(2)

Tableau 4 : Composition colorée avec les bandes de Landsat

Vraies couleurs	Exemples de CC Fausses couleurs
Rouge : Bande 4	Rouge : Bande 3, Bande3
Vert : Bande 3	Vert : Bande 2, Bande 4
Bleu : Bande 2	Bleu : Bande 1, Bande 5

Légende: CC = Composition Colorée

Source: University of Maryland Institute for Advanced Computer Studies

3.2.2.2. Définition de zones d'entraînement pour la classification supervisée

Dans cette phase, nous nous sommes servis de la carte du Projet d'Inventaire des Ressources Ligneuses(PIRL) qui est une carte beaucoup plus prise mais qui date des années 1990. Du

coup, les zones de cultures mises en jachères deviennent soit de la savane arborée soit ils redeviennent zones de culture. Il est à noter que le PIRL est une base de données qui fournit une étude cartographique de la formation végétale et de l'occupation agricole des terres dans la partie du territoire national du Mali située au Sud du parallèle 17° 30'. Cette carte nous a permis d'avoir une connaissance sur les différentes unités d'occupation sur notre zone d'intérêt.

Pour appuyer notre raisonnement, nous avons couplé à cette carte PIRL, les cartes de l'ATLAS du projet ILIWAC qui est encore plus récentes. Les informations de ces deux types de cartes cumulées ont permis de faire une classification supervisée.

3.2.2.3. Classification supervisée ou assistée par ordinateur

Les opérations de classification et d'analyse d'image sont utilisées pour identifier et classer numériquement des pixels d'une image. La classification numérique des images use l'information spectrale renfermée dans les valeurs d'une ou de plusieurs bandes spectrales pour classer chaque pixel individuellement (Kadaouré, 2003). Le postulat de base de la télédétection est que tout objet (ou classes d'objets) sur la surface terrestre possède sa propre "empreinte digitale" dans le spectre électromagnétique et ce en fonction de la longueur d'onde du rayonnement qui est réfléchi ou émise par celui-ci. Dans le jargon de la télédétection, on appelle cette empreinte : "signature spectrale".

L'objectif ultime de la classification est de faire la correspondance entre les classes spectrales et les classes d'information. Il est rare qu'une correspondance directe soit possible entre ces deux types de classes. Des classes spectrales bien définies peuvent apparaître parfois sans qu'elles correspondent nécessairement à des classes d'information intéressantes pour l'analyse. D'un autre côté, une classe d'information très large (par exemple la forêt) peut contenir plusieurs sous-classes spectrales avec des variations spectrales définies. (Figure 13)

Dans le cas d'une classification supervisée l'analyste identifie des échantillons assez homogènes de l'image qui sont représentatifs de différents types de surfaces (classes d'information ou thèmes) il s'agit là de la création de fichier de signature spectrale selon Kadaouré, (2003). Ces échantillons sont formés conjointement de données-tests. La sélection de ces données-tests repose sur les connaissances importantes de l'analyste, sa familiarité avec les régions géographiques et les types de surfaces présents dans l'image. Il supervise donc la classification d'un ensemble spécifique de classes. Ces différents éléments sont indispensables dans le choix du type de classification choisie. Autrement dit si l'analyste n'a pas de connaissances spécifiques de la zone d'étude, il doit alors procéder à une seconde catégorie de classification notamment la classification non supervisée ou non dirigée.

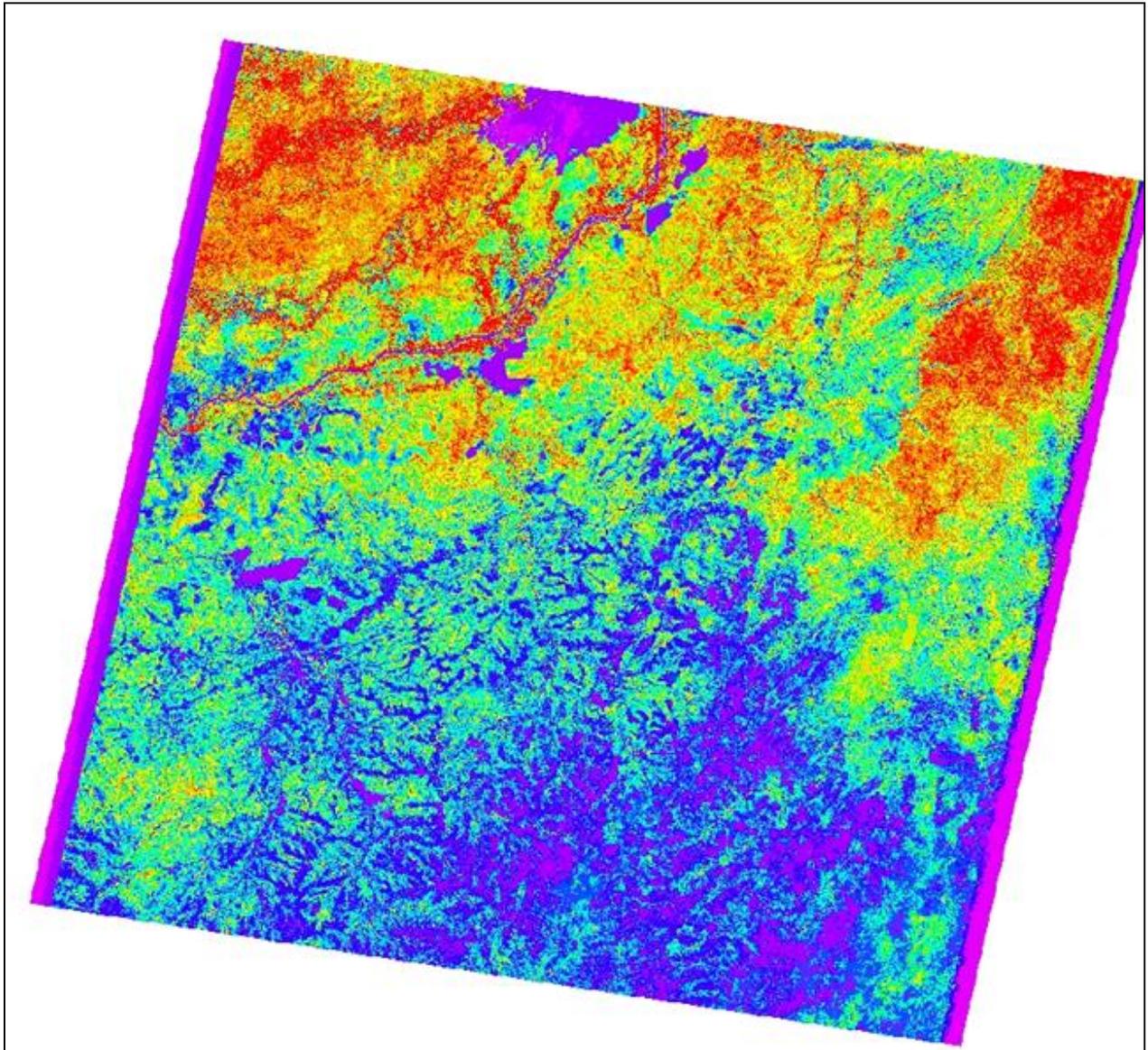


Figure 13 : Image classifiée

3.2.2.4. Evaluation de la précision de la classification

Nous avons évalué de façon analogique la précision de la classification. Plusieurs auteurs (Pontius, 2000 ; Mama et Ouloukoi, 2003 ; Joseph, 2007) confirment que, pour qu'une étude de l'occupation du sol soit validée, il faut que l'indice Kappa soit comprise entre 50% et 70%. Les coefficients de Kappa et les précisions globales obtenus dans les matrices de confusion suite à la classification des images vont de 95,99% pour la précision globale et 0,94 pour le coefficient de Kappa sont consignés dans le (Tableau 5) ci-dessous. Sur un total de 35 806 pixels, 34 371 ont été correctement classés. Ainsi nous pouvons confirmer que les classifications de nos différentes images sont bonnes et donc elles peuvent être validées.

Tableau 5 : précisions globales et indices de kappa

Classe	Total pixel/Pixel classé	Pourcentage de Pixel classé
Zone agricole	2 160 / 2 000	92,59
Cours d'eau	3 184 / 3 083	96,5
Prairie hygrophile	1 593 / 1 575	98,87
Zone d'habitation	2 284 / 2 197	96,19
Savane arbustive	967/914	94,52
Forêt Galerie	1 076 / 968	89,96
Savane arborée	20 096/ 20 096	100
Foret claire	1 288 / 1 259	97,75
Zone rocheuse	1 571 / 1362	86,7
Overall Accuracy (Précision globale)	35 806 / 34 371	95,99
Kappa Coefficient	0,94	

3.2.2.5. Vectorisation et calcul de superficie des unités d'occupation

Pour rendre beaucoup plus maniable et faciliter le reste du traitement, les résultats des classifications ont subis une transformation du mode raster en mode vecteur afin de procéder aux différents calculs de surfaces.

3.2.2.6. Phase de validation de traitement

L'interprétation à l'écran des images satellitaires et photographies aériennes exige une grande capacité de synthèse. Cependant, quel que soit le type de traitement des données de télédétection utilisé, la phase vérité-terrain reste et demeure une étape importante voire indispensable. Celle-ci permet d'abord de développer des clés de détermination qui associent à des caractéristiques du message télédétekté des caractéristiques précises de l'occupation des sols.

Elle permet aussi de vérifier la validité des limites des différentes classes d'occupation des sols issues de la classification ainsi que la précision de celle-ci, notamment par la confrontation des résultats cartographiques à la réalité du terrain. D'une manière générale, la vérité-terrain apparaît comme un complément indispensable à l'analyse des images. Aucune autre source d'information ne peut la remplacer, elle seule nous renseigne sur l'exactitude de nos interprétations, sur les raisons et la mise en place des évolutions analysées ainsi que sur l'extension du phénomène.

Une première phase de validation a été effectuée en confrontant les résultats issus de notre étude avec les données de la cartographie d'occupation du sol du projet ILIWAC, ces cartes mêmes qui nous ont permis d'avoir une certitude sur certaines classes qui nous paraissaient confuses.

Par la suite, une mission de terrain a été dépêchée à cet effet dans six terroirs en Janvier/Février 2015, la prise en charge de cette mission a été assurée par le « *Projet d'Appui à l'Amélioration de la Gouvernance de la filière coton dans sa nouvelle configuration institutionnelle, à la productivité et à la durabilité des Systèmes d'Exploitation en zone cotonnière* » (PASE II). Cette phase a consisté à afficher l'image du terroir dans l'écran d'ordinateur à l'aide du logiciel Global Mapper, puis connecter ce dernier au GPS. Automatiquement le GPS donne notre position exacte dans l'image. Les différentes classes d'occupation du sol sont digitalisées au fur et à mesure que le véhicule avançait. S'il y'a une classe qui nous paraissait confuse dans l'image et qui n'est pas accessible en véhicule on se déplaçait à pied pour vérifier. Ensuite nous avons procédé à l'indentification et à la description des différentes unités paysages à l'aide de dix (10) points de contrôle ou plus selon les villages pris dans l'image de chaque village (description des points d'observation en Annexe 6). Une fois au bureau, nous avons confronté les données recueillies sur le terrain avec l'analyse faite des images pour valider nos traitements. Il y'avait des confusions sur sept points de contrôles comme atteste (Tableau 6) où les zones de savanes arborées deviennent des zones de culture ou vis sersa. Ces corrections ont été apportées à nos images avant la validation.

Tableau 6 : Confusion des classes

Classe	Longitude	Latitude	Type de sol	Unités de paysages	Toposéquence	Occupation
Savane arborée	-5,973909	10,503219	Gravillonnaire	Zone de Culture (Culture sèche)	versant à pente faible	coton
Savane arborée	-6,005575	10,443781	Gravillonnaire	Zone de Culture	Versant à pente faible	Sorgho
Savane arborée	-5,984811	10,513731	Sableux	Savane Boisée	Plaine (Basfond)	Végétation
Zone de Culture	-5,882634	11,65693	Limoneux	Limoneux	Glacis	jachère récente
Savane arborée	-5,973909	10,503219	Gravillonnaire	Zone de culture	versant à pente faible	coton
Savane arborée	-5,863038	12,814327	Limono-sableux	Zone de culture	Basfond	Calebasse
Savane arborée	-9,867259	12,907241	Sablo-limoneux	Jachère récente	Plateau	Végétation
Savane Arbustive	-5,864198	12,784068	Gravillonnaire	Savane arborée	Glacis	Végétation

Les données d'occupation du sol ont subi quelques transformations de mode pour qu'elles soient utilisables par le logiciel FragStat. Le format de fichier de ce logiciel est ASCII (texte) donc le fichier d'occupation du sol a été rasterisé puis passer du mode raster au format ASCII.

4. Synthèse de chapitre III

Pour analyser la diversité et la dynamique paysagère dans la zone cotonnière du Mali-Sud à l'aide des indicateurs paysagers, la méthode a consisté dans un premier temps à télécharger les images satellites Landsat (OLI). Au total, quatorze (14) scènes Landsat ont été téléchargées. Par la suite, des traitements ont été effectués sur ces images dont les plus importants sont : le mosaïquage, composition colorée, la classification supervisée et la vectorisation et calcul de superficie des unités d'occupation.

Les données d'occupation du sol qui ont résulté de ces traitements et de ces analyses ont subi quelques transformations de mode : du vecteur au raster, puis de ce dernier au format ASCII ou format texte pour le calcul des indicateurs paysagers à l'aide du logiciel FragStat. Trois groupes d'indicateurs ont ainsi été calculés. Il s'agit de l'indice de diversité de Shannon, de l'indice de Simpson et l'indice d'Agrégation.

A l'issue de la mise en œuvre de ces diverses méthodologies mentionnées ci-dessus, les résultats ci-dessous (Chapitre 4) sur la diversité des unités de paysages ont été obtenus. Ce chapitre débute avec une description des différentes unités présentes dans la zone cotonnière et par la suite une analyse plus détaillée des différentes unités d'occupations par petites régions agricoles.

CHAPITRE IV : LA DIVERSITE DES UNITES D'OCCUPATION DES SOLS

Les classes ou catégories d'occupation des sols se réfèrent à l'unité dominante dans un polygone délimité. L'analyse des images nous a permis d'identifier onze (11) unités d'occupation du sol. Il s'agit d'une classe de culture et jachères récentes, d'agriculture inondée, cours d'eau (permanent ou temporaire), forêt claire, forêt galerie, zone rocheuse, prairie hygrophyle, trois classes de savanes (arborée, boisée et arbustive) et la zone d'habitation. Les jachères anciennes ont tendance à se mettre dans une des trois classes de savane.

4.1. Les unités d'occupation des sols

La description des unités d'occupation du sol est inspirée de celle du projet ILWAC (Projet de Gestion Intégrée de la Terre et de l'Eau pour l'Adaptation à la Variabilité et au Changement Climatique) dans son atlas de la cartographie du Mali.

4.1.1. Forêt galerie

La galerie est une végétation à couvert fermé, de stature moyenne, constituée de plusieurs couches, qui forment un couloir de verdure accompagnant les cours d'eau permanents et temporaires ou les dépressions de terrain en zone de savane. Elle forme une bordure serrée, avec une largeur de 30 à 180 m à couvert transversalement non interrompu et à arc nettement supérieur à celui des peuplements avoisinants (Figure 14). La hauteur dominante est souvent supérieure à 17m (Normes Techniques d'Inventaire forestier, Direction Nationale des Eaux et Forêts-Mali) (OSS, 2013). On retrouve ce type de végétation généralement dans les zones guinéennes et pré-guinéenne, les zones soudaniennes et accessoirement en zones sahéliennes.



Figure 14 : Galerie forestière à Ziguéna (à côté de Sikasso)

Source : Cliché terrain, Dembélé S, janvier 2015

4.1.2. Forêt claire

La forêt claire est une végétation ligneuse de dimension moyenne à couvert ouvert et clair. Elle laisse passer largement la lumière. La majorité des espèces présentes ont un feuillage caduc. Cette formation végétale est généralement peu dense. Les herbes sous les arbres sont généralement discontinues et très largement entrouvertes. Pour les domaines non délabrés, la hauteur dominante dépasse très souvent 12 m (source Normes Techniques d'Inventaire Forestier, DNEF-Mali). (**Figure 15**).



Figure 15 : Photo de la forêt claire dans le village de Nafégué (cercle de Kadiolo)

Source : Cliché terrain, Dembélé S, janvier 2015

4.1.3. Savane arborée

Dans la savane arborée, les arbres et arbustes sont éparpillés parmi le tapis graminéen, ils sont moyennement nombreux et atteignent très souvent les 6 à 8 m de hauteur, rarement plus. La hauteur des arbres les plus dominants est 7m (Figure 16).



Figure 16 : Photo de la savane arborée sur cuirasse à Nafégué (cercle de Kadiolo)

Source : Cliché terrain, Dembélé S, janvier 2015

4.1.4. Savane boisée

Dans cette formation végétale, les arbres ainsi que les arbustes constituent un couvert généralement clair qui facilite la pénétration de la lumière (ILWAC, 2011) (Figure 17). La hauteur des arbres est comprise entre de 8 à 13m, rare sont les arbres qui dépassent 13m. A la différence de la savane arborée, les arbres sont beaucoup plus nombreux. La hauteur moyenne des arbres dominants dépasse 7m.



Figure 17 : Savane boisée dans le village de Nafégué (cercle de Kadiolo)

Source : Cliché terrain, Dembélé S, janvier 2015

4.1.5. Savane arbustive

La savane arbustive est une formation végétale constituée dans la plupart par des arbustes dispersés dans le tapis graminéen en continu (Figure 18). Dans cette formation, le volume est inférieur à 20 m³ et la hauteur dominante inférieure à 3m (OSS, 2013).



Figure 18 : Photo de la savane arbustive à Benguéne (cercle de Bla)

Source : Cliché terrain, Dembélé S, janvier 2015

4.1.6. Prairie hygrophile

Les prairies hygrophiles forment un biome (ensemble écologique présentant une très grande homogénéité sur une grande surface) de formation herbeuse humide des plaines, des dépression bordant les cours d'eau (OSS, 2013).

4.1.7. Culture et jachères récentes

Dans cette zone, les cultures (mil, sorgho, maïs, arachide, Niébé, fonio, wouandzou, etc.) sont exclusivement liées aux pluies la Figure 19 est celle d'une photo d'un champ de coton après la récolte. Ce sont des domaines de production agricole dans lesquels on y trouve des arbres utiles et de jachère de courte durée.



Figure 19 : Photo du champ de coton après la récolte à Ziguéna (cercle de Sikasso)

Source : Cliché terrain, Dembélé S, janvier 2015

4.1.8. Agriculture inondée

Le domaine de l'agriculture inondée coïncide à ceux des cultures irriguées du riz. Dans ce domaine la submersion peut être contrôlée ou non. Sur la figure Figure 20 on voit une zone de culture irriguée à submersion non contrôlée.



Figure 20 : Photo de la zone de culture irriguée à Ziguéna (cercle de Sikasso)

Source : Cliché terrain, Dembélé S, janvier 2015

4.1.9. Cours d'eau

Dans la zone cotonnière du Mali, les cours d'eau sont permanents ou temporaires parmi lesquels nous avons sur la Figure 21 un cours d'eau permanent qui passe dans le village de Ziguéna cercle de Sikasso.



Figure 21 : Cours d'eau permanent à Ziguéna (cercle de Sikasso)

Source : Cliché terrain, Dembélé S, janvier 2015

4.1.10. Zone rocheuse

Cette unité correspond exclusivement aux affleurements rocheux. C'est une zone où la roche du sous-sol est visible. Le plus souvent, ces roches sont couvertes par une végétation résiduelle.

4.2. La distribution des unités d'occupation des sols

A titre de rappel, la zone cotonnière a été découpée en six régions agricoles. Ces régions sont : la zone Nord soudano-sahélienne, le vieux bassin cotonnier, la zone hétérogène en équilibre, la zone d'extension du Sud, la zone de haute vallée du Niger et la nouvelle zone cotonnière (Chapitre 2). Les résultats présentés ci-dessous donnent l'état des lieux de l'occupation du sol par les différentes unités.

4.2.1. Synthèse de la diversité paysagère

Eu égard à l'hétérogénéité et à la diversité des paysages dans les différentes petites régions agricoles, nous nous sommes intéressés à la combinaison de l'ensemble de ces petites régions pour faire une carte de synthèse. Ainsi, à l'instar de la démarche adoptée précédemment à l'échelle des régions agricoles de la zone cotonnière, nous avons basé nos analyses sur les types d'unité de paysages. Le **Tableau 7** présente les statistiques notamment la superficie et le pourcentage de chaque unité de paysage.

Tableau 7 : Synthèse de la diversité paysagère

Classe d'occupation du sol	Superficie en Km2	Pourcentage
Culture et jachères récentes	28 969,7	17,14
Agriculture inondée	240,5	0,14
Eau	752,2	0,45
Forêt claire	1 041,3	0,62
Galerie	6 016,7	3,56
Prairie hygrophyle	822,9	0,49
Roche	425,6	0,25
Savane boisée	25 335,4	14,99
Savane arbustive	543,0	0,32
Savane Arborée	104 014,8	61,54
Zone d'habitation	860,2	0,51
Total	169 022,4	100

De l'analyse du Tableau 7 ci-dessus et de la Figure 22, il ressort que les formations végétales telles que les forêts galeries, les prairies hygrophyle, les forêts claires et les zones de savanes (arborées, boisées et arbustives) semblent se distinguer nettement des autres types de formations. La superficie occupée par ces formations végétales s'élève à 137 774 km² soit plus de 80% de la superficie totale. Ces résultats démontrent que la zone cotonnière du Mali-Sud a encore une réserve importante de formation végétale.

Malgré que l'agriculture soit la principale activité de cette zone, seulement 17,14 % de la surface est dédiée aux cultures et jachères récentes ainsi qu'à l'agriculture inondée. Contrairement aux pensées alarmistes qui prévoient une destruction importante des ressources végétales au profit de l'agriculture. Ils révèlent une faible dotation de cette zone en eau de surface. Cette ressource en eau de surface qui devient de plus en plus rare et quasi inexistante par endroit avec seulement 0,45% de la surface totale soit un peu plus de 750 km². Cette situation n'est pas surprenante car l'essentiel des ressources en eau du Mali provient des pluies qui apportent en moyenne chaque année 415 milliards de m³ d'eau alors que les deux fleuves qui constituent l'essentiel des ressources en eau de surface pérennes ont un potentiel d'écoulement annuel respectif de 46 milliards de m³ à Koulikoro pour le Niger et 14,5 milliards de m³ à Kayes pour le Sénégal selon le Rapport du Gouvernement du Mali, (Mai 2008).

En plus de ces différentes unités d'occupation du sol mentionnées ci-dessus, on note la présence des surfaces rocheuses dans une proportion moins importante que les autres unités. En effet seul 0,25 % de la superficie totale porte cette unité. Elle est surtout visible au niveau de la partie extrême Nord-Est de la zone soudano-sahélienne.

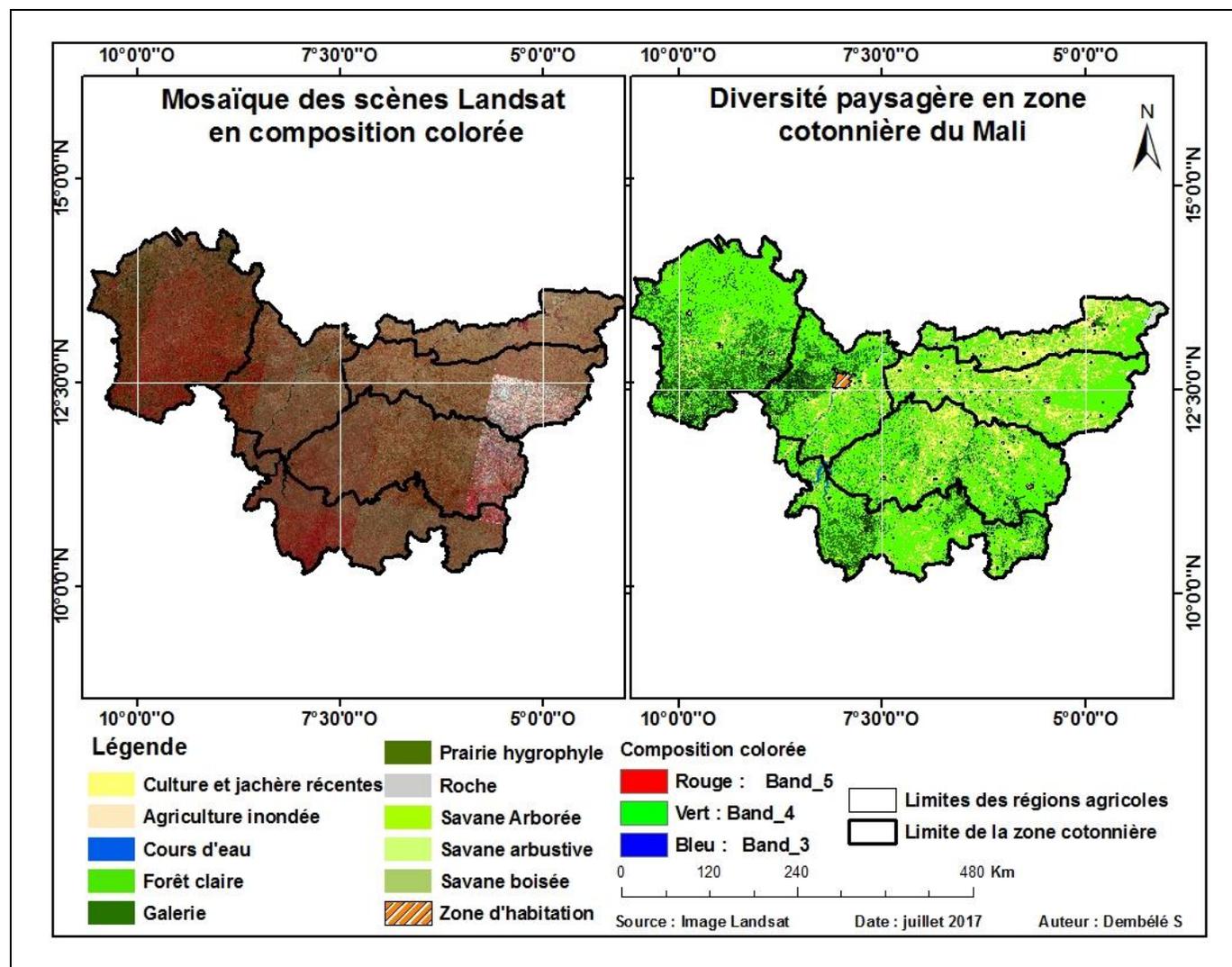


Figure 22 : Mosaïque des scènes Landsat en composition colorée et diversité paysagère

4.2.2. Dans la zone nord soudano-sahélienne

La zone nord soudano-sahélienne est située au Nord de la zone cotonnière du Mali. Elle est centrée sur les cercles de San, de Tominian, de Bla et la partie Nord de celui de Baraoueli, et couvre une superficie de 15 418 km² (Tableau 8). Elle est caractérisée par une forte occupation de la formation savanicole et une pression agricole relativement très élevée. Dans les formations végétales notamment la savane arborée occupe environ 51% de la zone soit une superficie de 7 810 Km². L'emprise de la zone de cultures couvre une superficie de 5 938 Km² ce qui correspond à 38,52% de la zone d'étude. Cette superficie regroupe la zone de culture sèche, de la jachère et de la culture inondée. La présence de la savane arbustive est également constatée s'étendant sur un espace de 492 Km² correspondant environ 3% de la zone. On remarque une faible représentation de milieux forestiers seule la forêt galerie existe avec seulement 28 Km² soit 0,18%. Les milieux rocheux n'occupent que 426 Km², ce qui correspond à 2,69% de la surface totale. Quant à l'espace d'habitation elle est aussi restreinte car elle ne s'étend que sur 60 km² soit seulement 0,38%. Dans la zone soudano-sahélienne les cours d'eau couvrent 56 Km² ce qui représente moins de 1% de la superficie totale de la zone soudano-sahélienne Figure 23.

Tableau 8 : Zone Nord Soudano-sahélienne

Classe d'occupation	Superficie km²	Pourcentage
Culture et jachère récente	5 724	37,13
Agriculture Inondée	214	1,39
Cours d'eau	56	0,36
Forêt galerie	28	0,18
Prairie hygrophyle	500	3,24
Zone rocheuse	426	2,76
Savane boisée	108	0,70
Savane arbustive	492	3,19
Savane arborée	7 810	50,66
Zone d'habitation	60	0,39
Totaux	15 418	100,00

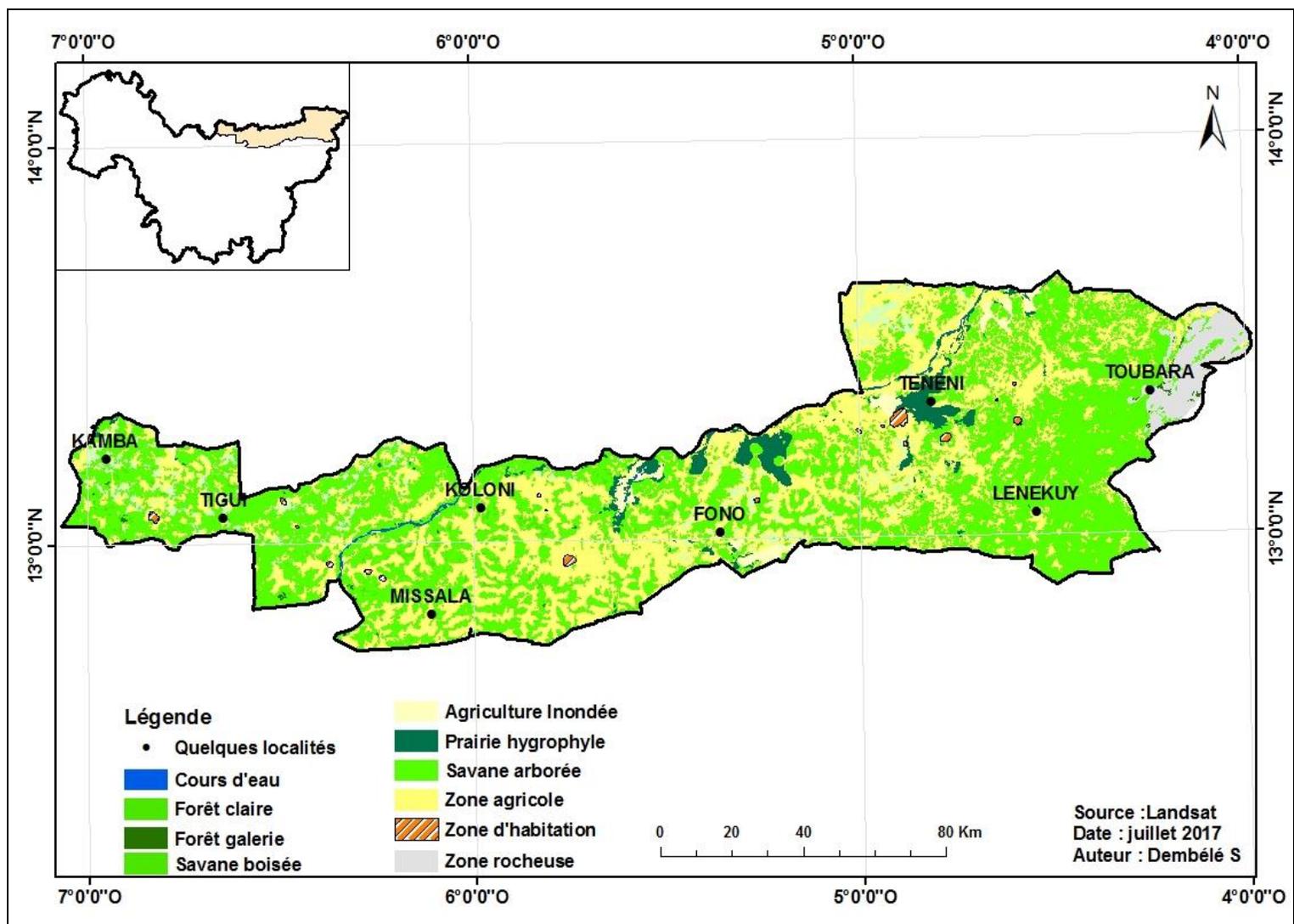


Figure 23 : Carte des unités d'occupation du sol de la zone soudano sahélienne

4.2.3. Dans le vieux bassin cotonnier

Le vieux bassin cotonnier comme son nom l'indique cette zone est l'une des premières à introduire le système de culture pluviale de coton depuis le temps colonial et ce qui a fait la gloire de cette zone. Elle s'étend sur une superficie de 28 150 km² couvrant la totalité des cercles de Koutiala et de Yorosso, la partie Sud des cercles de Baraoueli, de Bla, de San et de Tominian et toute la partie Nord du cercle de Dioila (**Figure 24**).

La problématique majeure que cette zone doit faire face porte sur la capacité d'adaptation des exploitations selon le niveau de saturation foncière des terroirs et donc de disponibilité foncière avec deux situations distinctes de saturation du foncier. Dans la première situation, l'ensemble des terres cultivables sont cultivées par conséquent il n'y a quasiment plus de jachère et pour la seconde situation, les terroirs ne sont pas encore saturés.

Au regard de la statistique d'occupation du sol un déséquilibre importante est remarqué. Les activités anthropiques sont pressantes à travers l'étendu de la zone agricole. Elle couvre une surface de 8 874 Km² soit 31,48% de la superficie du vieux bassin cotonnier (Tableau 9). Les formations naturelles sont encore là en proportion importantes. La savane arborée est la plus importante en termes de superficie, qui s'estime à 18 188 Km² soit 64,61% de la surface totale de la zone. On constate également la présence de la savane boisée et de la savane arbustive avec un faible taux de couverture avec respectivement 2,38 et 0,17% correspondant à 711 Km². La forêt galerie, la prairie hygrophile sont considérables elles couvrent respectivement 134 Km² et 74 Km². La superficie occupée par le cours d'eau est de à 51 Km² avec une proportion de 0,45% de la superficie totale du vieux bassin cotonnier. L'espace d'habitation représente une faible couverture à peine 0,39% de la zone. Cette situation met en exergue l'état de dégradation et la pression exercée sur les ressources naturelles. Celles-ci sont dues à l'expansion du système agraire à base de coton entraînant ainsi une extension rapide de la superficie agricole dans la zone (Figure 24).

Tableau 9 : Vieux bassin cotonnier

Classe d'occupation	Superficie Km²	Pourcentage
Culture et jachère récente	8 862	31,48
Agriculture inondée	12	0,04
Cours d'eau	51	0,18
Forêt claire	6	0,02
Forêt galerie	134	0,48
Prairie hygrophyle	74	0,26
Savane boisée	665	2,36
Savane arbustive	49	0,17
Savane Arborée	18 188	64,61
Zone d'habitation	111	0,39
Totaux	28 150	100,00

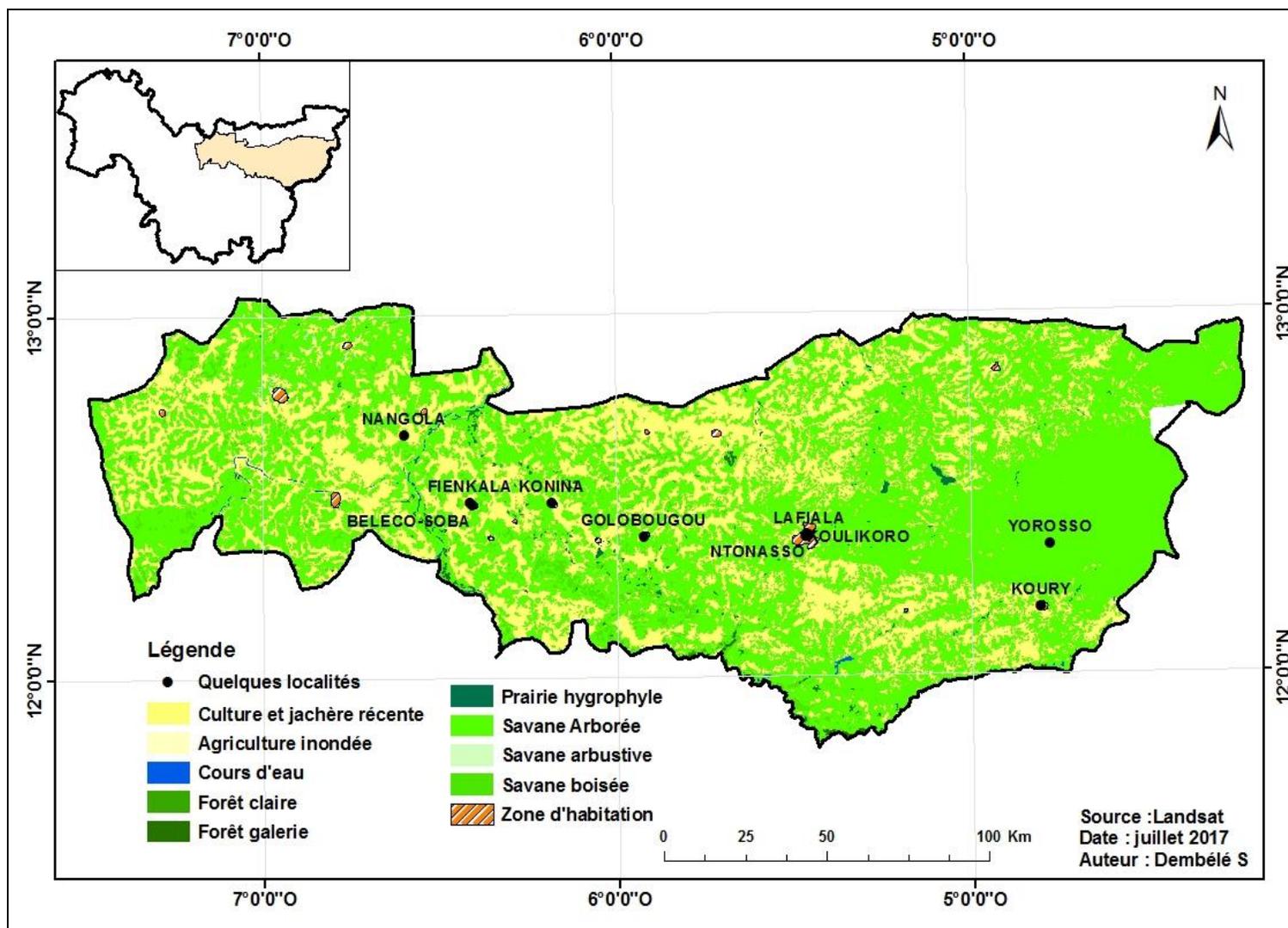


Figure 24 : Carte des unités d'occupation du vieux bassin cotonnier

4.2.4. Dans la zone hétérogène en équilibre

La zone hétérogène en équilibre s'étend sur une superficie de 34 446 kilomètres carrés. Elle occupe la partie centrale de la zone cotonnière et couvre la totalité du cercle de Sikasso, toute la partie Nord et du centre de Bougouni soit 60 à 70% de la surface totale de ce cercle et la partie Sud du cercle de Dioila (Figure 25).

Le Tableau 10 montre les statistiques d'occupation du sol. Ainsi le couvert végétal a une superficie de 27 111 Km² soit 78,71% de l'ensemble de la zone. Ce taux de recouvrement végétal est l'illustration d'une zone peu stable. Les milieux forestiers s'amenuisent. Dans ces milieux, la forêt galerie occupe seulement une surface de 730 Km² soit 2,12% et la forêt claire quand elle couvre seulement 132 Km² soit 0,32%. La savane arborée est la plus importante. Elle occupe un espace de 22 105 Km² soit une proportion de 64,17%. On constate quelques reliques de la prairie hygrophile dans les formations végétales dont leur étendu est de 3 Km². La superficie occupée par la zone agricole est aussi représentative avec environ 21% de la superficie totale de la zone. La superficie occupée par les cours d'eau est de 112 Km². Le taux de couverture de l'espace habitation atteint à peine 0,28% soit surface de 95 Km².

Tableau 10 : Zone hétérogène en équilibre

Classe d'occupation	Superficie km ²	Pourcentage
Culture et jachère récente	7 128	20,69
Cours d'eau	112	0,32
Forêt claire	132	0,38
Forêt galerie	730	2,12
Prairie hygrophyle	3	0,01
Savane Boisée	4 141	12,02
Savane arborée	22 105	64,17
Zone d'habitation	95	0,28
Totaux	34 446	100,00

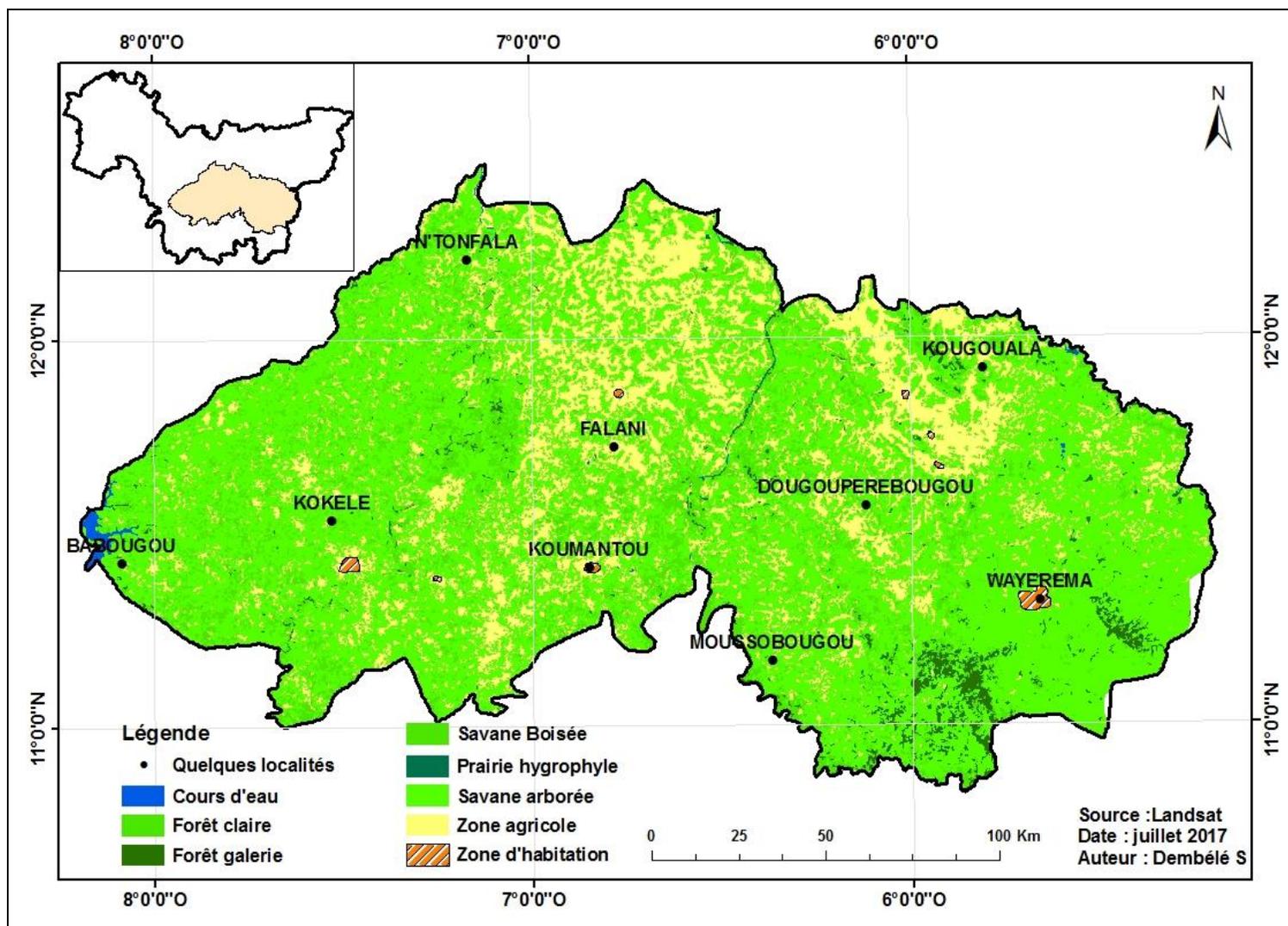


Figure 25 : Carte des unités d'occupation de la zone hétérogène en équilibre

4.2.5. Dans la zone d'extension du Sud

La zone d'extension du Sud occupée une superficie d'environ 28 125 km². Elle couvre la totalité des cercles de Kadiolo et de Yanfolila, la quasi-totalité de celui de Kolondiéba, la partie Sud du cercle de Bougouni et la Sud-Ouest du cercle de Kangaba (**Figure 26**). La zone d'extension du sud est caractérisée par la prédominance des formations naturelles. Surtout la savane arborée qui est très abondante et elle occupe plus de 60% de la zone correspondant à 17 104 Km². Suivi par la savane arborée avec 19,49 %. Les formations forestières comme la forêt galerie et la forêt claire dont leur étendu atteint respectivement 1 319 Km² (4,69%) et 821 Km² (2,92%). La superficie occupée par la prairie hygrophile s'élève à 183 Km² soit seulement 0,65%. L'emprise de la zone agricole est environ 10% de la superficie totale et s'étende sur une superficie de 2 863 Km². On note la présence des cours d'eau avec un taux de couverture de 1,06%. Les activités agricoles sont plus ou moins importantes dans cette zone. L'espace occupée par l'habitation est pratiquement faible à peine 39 Km² soit 0,14% (**Tableau 11**).

Tableau 11 : Zone d'extension du sud

Classe d'occupation	Superficie	Pourcentage
Culture et jachère récente	2 863	10,18
Cours d'eau	297	1,06
Forêt claire	821	2,92
Forêt galerie	1 319	4,69
Cours d'eau	17	0,06
Prairie hygrophyle	183	0,65
Savane Boisée	5 481	19,49
Savane arborée	17 104	60,81
Zone d'habitation	39	0,14
	28 125	100,00

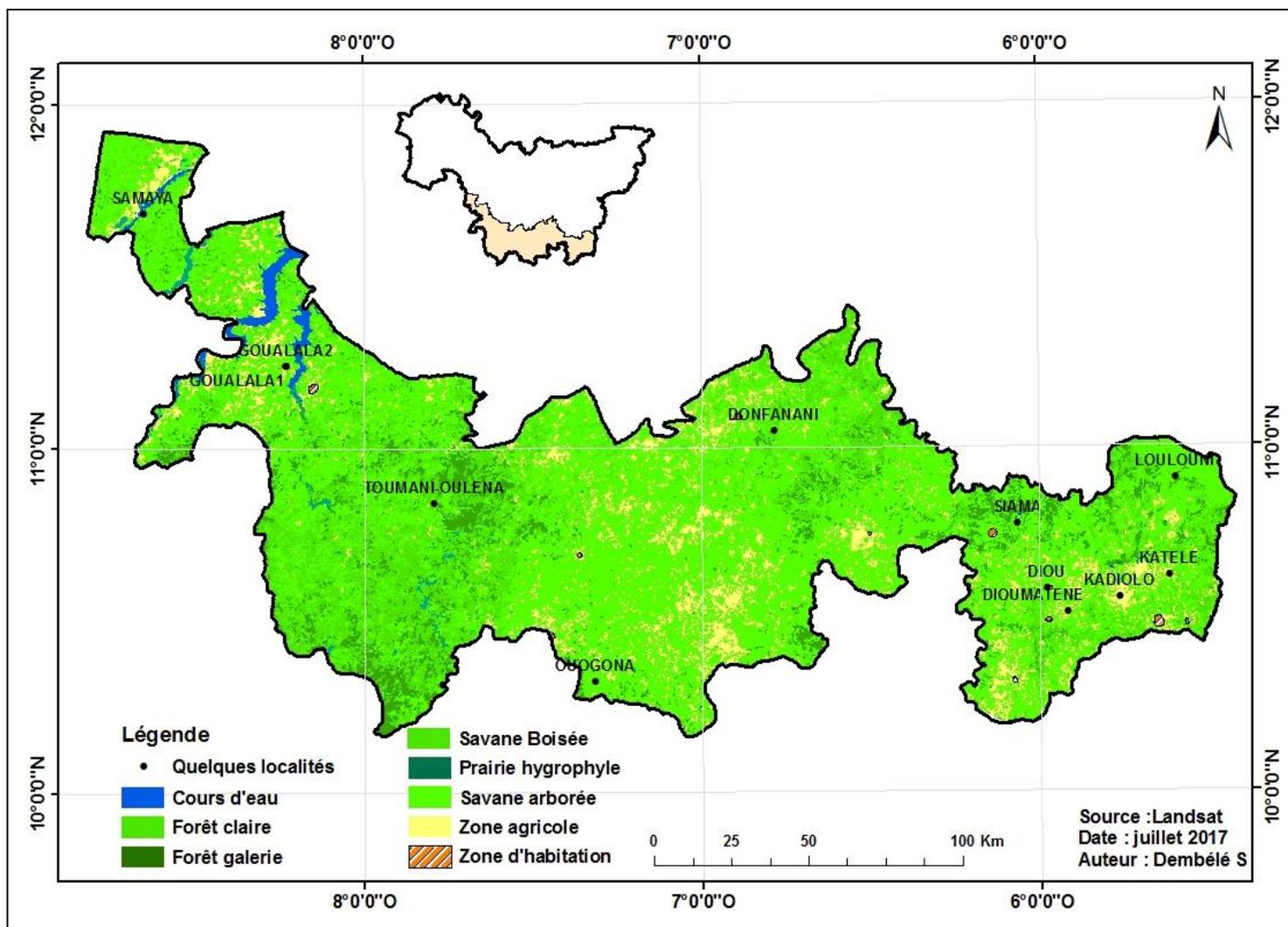


Figure 26 : Carte des unités d'occupation de la zone d'extension du Sud

4.2.6. Dans la zone de l'office de Haute vallée du Niger (OHVN)

La surface couverte par l'office de haute vallée du Niger s'élève à 23 261 Km². Elle couvre tout le cercle de Kati, les trois quart du cercle de Kangaba et la partie Sud-Ouest de celui de Koulikoro (**Figure 27**). Dans cette région agricole, les formations savaniques et agricoles y dominant. La savane arborée occupe la grande partie. Elle représente proportionnellement un peu moins de 60% de la superficie totale soit 13 780 Km². La superficie occupée par la zone agricole est 2 451 Km² correspondant à 10,54%. Cette proportion regroupe les zones de culture sèche, de culture inondée ainsi de la jachère récente. Les milieux forestiers paraissent considérables parmi les formations végétales représentant un taux de couverture de 4,65%. La superficie occupée par la forêt galerie s'étend sur 1 082 Km² et celle occupée par la forêt claire est seulement 9 Km² soit 0,04%. La prairie hygrophile recouvre quant à elle 64 Km² ce qui correspond 0,27% de la zone d'étude. Les cours d'eau sont moins représentatifs avec moins d'un pourcent. Il s'élève à 204 Km² soit 0,88%. Comparativement aux autres régions agricoles de la zone cotonnière du Mali, la superficie occupée par la zone d'habitation est considérable et couvre 465 Km² soit 2% de la superficie totale zone (**Tableau 12**). Cette situation particulière est surtout liée à la présence de la ville de Bamako la capitale du Mali qui est plus grande ville du pays.

Tableau 12 : Zone de l'office de Haute vallée du Niger (OHVN)

Classe d'occupation	Superficie Km²	Pourcentage
Culture et jachère récente	2 436	10,47
Agriculture inondée	15	0,06
Cours d'eau	204	0,88
Forêt claire	9	0,04
Forêt galerie	1 082	4,65
Cours d'eau	35	0,15
Prairie hygrophyle	64	0,27
Savane boisée	5 172	22,23
Savane arborée	13 780	59,24
Zone d'habitation	465	2,00
Totaux	23 261	100,00

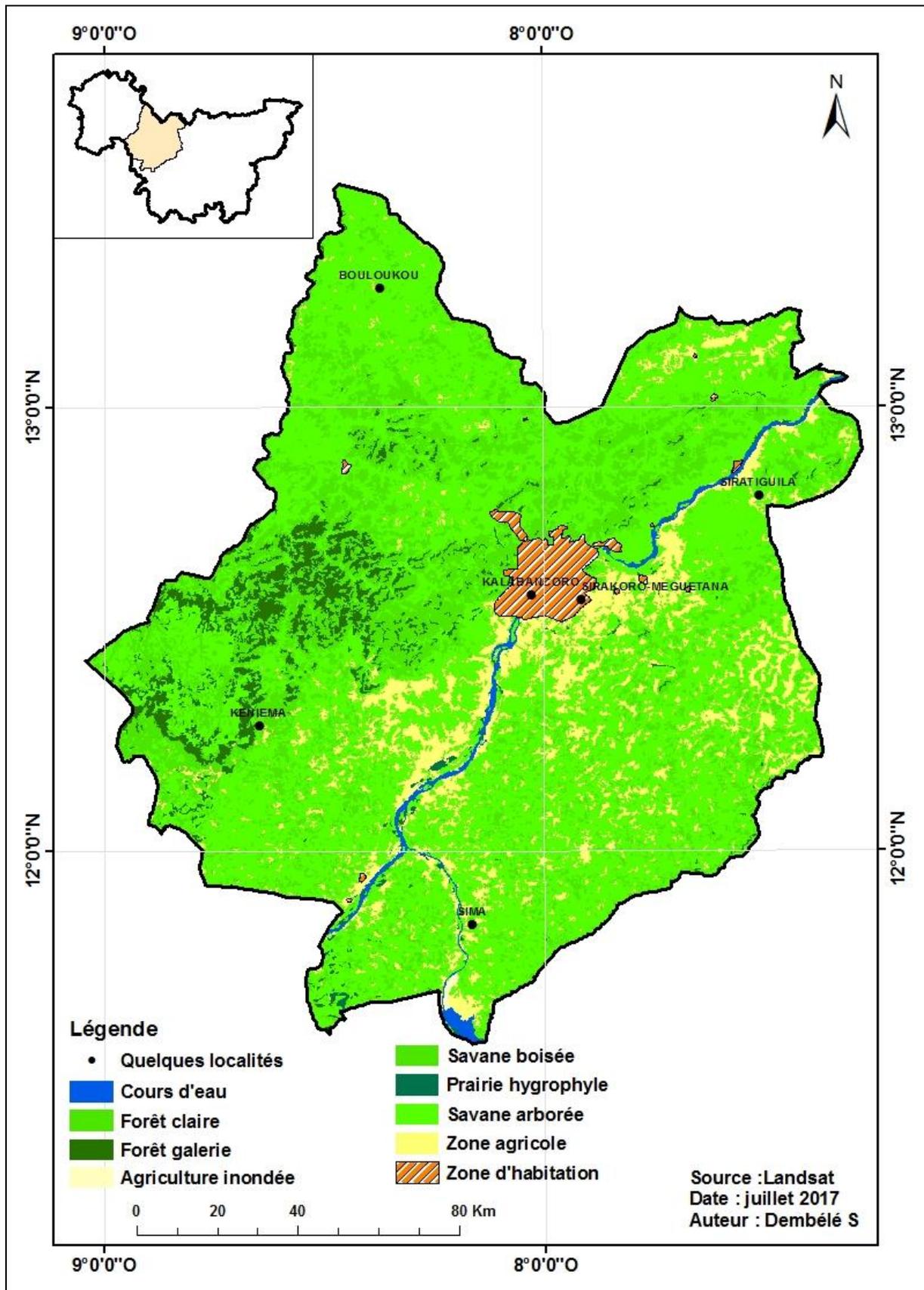


Figure 27 : Carte des unités d'occupation de la zone OHVN

4.2.7. Dans la zone nouvelle zone cotonnière

Sur une superficie de 39 683 kilomètres carrés, cette entité est localisée dans le Cercle de Kita. Elle est dominée par une végétation savane arborée avec un pourcentage de 63,09. L'espace cultivé ou récemment mis en jachère sont minime comparé à l'espace non cultivé avec 1 957 km²/39 683 km². En effet, dans cette région agricole, on constate la prédominance de la formation de savanes notamment la savane arborée et la savane boisée. Sur une superficie de 39 683 Km², ces deux formations savaniques s'étendent sur environ 88% de la zone soit respectivement 63,09% et 24,62%. La formation forestière est plus ou moins importante soit 7,04% de la nouvelle zone. Dans laquelle la présence de la forêt galerie est considérable. Elle s'étale sur une superficie de 2 724 Km² soit une proportion de 6,86% de cette zone cotonnière. L'étendu de la forêt claire est faible. Elle représente 73 Km² soit seulement 0,18%. Concernant la zone agricole et la zone d'habitation, leur emprise est autour de 5% de la zone. La surface agricole est considérable dont elle s'élève à 1 957 Km² avec une proportion de 4,93%. La zone d'habitation occupe seulement 0,23% de la superficie totale de la nouvelle zone cotonnière.

Tableau 13 : Nouvelle zone cotonnière

Classe d'occupation	Superficie km²	Pourcentage
Culture et jachère récente	1 957	4,93
Cours d'eau	32	0,08
Forêt claire	73	0,18
Forêt galerie	2 724	6,86
Savane Boisée	9 769	24,62
Savane arbustive	2	0,00
Savane arborée	25 035	63,09
Zone d'habitation	92	0,23
Totaux	39 683	100,00

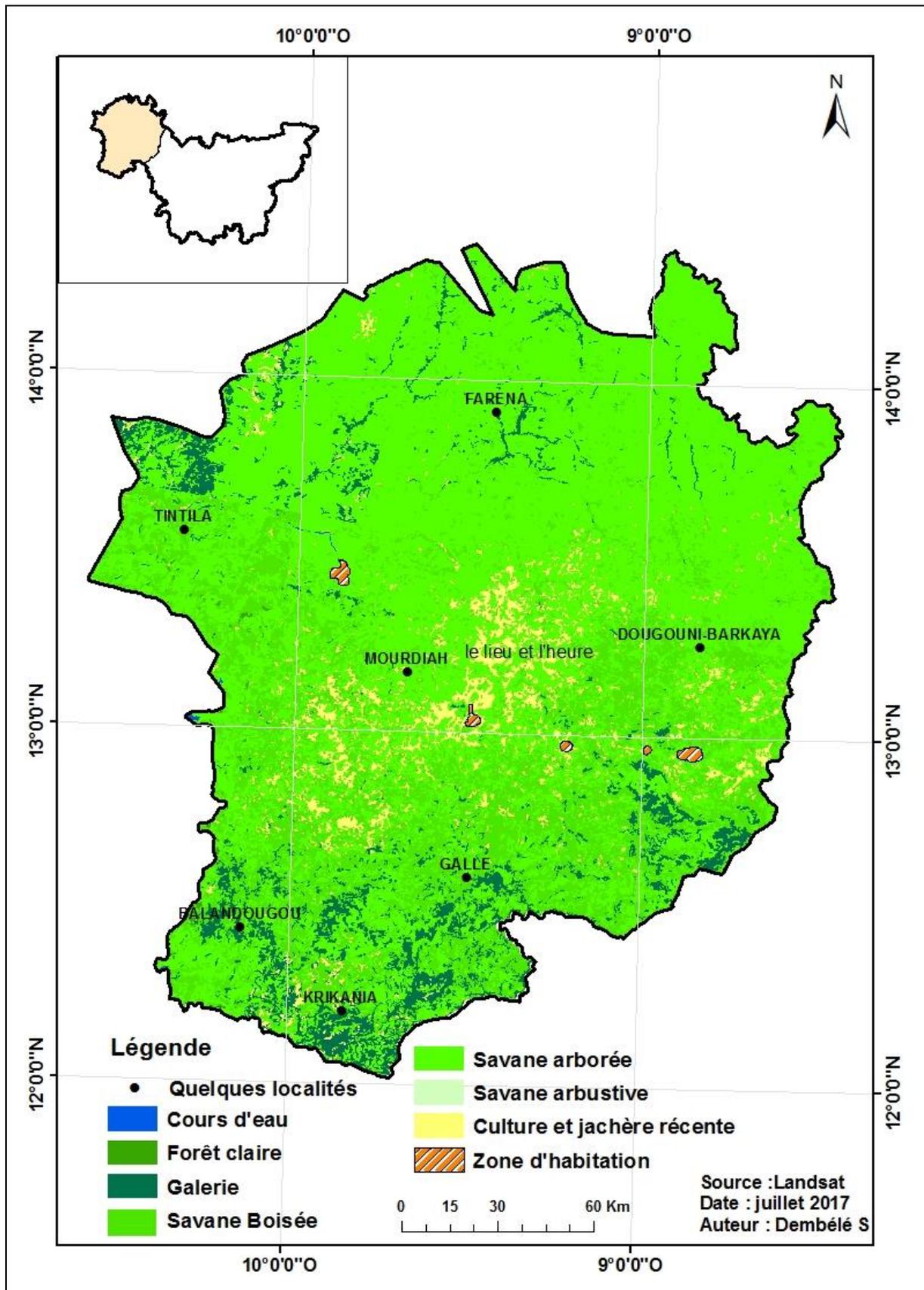


Figure 28 : Carte des unités d'occupation de la nouvelle zone cotonnière

4.2.8. Dans la zone Périurbaine 1 centré sur Kangaba

Situé au Sud-Est du Cercle de Kati avec une superficie de 8 836 km. Elle s'étend de Bamako jusqu'à Ouéléssébougou (**Figure 29**). Les unités d'occupation du sol dégagées dans cette région sont les suivantes : savane arborée 57,66%, savane boisée 22,85%, la galerie 7,71%, zone de culture réunissant les cultures sèches et celles inondées représentent un peu plus de 10% (**Tableau 14**). Il faut aussi noter la présence de forêts claires, des eaux de surface et de la prairie hygrophile dans des proportions moins importants.

Tableau 14 : Périurbaine 1 centré sur Kangaba

Classe d'occupation	Superficie Km²	Pourcentage
Culture et jachère récente	881	9,97
Agriculture inondée	4	0,05
Cours d'eau	68	0,77
Forêt claire	8	0,10
Forêt galerie	681	7,71
Prairie hygrophyle	76	0,86
Savane boisée	2 019	22,85
Savane arborée	5 095	57,66
Zone d'habitation	4	0,04
Totaux	8 836	100,00

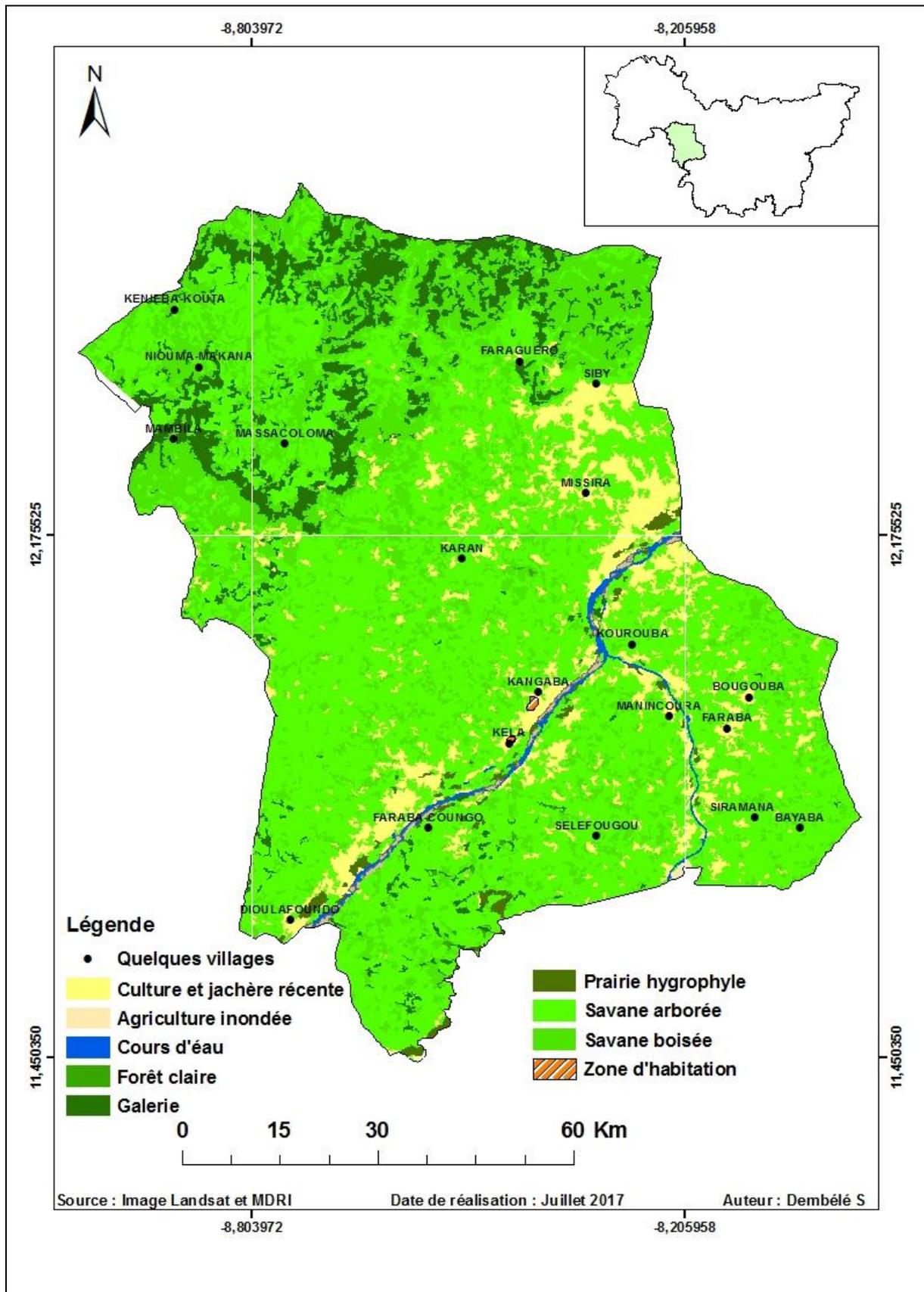


Figure 29 : Carte des unités d'occupation de la zone périurbaine 1

4.2.9. Dans la zone périurbaine 2 centré sur Kalabancoro

Dans la zone périurbaine 2 centrée sur la commune rurale de Kalabancoro (Tableau 15 et Figure 30), la savane arborée à elle seule occupe plus de 60 % suivie par les cultures et jachère récentes avec près de 19%. La surface occupée par la savane arborée est de 4 514Km². La plus faible occupation du sol de la zone est représentée par la forêt claire 2,26 km² soit 0,03 % suivie par la prairie hygrophylie avec 0,13 % soit 9,12 km².

La zone d'habitation est moyennement importante et qui représente 5,39 % soit 390 km² cela est surtout dit au fait que la commune de Kalabancoro est confondue à la capitale.. La pression foncière est très accentuée sur cette zone notamment sur la Commune de Kalabancoro et les villages situés sur des axes routiers en allant vers Ségou (Dialakorobougou, Tabakoro et Baguinéda) et sur la route de Sikasso (Sénou, Dialakoroba et Dafara2).

Tableau 15 : zone périurbaine 2 centré sur Kalabancoro

Classe d'occupation	Superficie Km²	Pourcentage
Culture et jachère récente	1 346	18,66
Cours d'eau	64	0,89
Forêt claire	2	0,03
Forêt galerie	33	0,46
Prairie hygrophyle	9	0,13
Savane boisée	854	11,84
Savane arborée	4 514	62,59
Zone d'habitation	390	5,40
Totaux	7 212	100,00

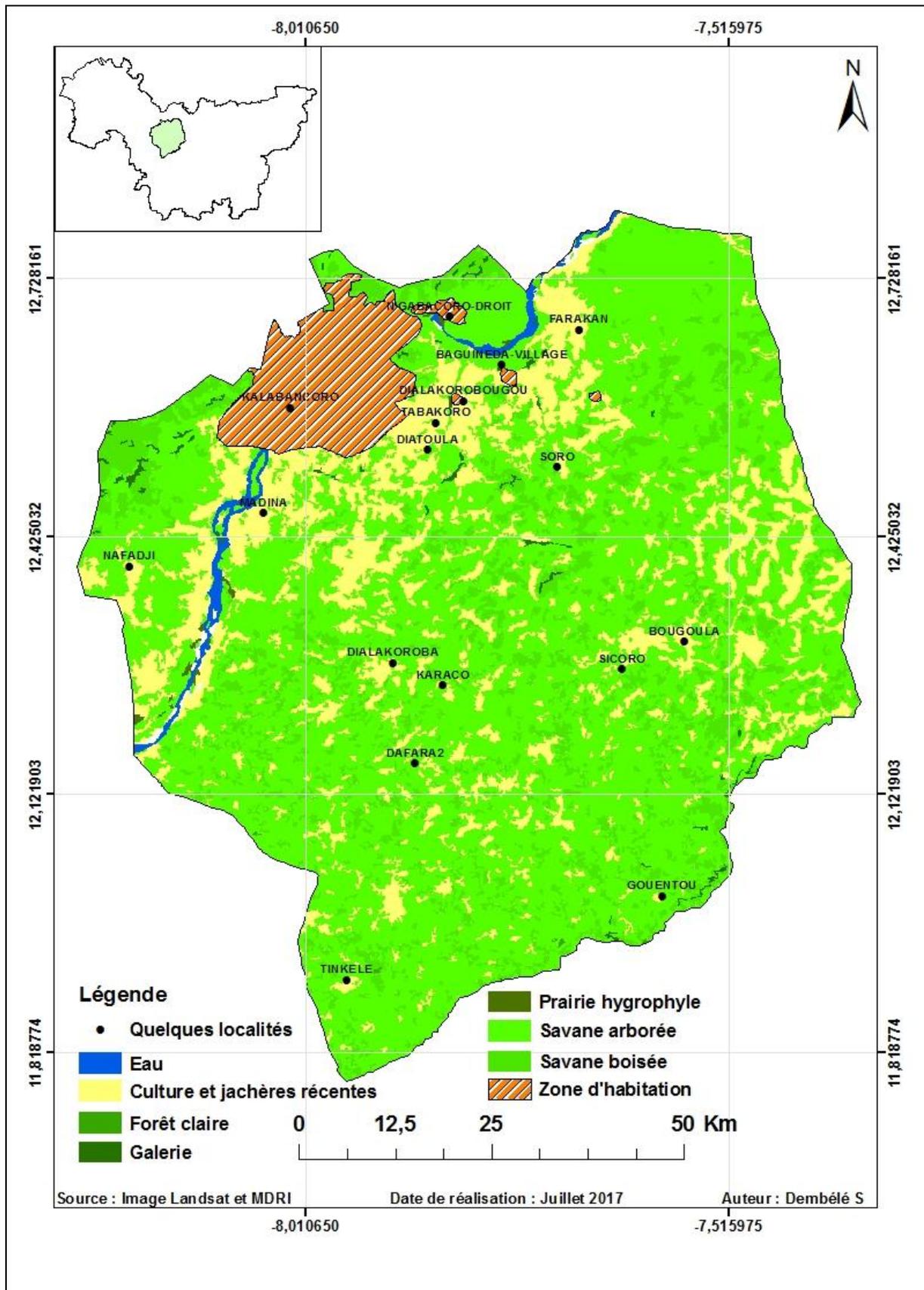


Figure 30 : Carte des unités d'occupation de la zone périurbaine 2

4.3. Synthèse de Chapitre IV

La cartographie d'occupation du sol a été identifiée comme un des outils importants de la gestion environnementale. Elle constitue l'un des principaux supports de prise de décision en matière de gestion des terres. Les résultats présentés dans ce chapitre ont montré une grande hétérogénéité et de diversité des paysages dans la zone cotonnière du Mali-Sud. Au total, onze (11) unités de paysages ont été identifiées par télédétection à travers les images Landsat. Ces unités paysagères vont des formations forestières denses à claires (forêts galeries, prairie hygrophiles et forêts claires), en passant par des zones savanicoles (savanes boisées, savanes arborées et savanes arbustives) en découlant sur les zones agricoles (cultures et jachères récentes ainsi que l'agriculture inondée). On note aussi la présence des zones rocheuses et d'habitation.

Sur une superficie de plus de 160 000km², la formation la plus dominante est la savane arborée avec une surface de 104 853 km² soit 61% de la superficie totale. Cette unité est suivie par la zone de culture et la jachère récente avec plus de 17% soit un total de 29 688 km². La savane boisée est aussi en proportion importante après la savane arborée et la zone d'agriculture sèche. Cette unité totalise 14% en termes de proportion de superficie. Donc les deux formations végétales naturelles totalisent 75% sur la surface totale.

Afin de rentrer dans la profondeur de l'analyse de la diversité paysagère, nous avons réalisé une analyse de la structuration spatiale du paysage notamment la structure, composition, la configuration et la dynamique à l'aide des indicateurs paysagers développés par l'écologie du paysage (chapitre 5).

CHAPITRE V : LA STRUCTURATION DE LA DIVERSITE PAYSAGERE

Le chapitre précédent traite l'occupation de l'espace. Il ressort que dans toutes les zones agricoles il y'a une différenciation dans l'occupation selon en termes de présence et de taille des unités. Dans le présent chapitre, il est question de la répartition spatiale et de la combinaison des unités à l'échelle de la zone cotonnière du Mali. Cette analyse permet d'avoir une lecture globale des différenciations observées entre différentes zones agricoles dans le chapitre précédent.

Cette lecture globale de la diversité des paysage va se focaliser sur l'analyse de la composition, la configuration, la structure, la fragmentation pour une année donnée 2013. Pour rappel, la fragmentation du paysage est le morcellement d'un paysage en éléments de petites dimensions (Godron, 2008).

Pour ce qui est de la structure paysagère, elle peut être définie comme une « association ou agencement d'éléments topographiques, minéraux, végétaux, architecturaux ...constituant des ensembles cohérents qui organisent et qualifient un espace. Elles sont naturelles (crête, falaise, gorge, ripisylve) ou façonnées par l'homme (restanques, haies, canaux, formes urbaines) » (Simalis, 2006)

En ce qui concerne la composition paysagère, elle est la façon dont se combinent relief, végétation spontanée, aménagements liés aux activités humaines et qui caractérisent un secteur ou organisation volontaire des éléments pour composer un projet de paysage. (Simalis, 2006)

5.1. La composition

Pour mesurer la composition du paysage, un certains nombres d'indicateurs ont été calculés aussi bien à l'échelle des unités de paysage (classe d'occupation du sol) qu'à celle de l'ensemble du paysage dans la zone cotonnière du Mali. Les indicateurs calculés à l'échelle du paysage sont dans le Tableau 16. Ce sont :

- le Nombre de tache (Number of patches NP, il s'agit de mesurer le nombre de taches au niveau des classes et au niveau du paysage),
- la richesse des taches (Patches Richness, PR) mesure le nombre de types d'occupation du sol présent dans le paysage. Cet indicateur augmente avec l'hétérogénéité du paysage)
- l'indice de diversité de Shannon (Shannon Diversity Index SHDI), rend compte de l'hétérogénéité du paysage en combinant la richesse et la régularité. Il est de loin l'indicateur de diversité le plus utilisé dans l'analyse du paysage en écologie. Le paysage est homogène si la valeur de cet indicateur est égale à 0

A l'échelle de la classe d'occupation du sol, en plus du nombre de taches, Nous avons utilisé la superficie de la classe CA, le pourcentage du paysage PLAND et l'indicateur de largesse des taches LPI ce dernier mesure la surface de la tâche (Patch) la plus grande pour chaque unité de paysage (Casado, 2007).

En observant la distribution des indicateurs de la composition du paysage, on constate que le nombre de taches dans trois zones agro écologiques sont relativement importants par rapport aux restent. Il s'agit de la zone hétérogène en équilibre, de la zone d'extension du Sud et de la nouvelle zone cotonnière avec respectivement 7 851 ; 7 577 et 7 434 (NP). Le nombre de tache dans les autres zones, varie de 2 205 à 4 420 (NP). Le plus faible NP est observée dans la zone Nord soudano sahélienne (Tableau 16).

Paradoxalement, la richesse des zones agro écologiques à faibles nombres de taches est la plus élevée. Il s'agit de la zone Nord soudano sahélienne, du vieux bassin cotonnier et de la zone OHVN. Dans ces zones, on note une dizaine d'unité d'occupation du sol. Les trois autres zones ont chacun huit unités d'occupation. Ce qui constitue leur richesse.

La forte valeur de l'indice de diversité de Shannon dans toutes les zones, montre une l'hétérogénéité du paysage. Sur le **Tableau 16** les indices de Shannon varient de 0,82 à 1,18.

Tableau 16 : Indicateur de composition du paysage

Zonage	NP	PR	SHDI
Nouvelle zone cotonnière	7 434	8	1,00
Vieux bassin cotonnier	3 138	10	0,82
Zone d'extension du Sud	7 577	8	1,19
Zone Nord soudano-sahélienne	2 205	10	1,18
Zone OHVN	4 420	10	1,18
Zone hétérogène en équilibre	7 851	8	1,00

5.1.1. Indicateurs de composition au niveau des classes d'occupation de la zone nord soudano-sahélienne

A l'échelle de la classe d'occupation du sol, on constate que la savane arborée occupe plus de 50% (PLAND) de la surface totale. Le nombre de tache de cette unité est très important. Il est de 608 accompagnée d'une taille moyenne (LPI) considérable soit 18,10 ha. La proportion (PLAND) du paysage occupé par la culture et jachère récente est de 37%. Dans cette proportion, on compte plus 730 (NP) nombre de tache. La surface moyenne de cette unité est de 19,99 ha (LPI). Les autres formations végétales (la savane arbustive, la prairie hygrophile, la savane boisée, la forêt galerie) occupent de faibles proportions du paysage. Elles représentent respectivement 3,19% ; 3,24%, 0,70 et 0,18%. Le nombre de taches de ces formations varie de 40 à 410. La taille moyenne de taches est très faible car elle représente moins de 0,80 (Tableau 17). Ces résultats montrent que la composition des unités paysagères est très hétérogène dans cette zone agricole.

Tableau 17 : Indicateurs de composition au niveau des classes d'occupation de la zone nord soudano-sahélienne.

Classe d'occupation du sol	CA	PLAND	NP	LPI
Agriculture inondée	21 398	1,39	19	0,36
Cours d'eau	5 598	0,36	77	0,15
Culture et jachère récente	572 426	37,14	730	19,99
Forêt galerie	2 791	0,18	40	0,02
Prairie hygrophile	49 968	3,24	145	0,79
Savane arborée	780 667	50,64	608	18,10
Savane arbustive	49 226	3,19	408	0,25
Savane boisée	10 833	0,70	150	0,03
Zone d'habitation	6 002	0,39	19	0,12
Zone rocheuse	42 559	2,76	9	2,69

5.1.2. Indicateurs de composition au niveau des classes d'occupation du vieux bassin cotonnier

Au regard de la répartition des indicateurs de composition du paysage du vieux bassin, on remarque une importante hétérogénéité. Ainsi plus de 64% de la zone est sous l'emprise de la savane arborée qui s'étale 1 818 782 ha avec un nombre de tache élevé (618). La surface moyenne (59,90) de la zone indique une forte domination des taches de cette unité du paysage.

Tout comme la zone précédente, la surface occupée par la zone de culture et jachère récente s'élève à 886 195 hectares soit une proportion de plus de 31%. Le nombre de tache de cette unité est le plus élevé de la zone avec 1 344. Sa surface moyenne est de 3,53 ha (Tableau 18). Les Indicateurs de composition des autres classes sont relativement faibles par rapport aux deux unités précédemment cités. Ce qui se traduit par de faibles proportions en termes de

superficie. Hormis la savane boisée qui s'étend sur 66 455 ha soit 2,36%, les autres unités réunies n'atteignent pas 40 000 ha soit moins de 2%. Cependant, certaines de ces unités ont un nombre de tache relativement important. C'est le cas de la forêt galerie avec 189 et de la prairie hygrophile avec 100.

Cette situation met en exergue l'état très hétérogène du paysage du vieux bassin cotonnier. Elle est due à l'expansion du système agraire à base de coton entraînant ainsi une hétérogénéité importante de la structure du paysage dans la zone et une forte disparité entre les unités d'occupation du sol.

Tableau 18 : Indicateurs de composition au niveau des classes d'occupation du vieux bassin cotonnier

Classe d'occupation du sol	CA	PLAND	NP	LPI
Agriculture inondée	1 165	0,04	17	0,01
Forêt claire	623	0,02	11	0,01
Forêt galerie	13 383	0,48	189	0,03
Prairie hygrophile	7 373	0,26	100	0,05
Savane arborée	1 818 782	64,61	618	59,90
Savane arbustive	4 905	0,17	91	0,01
Savane boisée	66 455	2,36	691	0,16
Zone d'habitation	11 055	0,39	19	0,13
Cours d'eau	5 082	0,18	58	0,03
Culture et jachère récente	886 195	31,48	1 344	3,53

5.1.3. Indicateurs de composition au niveau des classes d'occupation de la zone hétérogène en équilibre

A partir des Indicateurs de composition du paysage dans le Tableau 19 ci-dessous, nous constatons que la savane arborée occupe plus de la moitié (64,18% soit 2 210 572 ha) de l'aire totale de cette zone. Elle regorge environ 880 (NP) taches paysagères. La taille moyenne de surface de cette unité est de 30,34 ha (LPI).

La zone de culture et la savane boisée occupent respectivement 20,69 et 12,02 %. Ces proportions correspondent à 712 766 ha pour la culture et jachère récente et 414 097 ha pour la savane boisée. Le nombre de tache de ces deux unités sont de 2 724 pour le premier et 3 342 pour le second. La surface moyenne sont très faibles avec moins d'un hectare chacune (Tableau 19).

Les indicateurs des autres formations naturelles sont moins significatifs. Aucune autre unité n'atteint 3%. Par contre, leur nombre de taches est très considérable. Ainsi les unités paysagères comme la forêt galerie et la forêt claire comptent respectivement 642 et 200 taches (NP) avec une surface moyenne variant de 0,01 à 0,40 ha (PLI). Les cours d'eau et la zone d'habitation sont moins représentatifs. Ce constat révèle que la structure du paysage est modérément hétérogène.

Tableau 19 : Indicateurs de composition au niveau des classes d'occupation de la zone hétérogène en équilibre

Classe d'occupation du sol	CA	PLAND	NP	LPI
Cours d'eau	11 151	0,32	48	0,22
Culture et jachère récente	712 766	20,69	2 724	3,76
Forêt claire	13 214	0,38	200	0,01
Forêt galerie	73 010	2,12	642	0,40
Prairie hygrophile	268	0,01	8	0,00
Savane arborée	2 210 572	64,18	879	30,34
Savane boisée	414 097	12,02	3 342	0,51
Zone d'habitation	9 475	0,28	8	0,13

5.1.4. Indicateurs de composition au niveau des classes d'occupation de la zone d'extension du Sud

Dans la zone d'extension sud, on observe que les formations naturelles constituent les éléments essentiels de la structure du paysage. Ainsi, en termes de couverture, la savane arborée et la savane boisée y dominent. Elles représentent plus de 80% (60,81% soit 1 710 272 ha pour la savane arborée et 19,49% soit 548 116 ha pour la savane boisée). La savane boisée se caractérise par des taches très abondantes 1 976 (NP), une surface moyenne de tache de 6 ha.

Quant à la savane arborée, elle a 1 106 taches et une surface moyenne de 40,13 ha (LPI).

La zone de la culture et de jachère récente a une proportion de 10,18 % (soit 286 339 ha). Dans cette zone, on a comme nombre de taches 2 301 et une surface moyenne de 0,63 ha. Ce qui démontre que cette unité est éparpillée dans les formations végétales (Tableau 20).

Les couverts forestiers (forêt galerie et forêt claire) couvrent à peine 6% de la superficie totale de la zone. Elles présentent cependant des indicateurs paysagers plus ou moins considérables. Les taches de la forêt galerie sont 1 117 (NP) avec seulement 0,36 comme surface moyenne. Quant à la forêt claire, elle détient plus 900 taches, sa taille moyenne de surface 0,06 ha (LPI). La surface du cours d'eau a peu de taches seulement 41 (NP) et sa taille de surface est de 0,57 (LPI). Ces résultats montrent une forte domination des formations végétales sur les autres unités et des cultures éparpillées à l'intérieur du paysage.

Tableau 20 : Indicateurs de composition au niveau des classes d'occupation de la zone d'extension du Sud

Classe d'occupation du sol	CA	PLAND	NP	LPI
Cours d'eau	31 481	1,12	41	0,57
Culture et jachère récente	286 339	10,18	2 301	0,63
Forêt claire	82 064	2,92	904	0,06
Forêt galerie	131 940	4,69	1 117	0,38
Prairie hygrophile	18 320	0,65	121	0,12
Savane arborée	1 710 272	60,81	1 106	40,13
Savane boisée	548 116	19,49	1 976	6,00
Zone d'habitation	3 884	0,14	11	0,03

5.1.5. Indicateurs de composition au niveau des classes d'occupation de la zone haute vallée du Niger

L'analyse des résultats du Tableau 21 montre une couverture végétale appréciable et peu disséminée. La savane arborée domine. Elle occupe 1 377 944 soit près de 60% de la surface de la zone haute vallée du Niger. Le nombre de taches de cette zone s'élève à 602 (NP). Sa surface moyenne (22,35 ha) est la plus importante parmi les catégories d'occupation du sol (Tableau 21).

La savane arborée est suivie par la savane boisée. Cette dernière s'étend sur 22,23% de la superficie de la zone. Elle se caractérise par des indicateurs de composition paysagère très importants dont le nombre de taches atteint 2 077 (NP). La surface moyenne qui est de 2,90 (LPI). La forêt galerie et la forêt claire ont des proportions variant de (0 à 5%) et des surfaces moyennes qui vont de (0 à 0,60). La forêt galerie a un nombre considérable de taches (518 NP).

Quant à l'emprise de la zone agricole, elle couvre 10,47% de la superficie de la zone et à plus de 1 000 comme un nombre de tache. Comparativement aux autres zones, la zone d'habitation se caractérise par une forte occupation. Son taux de couverture est de 2% avec 13 taches et 1,84 (LPI).

Tableau 21 : Indicateurs de composition au niveau des classes d'occupation de la zone haute vallée du Niger

Classe d'occupation du sol	CA	PLAND	NP	LPI
Agriculture inondée	1 490	0,06	1	0,06
Cours d'eau	20 425	0,88	12	0,57
Culture et jachère récente	243 649	10,47	1 076	0,91
Forêt claire	917	0,04	19	0,00
Forêt galerie	108 198	4,65	518	0,59
No data	3 532	0,15	37	0,02
Savane arborée	1 377 944	59,24	602	22,35
Savane boisée	517 191	22,23	2 077	2,90
Savane hygrophile	6 349	0,27	65	0,03
Zone d'habitation	46 447	2,00	13	1,84

5.1.6. Indicateurs de composition au niveau des classes d'occupation dans la nouvelle zone cotonnière

D'après le Tableau 22, on note une prédominance de la savane arborée et celle de la savane boisée parmi les formations naturelles. Ces deux formations s'étendent sur plus de 87% avec un nombre de taches très significatif soit respectivement 1 898 (NP), 2 639 (NP) et la surface moyenne de ces unités est de 49,95(LPI) pour la savane arborée et 9,42 (LPI) la savane boisée. Les proportions occupées par la forêt galerie et la forêt claire sont relativement faibles. Elles couvrent respectivement 6,86% ; 0,18%. On remarque que la forêt galerie est constituée de taches importantes (1 361) mais la surface moyenne de taches est inférieure à 0,60 (LPI).

Il ressort également que les taches au niveau de la zone de cultures et de jachères récente sont importantes avec cependant une surface moins significative soit (4,93%). Le nombre de taches est 1 389 NP) et la surface moyenne est de 0,30 (LPI).

Concernant la zone d'habitation et le cours d'eau, les indicateurs sont très faibles. Ainsi la surface brute et la surface moyenne représentent respectivement 0,23% et 0,08%. Le cours d'eau compte à peu près 60 taches et a une surface moyenne de 0,02 (LPI). En observant la répartition de ces indicateurs selon les unités paysagères, on se rend compte que la structure du paysage de la nouvelle zone cotonnière est très hétérogène.

Tableau 22 : Indicateurs de composition au niveau des classes d'occupation dans la nouvelle zone cotonnière

Classe d'occupation du sol	CA	PLAND	NP	LPI
Cours d'eau	3 233	0,08	59,00	0,02
Culture et jachère récente	195 700	4,93	1 389,00	0,30
Forêt claire	7 316	0,18	78,00	0,02
Forêt galerie	272 397	6,86	1 361,00	0,59
Savane arborée	2 503 522	63,09	1 898,00	49,95
Savane arbustive	176	0,00	5,00	0,00
Savane boisée	976 833	24,62	2 639,00	9,42
Zone d'habitation	9 163	0,23	5,00	0,08

5.2. Les indicateurs de fragmentation du paysage dans la zone cotonnière du Mali

A l'échelle du paysage de la zone cotonnière, on observe un processus global de fragmentation (Morcellement) du paysage (**Tableau 23**). Nous avons mesuré cette fragmentation à l'aide de la comparaison entre quatre indicateurs notamment le nombre de tache NP, la surface moyenne MPS, la densité des contours des taches qui forment les types d'occupation du sol ED et le coefficient de variation.

Une observation des résultats d'analyse de la structure des paysages (**Tableau 23**), révèle de forts indices paysagers pour toutes les zones. Le plus grand nombre de taches est dans la zone hétérogène en équilibre. Elle comporte environ 7850 (NP), avec une mesure de la densité à 18,36 m/ha. Sa mesure de surface moyenne et la variabilité de la taille des taches par rapport à la moyenne sont de 439 (MPS) et 3 642 (CV). Ces valeurs résument que la structure du paysage de cette zone est à la fois plus ou moins fragmenté et non uniforme. La zone d'extension du sud comporte aussi des taches considérables. Elle a la plus grande densité de contours de taches du paysage soit 75 777 (NP) et 19,35 (ED). Elle couvre une surface moyenne de taches la plus faible de l'ensemble soit 371 (MPS) et variabilité de la taille des taches très forte soit plus de 3650 (CV). Donc le paysage de cette zone est peu fragmenté et moins uniforme. Les autres zones (la zone haute vallée du Niger, la Nouvelle zone cotonnière et le vieux bassin cotonnier) tendent vers une fragmentation de leur paysage. Leurs indices de structure paysagère paraissent très significatifs et varient suivant des zones. Ainsi, les densités des contours des taches vont de 13,25 à 17,25 m/ha. La surface moyenne de taches oscille entre 526 à 897 (MPS) et la variabilité de la taille des taches varie de 2113 à 3370 (CV).

Tableau 23 : Indicateur de fragmentation du paysage

Zonage	NP	ED	MPS	CV
Vieux bassin cotonnier	3 138	13,25	897	3 370
Nouvelle zone cotonnière	7 434	15,81	534	4 391
Zone d'extension du sud	7 577	19,35	371	3 654
Zone hétérogène en équilibre	7 851	18,36	439	3 642
Zone nord soudano-sahélienne	2 205	15,16	699	1 404
Zone haute vallée du Niger	4 420	17,25	526	2 113

5.2.1. Pour la zone Nord soudano sahélienne

En se référant aux statistiques sur la structure de la mosaïque paysagère du Tableau 24 ci-dessous, on remarque que la couverture du sol occupée par la Culture et jachère récente constitue la plus importante. Les différents indicateurs du paysage l'attestent. Les taches occupées par cette unité paysagère s'élèvent à 730 (NP) avec une densité de contours de taches de 12,5. La surface moyenne et la variabilité de la taille des taches sont respectivement 784 (MPS) et 1463 (CV). Cela montre que les parcelles de la zone agricole sont moins fragmentées et peu uniforme. La savane arborée présente elle aussi des valeurs des indicateurs très forts surtout au niveau de la surface moyenne des taches qui mesure 1 284 (MPS) et de la variabilité de la taille des taches soit 1 066 (CV). Les autres formations végétales et la zone d'habitation ont les indices de configuration de taches relativement moins considérables. Ce qui indique que ces unités paysagères sont de plus en plus fragmentées et encore non uniformes. La zone rocheuse présente cependant des caractéristiques particulières. Elle couvre seulement 9 (NP). Sa surface moyenne la plus importante s'étend sur plus 4 720 ha et 275 ha constitue la variabilité de la taille des taches. Ces valeurs attestent que dans la zone rocheuse, l'occupation est uniforme et non fragmentée.

Tableau 24 : Zone Nord soudano sahélienne

Classe d'occupation du sol	NP	ED	MPS	CV
Agriculture inondée	19	0,28	1 126	155
Cours d'eau	77	0,27	73	376
Culture et jachère récente	730	12,57	784	1 463
Forêt galerie	40	0,15	70	81
Prairie hygrophile	145	1,05	345	414
Zone rocheuse	9	0,31	4 729	275
Savane arborée	608	12,83	1 284	1 066
Savane arbustive	408	2,18	121	225
Savane boisée	150	0,58	72	94
Zone d'habitation	19	0,09	316	134

5.2.2. Pour le vieux bassin cotonnier

La quantification du niveau de fragmentation des types d'occupation du sol nous révèle que la classe culture et jachère récente s'accapare du plus grand nombre de taches (1 344). Avec des indices de formes les plus importants que les autres unités paysagères excepté la savane arborée (Tableau 25). Ainsi, la surface moyenne des taches et leur variabilité sont les mêmes (659 ha). En ce qui concerne la savane arborée, elle constitue une unité très peu fragmentée et uniforme car la densité de taches la plus grande de la zone est de 12,79 m/ha. La surface de contour et la variabilité de la taille de taches sont très fortes soit 2 943 (MPS) et 2 303 comme coefficient de variation. Le paysage du vieux bassin cotonnier est ouvert au niveau des autres strates de végétations dont les nombres de taches sont moins élevés. Ils vont de 11 à 200 (NP). La densité de contours très petite va de 0,2 à 1,70 m/ha. La surface moyenne est comprise entre 69 à 100 ha avec une variabilité de taille des taches s'élèvent à 248 ha au plus. Les milieux très touchés par la pression anthropique que sont la zone d'agriculture inondée et la zone d'habitation comportent de faibles valeurs ED soient moins de 0,1 m/ha. Ils ont des surfaces moyennes de taches et des variabilités de tailles relativement considérables. Ce qui prouve que ces milieux du point de vue de l'occupation du sol sont hautement fragmentées en plusieurs petites taches.

Tableau 25 : Vieux bassin cotonnier

Classe d'occupation du sol	NP	ED	MPS	CV
Agriculture inondée	17,00	0,02	69	130
Cours d'eau	58,00	0,16	88	154
Culture et jachère récente	1344,00	11,08	659	659
Forêt claire	11,00	0,02	57	77
Forêt galerie	189,00	0,36	71	137
Prairie hygrophile	100,00	0,18	74	217
Savane arborée	618,00	12,79	2 943	2 303
Savane arbustive	91,00	0,17	54	84
Savane boisée	691,00	1,66	96	248
Zone d'habitation	19,00	0,07	582	139

5.2.3. Pour la zone hétérogène en équilibre

Du calcul des indicateurs paysagers à l'échelle de classes d'occupation du sol de la zone hétérogène en équilibre, il ressort que toutes les unités présentent des taches considérables. Mais leurs densités de contour sont relativement faibles excepté les formations savaniques. En effet, la savane boisée constitue la plus importante en termes de nombre de taches qui s'élèvent à 3 342 (NP). La densité de contour (ED) y est cependant trop petite (seulement 8,17 m/ha), La surface moyenne et la variabilité de taille de ses taches oscillent entre 120 à 360 ha.

Excepté pour les formations savanicoles, les densités de contours sont relativement faibles (elles varient de 0,01 à 1,41). A partir des indices de structure paysagère (**Tableau 26**) on constate est l'unité la plus dense et la moins fragmentée. Elle compte plus 879 (NP) comportant une densité (ED) de 17,15 m/ha, la surface moyenne (MPS) est estimée à 2 515 ha et la variabilité de taille atteint 1 883. Les indicateurs de structure du paysage pour le couvert forestier et pour la prairie hygrophile sont moyennement significatifs. Elles vont de 200 à 642 (NP) avec des densités très faibles variant de 0,01 à 1,41 m/ha. la surface moyenne de taches est environ 114 ha et sa variabilité de taille par rapport à la moyenne va de 99 à 525 ha. Ces indicateurs montrent que ces types d'occupation sont moins fragmentés. Parmi les unités paysagères relative à l'occupation humaine, la zone de culture et jachère récente semble être uniforme, elle représente le nombre de taches le plus important estimé à 2 724 (NP) dont sa densité moyenne de taches est de 9,51 m/ha et sa surface moyenne (MPS) s'élève à 262 ha. Une variabilité de taille de taches de 1 256 (CV). Tandis que les valeurs de la densité de taches de la zone d'habitation sont faibles, seulement 0,03 m/ha mais avec une surface moyenne importante 1 184 ha. Celles-ci déterminent que cette catégorie d'occupation du sol n'est pas fragmentée.

Tableau 26: Zone hétérogène en équilibre

Classe d'occupation du sol	NP	ED	MPS	CV
Cours d'eau	48	0,13	232	467
Culture et jachère récente	2 724	9,51	262	1 256
Forêt claire	200	0,31	66	99
Forêt galerie	642	1,41	114	525
Prairie hygrophile	8	0,01	33	92
Savane arborée	879	17,15	2 515	1 883
Savane boisée	3 342	8,17	124	360
Zone d'habitation	8	0,03	1 184	118

5.2.4. Pour la zone d'extension du sud

L'analyse du Tableau 27 nous renseigne que la zone de culture et de jachère récente constitue l'unité paysagère la plus fragmentée. Ainsi, elle compte plus de 2 300 taches avec une densité moyenne de tache de 6,67 m/ha. La surface moyenne correspondante est 124 (MPS) avec un coefficient de variabilité de taches estimé à 355 (CV). Le nombre de taches de la savane arborée s'élève à 1 106 (NP), la densité de contour de taches est de 16,53 m/ha ce qui correspond à une surface moyenne de plus de 1 540 ha. On constate une forte variabilité de taille soit 2 268 ha. La savane boisée compte 1 976 (NP) avec lesquelles elle circonscrit une densité de contour qui est de 9,62 m/ha accompagnée d'une couverture moyenne de taches plus ou moins considérable soit 277 ha. Le coefficient de variabilité de la taille des taches par rapport à la moyenne est de à 1 397 (CV). Quant aux autres formations naturelles, les indicateurs de configuration du paysage sont relativement moins élevés. Leur densité de contours se situe entre 0,25 et 6,67 m/ha, leur surface moyenne de taches s'étend de 91 à 151 ha et la variabilité de taille de leur tâche oscille entre 150 à 400 ha en fonction des unités paysagères. On note une faible valeur de densité de leur contour. La surface moyenne

légèrement significative indique que les structures du paysage de ces types d'occupation sont hautement fragmentées et ne sont pas parfaitement uniformes.

Tableau 27: Zone d'extension du sud

Classe d'occupation du sol	NP	ED	MPS	CV
Cours d'eau	41	0,25	768	355
Culture et jachère récente	2 301	6,67	124	399
Forêt claire	904	2,10	91	154
Forêt galerie	1 117	3,15	118	378
Prairie hygrophile	121	0,33	151	236
Savane arborée	1 106	16,53	1 546	2 268
Savane boisée	1 976	9,62	277	1 397
Zone d'habitation	11	0,03	353	75

5.2.5. Pour la zone Haute vallée du Niger

Lorsqu'on observe les résultats d'analyse du Tableau 28, on remarque que les taches des formations savaniques (Savane arborée, Savane boisée) et celle de la zone de culture sont très importantes. Ainsi, la savane boisée compte plus 2 000 taches dans le paysage. Les formations savaniques constituent également des unités paysagères les moins fragmentées car leurs densités de contours de tache sont relativement élevées (5 à 15 m/ha). Elles ont de grande surface moyenne comprise entre 226 à 2289 (MPS), accompagnée d'une variabilité de taille moyenne de 508 à 1300 (CV). Les formations forestières (Forêt galerie et forêt claire) et le cours d'eau représentent des taches plus ou moins considérables (51 au plus) avec une surface moyenne de taches comprise entre 209 à 1702 (MPS) et une variabilité de taille dont la plus forte est de 508 (CV). La zone d'habitation et la zone de culture inondée présentent le nombre de taches et des densités de contour trop faible mais elles occupent des surfaces moyennes très grandes soit environ 3 573 ha(MPS). Ce qui montre que le paysage de cette zone est légèrement fragmenté et presque uniforme.

Tableau 28: Zone Haute vallée du Niger

Classe d'occupation du sol	NP	ED	MPS	CV
Agriculture inondée	1	0,01	1 490	0
Cours d'eau	12	0,35	1 702	215
Culture et jachère récente	1 076	5,01	226	508
Forêt claire	19	0,04	48	45
Forêt galerie	518	2,37	209	433
No data	37	0,12	95	95
Savane arborée	602	15,02	2 289	1 300
Savane boisée	2 077	11,27	249	762
Savane hygrophile	65	0,18	98	128
Zone d'habitation	13	0,12	3 573	317

5.2.6. Pour la nouvelle zone cotonnière

L'analyse du Tableau 29 ci-dessous, sur la fragmentation du paysage de la nouvelle zone cotonnière révèle deux aspects importants. Le premier aspect est que, les végétations naturelles (savane arborée, savane boisée) et culture et jachère récente sont presque uniforme. Elles sont de moins en moins fragmentées. Elles ont une couverture majeure correspondant à des nombres de taches très importants qui s'élèvent de 1 389 à 2 639 (NP). Les densités (ED) de ces catégories d'occupation varient entre 2,93 à 13,41 m/ha avec des surfaces moyennes (MPS) relativement importantes allant de 100 à 1 833 ha dont la variabilité de leur taille de taches est de 359 à 3450 ha. La légère dispersion et la fragmentation des formations naturelles (forêt galerie, forêt claire, savane arbustive et de cours d'eau) constituent le second aspect. Ainsi, la forêt claire compte 78 (NP) et une densité de contour de 0,12 m/ha avec une superficie moyenne (MPS) qui s'évalue 94 ha et une variabilité de taille (CV) qui est 123 ha. Cependant, la zone d'habitation présente des caractéristiques particulières comme le montre les indicateurs ED et MPS. Elle ne compte que 5 (NP) et une densité de contour de 0,03 m/ha. Elle a une vaste surface moyenne s'étendant sur 1 833, et une variabilité de taille de 56 ha. Ceci indique une unité paysagère est fortement uniforme.

Tableau 29 : Nouvelle zone cotonnière

Classe d'occupation du sol	NP	ED	MPS	CV
Cours d'eau	59	0,06	55	204
Culture et jachère récente	1 389	2,93	141	359
Forêt claire	78	0,12	94	123
Forêt galerie	1 361	3,59	200	494
Savane arborée	1 898	13,41	1 319	3 450
Savane arbustive	5	0,01	35	50
Savane boisée	2 639	11,48	370	2 028
Zone d'habitation	5	0,03	1 833	56

5.3. Les indicateurs d'agrégation du paysage de la zone cotonnière

La configuration de la structure du paysage est mesurée par rapport aux processus d'agrégation des types d'occupation du sol (Tableau 30). Ces processus déterminent les potentialités d'expansion entre des types différents (Casado, 2007). A l'échelle du paysage (A), on observe une forte agrégation des classes en taches compactes (AI, qui mesure l'arrangement spatial des taches correspondantes aux types d'occupation du sol. Une valeur AI élevée indique des unités contiguës et par conséquent les taches sont bien agrégées) ainsi qu'une moyenne adjacence entre classes différentes (IJI, mesure l'adjacence entre types d'occupation du sol différents. Une valeur IJI égale à 100 indique une classe adjacente avec toutes les autres classes)

Une lecture du tableau 8, montre que les résultats sont encore plus représentatifs à l'échelle du paysage dans l'ensemble. Il ressort que toutes les zones ont une densité de taches (ED) très importante. La densité minimale est de 13,5 m/ha. Ce qui correspond à celle du vieux bassin cotonnière. La maximale qui est de 19,35 m/ha correspond à celle zone du zone haute vallée du Niger (Tableau 30). L'agrégation des taches au niveau du paysage présente des valeurs très élevées. Elles dépassent 67%, cela désigne que toutes les zones tendent vers la colonisation et à la diffusion potentielle des perturbations. L'indice d'agrégation (AI) indique une forte compacité des taches pour l'ensemble de paysage dans toutes les zones. Ces indices dépassent 97%. Tandis que l'adjacence des unités paysagères est considérable mais varie suivant des zones. On remarque qu'elle est importante surtout dans la Zone d'extension du sud avec 50,71% et dans la Nouvelle Zone cotonnière soit 39,78%. Ces valeurs indiquent que les classes d'occupation du sol du paysage dans ces zones sont adjacentes avec toutes les autres classes.

Tableau 30 : Indicateur d'agrégation du paysage

Zonage	ED	CONTAG	IJI	AI
Vieux bassin cotonnière	13,25	79,82	21,41	98,01
Nouvelle Zone cotonnière	15,81	72,87	39,78	97,63
Zone d'extension du sud	19,35	67,57	50,71	97,08
Zone hétérogène en équilibre	18,36	72,44	36,09	97,24
Zone nord soudano sahélienne	15,16	71,69	34,07	97,72
Zone haute vallée du Niger	17,25	71,48	34,72	97,42

5.3.1. Indicateur d'agrégation de la zone Nord Soudano-sahélienne

Parmi les unités d'occupation du sol, selon les indices d'agrégation seules la savane arborée et la zone de culture représentent de valeurs relativement considérables. Elles regorgent des fortes densités de taches soit plus de 12,80 m/ha (**Tableau 31**). La valeur des densités des autres unités est très faible ce qui indique en principe un niveau élevé d'agrégation. On constate également qu'il existe une adjacence (IJI) relativement forte entre les types d'occupation du sol. L'importance de leur adjacence est confirmée par les valeurs élevées de prairie hygrophile (60,02%) ; l'agriculture inondée (56,57%), le cours d'eau 58,24% et zone d'habitation (41,22%). Quant au AI qui est un indicateur, de l'intégrité spatiale du paysage demeure très élevée au niveau de tous les types d'occupation du sol dont la zone rocheuse (99,17%), l'agriculture inondée (98,62%), culture et jachère récente (97,46). La variation homogène indique une régularité de forme dans la structure spatiale et une faible empreinte des activités anthropiques sur ces formations végétales.

Tableau 31 : Indicateur d'agrégation de la zone Nord Soudano-sahélienne

Classe d'occupation du sol	ED	SHAPE	IJI	AI
Agriculture inondée	0,28	1,99	56,57	98,62
Cours d'eau	0,27	1,96	58,24	93,57
Culture et jachère récente	12,57	2,15	26,93	97,46
Forêt galerie	0,15	1,80	50,42	94,12
Prairie hygrophile	1,05	2,03	60,02	97,60
Zone rocheuse	0,31	2,04	31,74	99,17
Savane arborée	12,83	2,07	34,12	98,08
Savane arbustive	2,18	1,92	31,81	94,96
Savane boisée	0,58	1,78	13,91	94,03
Zone d'habitation	0,09	1,18	41,22	98,67

5.3.2. Indicateur d'agrégation de la zone Nord Soudano-sahélienne

Une lecture du Tableau 32 montre une domination importante de la savane arborée (12,79 m/ha) et la zone de culture (11,08 m/ha) en termes de densité de contour de taches. La valeur de l'indicateur de l'organisation spatiale de taches (AI) est relativement constante pour la forêt galerie, pour la forêt claire et pour la savane boisée. Les valeurs les plus faibles (93,12%) de cet indicateur présentent une faible dispersion avec les valeurs les plus élevées (98,74%). Par contre les valeurs de l'indice de connectivité des unités paysagères (IJI) sont très variables surtout dans les formations végétales comme la forêt claire (58,26%), Prairie hygrophile (55,50%), Savane arborée (27,39 %) et la savane boisée (24,02%). Parmi le territoire anthropisé, la culture et jachère récente dispose de faible indice soit seulement (8,25%) tandis que celle des espaces d'habitation est considérable soit plus de 30%. Cette situation montre l'effet des perturbations externes sur l'habitat naturel de la végétation et aussi une fragmentation variée des formations végétales, surtout sur la savane arborée et sur la savane arbustive.

Tableau 32 : Indicateur d'agrégation du vieux bassin cotonnier

Classe d'occupation du sol	ED	SHAPE	IJI	AI
Agriculture inondée	0,02	1,4832	68,83	96,13
Cours d'eau	0,16	2,1508	58,61	93,34
Culture et jachère récente	11,08	2,1671	8,25	97,37
Forêt claire	0,02	1,4758	58,26	95,52
Forêt galerie	0,36	1,741	43,61	94,25
Prairie hygrophile	0,18	1,6801	55,50	95,02
Savane arborée	12,79	1,9674	27,39	98,50
Savane arbustive	0,17	1,7646	32,45	93,12
Savane boisée	1,66	1,8096	24,02	94,75
Zone d'habitation	0,07	1,1922	35,11	98,94

5.3.3. Indicateur d'agrégation de la zone hétérogène en équilibre

La répartition des indices à l'échelle de classe d'occupation du sol de la zone hétérogène en équilibre nous révèle que la valeur de l'indice de l'adjacence (IJI) est très importante. Les plus remarquables sont respectivement celles de la prairie hygrophile (79,36%), du cours d'eau (65,53%), de la forêt claire (54,98%), de la forêt galerie (50,09%) et la savane arborée (47,56%). En ce qui concerne la mesure de la structure spatiale de taches, on constate que la zone d'habitation dispose le plus fort indice soit plus 99 %, bien que les valeurs de cet indicateur soient moins dispersées suivant les unités paysagères dont la plus faible s'évalue à 93,34% correspondant à la prairie hygrophile (Tableau 33). Donc cette situation montre que les différents types d'occupation du sol sont adjacents avec de taches très agrégées.

Tableau 33: Indicateur d'agrégation de la zone hétérogène en équilibre

Classe d'occupation du sol	ED	SHAPE	IJI	AI
Cours d'eau	0,13	2,13	65,53	97,12
Culture et jachère récente	9,51	1,91	13,18	96,57
Forêt claire	0,31	1,70	54,98	94,04
Forêt galerie	1,41	1,89	50,09	95,00
Prairie hygrophile	0,01	1,78	79,36	93,34
Savane arborée	17,15	2,02	47,56	97,99
Savane boisée	8,17	1,94	25,90	94,89
Zone d'habitation	0,03	1,19	39,68	99,39

5.3.4. Indicateur d'agrégation de la zone d'extension du Sud

Le Tableau 34 permet de mettre en évidence des types de structure de paysage selon les valeurs de l'indicateur d'agrégation AI. La valeur AI de toutes les unités dépasse 95%. On remarque que les milieux forestiers et les zones de savanes présentent de contours de taches fortement denses surtout la savane arborée (16,53 m/ha), savane boisée (9,62 m/ha) et forêt (3,15 m/ha), suivie de la surface agricole et jachère (6,67 m/ha). Ces unités d'occupation du sol disposent également des valeurs très importantes en ce qui concerne l'adjacence entre les différentes catégories d'occupation du sol. Ainsi ces valeurs sont importantes pour la prairie hygrophile (72,09%), pour la savane arborée (62,20%), pour les cours d'eau (61,11%) et pour la savane boisée (42,94%). Les valeurs de l'adjacence des surfaces bâties et les espaces agricoles sont relativement faibles. Elles sont comprises entre 13 à 38% de rapport de contiguïté avec les autres unités. L'importance généralisée de ces indices indique une très forte agrégation des types d'occupation du sol dans la zone d'extension sud.

Tableau 34 : Agrégation de la zone d'extension du Sud

Classe d'occupation du sol	ED	SHAPE_MN	IJI	AI
Cours d'eau	0,25	2,07	61,11	98,28
Culture et jachère récente	6,67	1,84	13,27	95,10
Forêt claire	2,10	1,75	54,07	94,65
Forêt galerie	3,15	1,91	51,16	94,94
Prairie hygrophile	0,33	1,79	72,09	96,24
Savane arborée	16,53	2,03	62,20	97,93
Savane boisée	9,62	1,99	42,94	96,28
Zone d'habitation	0,03	1,23	37,80	98,64

5.3.5. Indicateur d'agrégation de la zone de haute vallée du Niger

Dans la zone de haute vallée du Niger, ce sont les formations savaniques et les surfaces agricoles qui possèdent les valeurs des indices d'agrégation les plus élevées. La savane arborée (15,02 m/ha), la savane boisée (11,25 m/ha) et la zone Culture et jachère récente (5,01 m/ha) constituent les valeurs de densités de contours significatives. En ce qui concerne l'adjacence entre les classes d'occupation, les résultats de nos analyses montrent que les milieux naturels : cours d'eau (66,22%), forêt claire (41,90 %), forêt galerie (30,30%), Savane arborée (41,57%) sont presque adjacentes avec toutes les unités paysagères. Dans les milieux anthropisés, l'Agriculture inondée (46,57%) et l'espace d'habitation (53,10%) tandis que la culture et jachère récente ne dispose que de (16,76%). Quant à l'indice d'agrégation AI, ses valeurs sont moins dispersées car tous les types d'occupation en ont plus de 94% (Tableau 35). Cette situation démontre que les parcelles des unités paysagères connaissent une forte agrégation et sont adjacente entre eux.

Tableau 35 : Agrégation zone de haute vallée du Niger

Classe d'occupation du sol	ED	SHAPE_MN	IJI	AI
Agriculture inondée	0,01	1,93	46,57	99,27
Cours d'eau	0,35	3,36	66,22	97,10
Culture et jachère récente	5,01	1,91	16,76	96,45
Forêt claire	0,04	1,67	41,90	93,77
Forêt galerie	2,37	1,96	30,30	96,21
No data	0,12	1,90	56,79	94,62
Savane arborée	15,02	2,05	41,57	98,08
Savane boisée	11,27	2,00	23,95	96,21
Savane hygrophile	0,18	1,72	61,21	95,41
Zone d'habitation	0,12	1,32	53,10	99,71

5.3.6. Indicateur d'agrégation de la nouvelle zone cotonnière

Au regard du Tableau 36, il ressort de l'analyse que les valeurs des indices d'agrégation sont presque uniformes suivant les modalités de l'occupation du sol. La savane arborée (13,40 m/ha), la savane boisée (11,47 m/ha) sont les plus importantes en termes de densité de bordure de taches. Au niveau des indicateurs d'adjacence (IJI) entre les catégories d'occupation du sol, le cours d'eau et l'espace d'habitation sont relativement importants et leurs valeurs dépassent 50%. Tandis que les différentes strates de végétations comme la savane arborée, savane boisée, forêt galerie et la forêt claire présentent des valeurs légèrement élevées. Ces valeurs vont de 33 à 46% (IJI). La classe de la culture et jachère récente est évalué à 38,60% (IJI). Suivant la distribution des valeurs d'indice sur l'organisation spatial des taches, il apparait que les toutes les unités d'occupation du sol ont des indices plus ou moins similaires (elles vont au-delà de 92%). Partant de ce constat, il ressort que tous les types d'occupation sont adjacents et leurs taches sont bien agrégées.

Tableau 36 : Agrégation de la nouvelle zone cotonnière

Classe d'occupation du sol	ED	SHAPE	IJI	AI
Cours d'eau	0,0605	1,94	59,53	93,21
Culture et jachère récente	2,9306	1,81	38,60	95,60
Forêt claire	0,1204	1,62	39,35	95,39
Forêt galerie	3,5858	1,96	42,63	96,06
Savane arborée	13,4073	2,03	45,37	98,40
Savane arbustive	0,0052	1,92	33,36	92,51
Savane boisée	11,4796	2,02	33,23	96,51
Zone d'habitation	0,0276	1,32	50,43	99,42

5.4. Synthèse de chapitre V

La cartographie de l'occupation du sol a permis de caractériser le paysage à l'aide des indicateurs paysagers développés par l'écologie du paysage. Ces indicateurs ont été calculés par le logiciel Fragstats. Calcul de métriques paysagères comme la composition, la fragmentation et de l'agrégation des paysages ont été ainsi calculés à deux échelles spatiales : la zone cotonnière en entière (Landscape) et la classe d'occupation du sol (class).

Pour la première échelle, l'occupation du sol se caractérise pour ce qui est de la composition par un nombre important de tache soit 32 625 taches repartis pour une large part à trois zones agricoles notamment la zone hétérogène en équilibre, la zone d'extension du Sud et la zone soudano sahélienne avec plus de 7 000 taches chacune. Quant à la richesse, elle varie entre 8 types d'unités pour la nouvelle zone cotonnière, la zone d'extension du Sud et la zone hétérogène en équilibre à 10 unités d'occupations pour les zones les plus riches. Ces zones sont entre autres la zone Nord soudano-sahélienne, le vieux bassin cotonnier et la zone haute vallée du Niger. L'indice de diversité de Shannon indique une diversité relativement importante dans toute la zone cotonnière du Mali.

On note une emprise relativement forte de surfaces agricoles sur les formations naturelles notamment les forêts, qui varient considérablement d'une zone agricole à l'autre. Il ressort de l'analyse des résultats que les pressions anthropiques liées à l'emprise de Culture et jachère récente sont notaires dans certaines zones. Leurs proportions vont au-delà des 10%, il s'agit de la zone nord soudano-sahélienne (37,14%), du Vieux bassin cotonnier (31,48%) et de la zone hétérogène en équilibre (20,69%).

A l'échelle du deuxième niveau d'analyse notamment les classes d'occupation du sol, on constate également que toutes les six zones agricoles présentent une configuration spatiale des paysages relativement fragmentée et parfois ça semble désagrégé. Cette situation est surtout perceptible dans le vieux bassin cotonnier, dans la Zone Haute vallée du Niger et dans la Zone d'extension Sud dont les milieux anthropisés (Surfaces d'habitation, Zone des cultures) sont de plus en plus fragmentés, moins adjacents et presque désagrégés. Car leur densité est très faible avec de surface moyenne peu considérable par endroit. En outre, quelques formations végétales sont aussi fragmentées et un peu dispersées comme la savane arborée et savane boisée.

Pour ce qui est du niveau d'agrégation, on constate une valeur forte des indicateurs d'agrégation (AI) dans toutes les zones agricoles et à toutes les unités d'occupation du sol. Cette valeur est supérieure à 90 pour toutes les classes d'occupations.

**TROISIEME PARTIE : APPREHENSION
DE LA BIODIVERSITE AGRICOLE A
DIFFERENTES ECHELLES SPATIALES**

CHAPITRE VI : CARACTERISATION DE LA BIODIVERSITE

Dans le chapitre précédent, nous avons vu l'analyse de la diversité du paysage qui était une suite logique du chapitre qu'il a précédé. Le sixième chapitre de notre thèse est consacré à l'approche méthodologique de la construction d'indicateurs de l'agrobiodiversité. Ce chapitre constitue le soubassement pour les chapitres suivants notamment la caractérisation de la biodiversité dans le chapitre 7 et analyse entre les différentes échelles de la biodiversité dans le chapitre 8.

Le sixième chapitre de notre thèse a deux principaux objectifs. Le premier vise à proposer un cadre conceptuel qui débute par un focus sur le concept d'indicateur, ses objectifs, ses caractéristiques et son utilisation. Ensuite une revue des modèles d'indicateurs existants de biodiversité seront analysés à travers leurs objectifs, les contextes dans lesquels ils ont été utilisés, leurs avantages et leurs limites et voir s'ils sont appropriés pour traiter notre problématique. A la fin de cette section, nous exposerons quelques exemples d'indicateurs développés par des organismes comme OCDE (Organisation de coopération et de développement économiques), La convention sur la diversité biologique (CDB) et l'Institut Français de la Biodiversité (IFB).

A la suite de cette revue nous nous sommes inspirés d'un modèle pour développer nos indicateurs de biodiversité agricole. Nous avons recensé deux grands moyens complémentaires pour la définition des indicateurs : le premier dit la démarche déductive fondée sur la théorie et le second qui est la démarche inductive basée sur la pratique.

Le second objectif consiste à définir un cadre opérationnel pour le renseignement des indicateurs ainsi développés. Pour ce faire, nous allons mettre en place un système de tirage aléatoire stratifié pour le choix des villages à enquêter. Nous exposerons dans ce chapitre la méthode d'enquête utilisée pour la collecte des données et leurs traitements pouvant permettre de renseigner les variables d'indicateurs.

6.1. Le cadre conceptuel

Pour que l'approche préconisée pour caractériser la biodiversité agricole soit cohérente, le choix d'un cadre conceptuel est extrêmement important. De même le choix des indicateurs doit obéir à une certaine logique pouvant prendre en compte tous les aspects pour bien caractériser notre objet d'étude. Pour ce faire, il est indispensable de placer les indicateurs dans un cadre conceptuel. Ce qui permettra d'assurer une cohérence d'ensemble par conséquent une meilleure fiabilité des mesures.

6.1.1. Le concept d'indicateur

Pour rappel dans le chapitre 1 consacré à la définition des concepts, nous avons vu que le concept d'indicateur constitue un mot complexe et qu'il est défini de différentes façons suivant les auteurs. Ici nous rappelons la définition de (Turpin, 1993) cité par Boulanger, 2004 l'auteur nous propose de regarder l'indicateur non pas comme « *la simple mesure d'un paramètre mais aussi comme la réponse à une préoccupation sociale relative à un problème identifié, présent ou à venir ; destinée à des acteurs multiples, susceptibles d'avoir des points de vue différents, son interprétation nécessite un consensus* » Cette définition résume bien ce concept qui est à la fois un objet de mesure, pour répondre à une préoccupation et destinée à des acteurs divers et variés.

6.1.1.1. Objectif d'un indicateur

L'objectif recherché par un indicateur est de rendre compte d'une situation et en fonction des domaines d'application il peut :

- Evaluer l'état d'une situation : évaluation des ressources, des politiques, des tendances, du progrès...
- Faciliter la communication entre les acteurs ouvrants dans les mêmes domaines et/ou des domaines différents....
- Donner des informations sur un objet : la qualité de l'eau, le ph du sol par exemples
- Diagnostiquer les dysfonctionnements de l'état d'un objet

6.1.1.2. Les caractéristiques d'un bon indicateur

Les caractéristiques générales que l'on recherche pour un indicateur sont pareilles que pour tout instrument de mesure. Pour Caron, 2005 cité par Soumaré, 2008 Les principales caractéristiques d'un bon indicateur se résument en trois : la simplicité, la comparabilité, la résonance. SEBI, 2010 ajoute à ces caractéristiques la robustesse et la sensibilité fut ajouter par (Girardin 1999 cité par Vilain., 2008).

- **La simplicité** exprime le fait que l'indicateur soit facilement compréhensible et interprétable par les acteurs concernés et ce de façon claire.
- **La comparabilité** donne à l'indicateur l'aptitude à envoyer une image non biaisée du même phénomène dans l'espace et dans le temps.
- **La résonance** Pour ce qui est de la résonance, elle exprime la capacité de l'indicateur à susciter la compréhension et l'intérêt de l'acteur. Le fait que ce compte rendu prenne la forme d'une valeur chiffrée n'est pas un impératif absolu (Zumbiehl, *op cité*). Le souci de simplicité doit aller de pair avec celui de la précision et de la rigueur.
- **La Robustesse** Si l'indicateur manque cette caractéristique, il peut très souvent devenir l'objectif au lieu de refléter l'objet à mesurer.
- **La sensibilité** est l'aptitude à varier rapidement lorsqu'apparaissent des variations, en fonction des actions qu'on met en œuvre.

6.1.1.3. Utilisation des indicateurs

Le concept d'indicateur a d'abord été utilisé dans un contexte purement scientifique, la recherche en sociologie par la suite, il est utilisé dans plusieurs domaines. Les exemples ci-dessous ne sont pas exhaustifs sur les domaines d'utilisations des indicateurs.

- Dans le domaine de l'environnement, plusieurs auteurs (Garrec et Haluwyn 2002, Hess 2006 et Onema 2013) utilisent le bio-indicateur qui est constitué par les espèces végétales, les espèces animales...etc pour rendre compte de l'état de l'environnement.
- Dans le domaine de la biodiversité, les indicateurs sont utilisés pour quantifier la diversité biologique, sa répartition spatio-temporelle, sa richesse, son abondance...etc.
- Dans le domaine économique, plusieurs indicateurs (PIB, PNB, Indice de prix, Taux directeurs ...etc.) permettent d'évaluer la santé économique d'un pays.
- Dans le domaine de l'eau on parle aussi d'indicateurs (Indice de conformité, taux de prélèvement, taux moyen de renouvellement des réseaux d'eau potable) pour caractériser l'état de l'eau.

6.2. Quelques modèles d'indicateurs

En plus de l'évaluation et un meilleur suivi de la biodiversité, d'autres fonctions peuvent être assignées aux indicateurs notamment les fonctions d'améliorations et de gestion tout en tenant compte des contraintes d'espaces et de ressources naturelles disponibles. Pour faire face à ses fonctions, il faut une certaine connaissance des différents mécanismes en jeu et des possibles interactions entre les sociétés humaines et cette biodiversité (Couvét, 2007). L'analyse de ces systèmes peut être facilitée avec un modèle d'indicateur approprié. Ici notre objectif est d'analyser quelques modèles d'indicateurs du point de vue de leurs objectifs, les contextes dans lesquels ils ont été utilisés, de donner les avantages et leurs limites et voir s'ils sont appropriés pour traiter notre problématique et voir aussi quelques exemples d'indicateurs.

6.2.1. Les Modèles d'indicateurs : Modèle PER (Pression Etat Réponse)

Ce modèle d'indicateur a été conçu à l'origine par l'OCDE (Organisation de Coopération et de Développement Economique). L'objectif était de faire des mesures agroenvironnementales (OCDE, 1993) à travers des indicateurs. Le modèle PER comporte trois compartiments correspondant à trois catégories de variables descriptives (Pression, Etat, Réponse). Il part d'un postulat simple : les activités humaines à travers le développement socio-économique exercent des pressions sur l'environnement nature, par conséquent modifie l'état de ce dernier, La société répond à travers des actions individuelles et/ou collectives et des politiques.

- Indicateurs de pression (P)

Les indicateurs de cette catégorie sont issus des facteurs qui sont sources de problèmes environnementaux. On distingue les pressions directes (pollutions, prélèvement) et des

pressions indirectes (activités humaines à l'origine des altérations). Ces indicateurs sont très importants pour la priorisation des interventions.

- **Indicateurs d'état (E)**

Ils décrivent l'état de l'environnement déterminé par les pressions qui s'exerce sur lui. Ils se rapportent à la qualité et la quantité de la diversité génétique, spécifique et écosystémique. Il permet de mesurer à l'instant T l'état d'un système, soit pour le comparer avec un ou des états antérieurs, soit pour mesurer une tendance.

- **Indicateurs de réponse (R)**

Ils illustrent les réponses en matière d'actions ou de politique aux changements décelés dans le système naturel. Pour Levrel, 2007 c'est l'état d'avancement des mesures prises en faveur de la restauration, de la protection et/ou de la gestion des écosystèmes et de la biodiversité. Cependant, la distinction entre l'état de l'environnement et les pressions s'exerçant sur lui est parfois ambiguë et les démarches de mesure de l'état de l'environnement sont souvent impraticables ou très coûteuses.

Avantages et limites de ce modèle

Il s'agit d'un modèle très important pour évaluer la biodiversité les avantages sont les suivant :

- Ce modèle est adaptable dans tous les domaines : Agro-environnemental, économique, industriel...etc.
- Le seul bémol avec ce modèle est qu'il prend en compte que des impacts négatifs sur l'environnement

6.2.2. Modèle DPSIR (Driving forces, Pressures, State, Impact, Reponses)

Ce modèle a été proposé en 1998 par l'Agence Européenne de l'Environnement (AEE, 1998). Ce modèle avait pour objectif d'offrir une meilleure facilitation aux décideurs politiques la représentation et la compréhension de l'information mesurée par les indicateurs. (Vidal et Marquer 2002). Il est plus un modèle d'analyse de prise de décision politique qu'un modèle permettant de faire la distinction entre les indicateurs selon leur domaine : environnemental ou social. Le modèle DPSIR est organisé en thématique: les activités humaines, domaine économique, la consommation, la démographie...et. En complément du modèle PER, le modèle DPSIR met l'accent sur les conditions dans lesquelles s'exercent les pressions sur le milieu (Forces motrices) et dans lesquelles s'expriment les modifications de l'état du milieu (impact).

Avantages et limites de ce modèle

Il s'agit d'un modèle très important pour évaluer la biodiversité les avantages sont les suivant :

- Ce modèle est applicable dans plusieurs domaines mais c'est beaucoup plus développé d'un domaine à l'autre
- Clarté optimale s'il est appliqué aux politiques environnementales (Vidal et Marquer 2002)
- Il permet de concilier des indicateurs de natures différentes sans pour autant utiliser un système d'agrégation (Tonneau, 2009).

Les limites du modèle se résument au fait qu'il est moins clair dans le domaine social et économique.

Ce modèle peut être employé à notre étude à travers ses trois dimensions sur les cinq qui composent ce modèle. Ce sont les mêmes dimensions du modèle PER (Pressures : pression, State : Etat et Reponses : réponse)

6.2.3. Démarche IDEA (Indicateur de Durabilité des Exploitations Agricoles)

Le modèle IDEA est un outil de suivi et d'évaluation de la durabilité des exploitations agricoles. La démarche préconise que chaque indicateur soit expressément suivi de son but (Vilain, 2008) ; c'est donc une démarche par objectif. A la base, elle a été engendrée par un ensemble de personnes de disciplines différentes constitué des agronomes, de socio-économistes et d'écologues appartenant à diverses Institutions (enseignement, recherche, développement).

Destinée à être utilisée par plusieurs acteurs différents notamment les enseignants-chercheurs et les formateurs. Dans sa genèse, elle fut imaginée comme un outil pédagogique à mettre en place auprès des exploitations pour approcher divers concepts en relation avec la durabilité (Briquel, 2001).

Elle compte au total trente-sept (37) indicateurs auxquels elle accorde une note en chiffre, pour apprécier aussi bien les pratiques agricoles, les itinéraires techniques des exploitations, leurs performances économiques et même la perception du Chef d'exploitation de sa situation en relation avec des enjeux de durabilité.

Avantages et limites

- Son plus grand avantage est qu'il fait apparaître les insuffisances techniques et propose des méthodes d'amélioration possible en favorisant l'action au niveau de base dans la prise de décision.
- Elle prend en compte plusieurs dimensions des exploitations agricoles : de la pratique à la consommation en passant par la production
- L'échelle à laquelle les indicateurs sont calculés est très intéressante : l'exploitation agricole
- Plusieurs composants dans les agrosystèmes sont étudiés par la démarche : Agro écologie Socioterritoriale, Économie.
- Le système d'agrégation de ses indicateurs reste la limite principale de cette méthode, car on ne peut qu'additionner les valeurs des différents indicateurs.
- Il manque des indicateurs à chaque composante par exemple les services rendus au territoire et à la société (ZAHM, 2005)

Nous pouvons considérer la démarche IDEA dans notre étude pour deux raisons : l'échelle d'analyse et les composants étudiés. En effet les indicateurs développés par les auteurs n'ont été mis en place pour être appliqués à une échelle assez fine notamment les exploitations agricoles ce qui est notre cas. Et pour ce qui est de la seconde raison, nous nous intéressons à plusieurs déterminants de la pratique jusqu'à la commercialisation.

6.2.4. Indicateurs de la biodiversité agricole de la CDB

« Les indicateurs de biodiversité sont des mesures quantifiées et répétables de l'état de la biodiversité liant cet état aux pressions anthropiques d'une part, aux réponses de la biodiversité et des sociétés d'autre part » (Couvét, 2010). Les indicateurs peuvent être élaborés dans nombreux domaines. Ainsi, pour cet est de l'agrobiodiversité, il existe de nombreux indicateurs y affèrent. La plupart de ses indicateurs ont été construit par les organismes tels que (OCDE), les institutions françaises de Biodiversité (IFB) et le Ministère des Affaires Etrangères, (MAE) on trouve également des Programmes de recherche comme SEBI (programme de Rationalisation des indicateurs européens de la biodiversité, 2010) et les indicateurs de la convention sur la diversité Biologique (CDB).

A la suite de la tenue du sommet de Rio en 1992 sur la diversité biologique, plusieurs d'indicateurs ont été développés par des Organismes et Institutions Internationaux cités plus haut. Mais force est de constater que ces indicateurs n'avaient pas les mêmes objectifs. En effet, pour les indicateurs développés par la convention sur la diversité biologique, le principal objectif était de suivre la dynamique de conservation de la biodiversité dans les pays. C'est dans ces ordres idées qu'on retrouve parmi les indicateurs développés par la CDB un récapitulatif de ces indicateurs dans le (**Tableau 37**). Dans ce tableau nous avons deux grandes catégories d'indicateurs, la première concerne des indicateurs pour l'utilisation immédiate et la seconde a trait aux indicateurs qui pourraient être expérimentés. Pour le premier type, il concerne principalement des indicateurs les plus communément utilisés pour évaluer l'état de la diversité et de l'abondance dans les exploitations agricoles. Pour le second, il n'est qu'une voie d'excursion pour le développement des indicateurs futurs.

Tableau 37 : Indicateurs de la biodiversité agricole de la CDB

Domaines prioritaires	Indicateurs pour utilisation immédiate	Indicateurs qui pourraient être testés
Maintien de la structure : éléments constitutifs de la diversité biologique	Occupation des sols	Etat de conservation des espèces menacées (Indicateur Liste Rouge)
	Abondance et diversité de groupes	Diversité génétique des animaux domestiques, plantes cultivées,

Source : Levrel, 2007

6.2.5. Les indicateurs de biodiversité agricole de l'Institut Français de la Biodiversité (IFB).

L'objectif premier des indicateurs développés par l'IFB est le suivi de la biodiversité qui fait partie intégrante de l'objectif du développement durable.

Tous les indicateurs de biodiversité développés par l'IFB ont été faits avec le soutien du programme de Rationalisation des indicateurs européens de la biodiversité (SEBI) en 2010. Ces deux (Institut et le programme) se sont inspirés à leurs tours des indicateurs élaborés dans

le cadre de la Convention sur la diversité biologique (CDB). Néanmoins, il faut signaler que l'indicateur sur la diversité des ressources génétiques (races animales d'élevage et de variétés cultivées) a été élaboré par l'IFB.

L'indicateur fournit les renseignements sur le nombre de races animales d'élevage et/ou de variétés cultivées, donnant ainsi une estimation de la diversité génétique utilisée dans le domaine agricole (Levrel, 2006).

6.2.6. Indicateurs de biodiversité agricole de l'OCDE

L'OCDE, est sans doute et de loin l'Organisation ayant travaillé le plus sur les indicateurs de biodiversité. En particulier il est aussi le seul à avoir développé de façon plus approfondie les Indicateurs de la Biodiversité Agricole (IBA). L'objectif ultime des IBA de l'OCDE est de servir d'une base d'informations solide sur l'état et dynamique de l'agrobiodiversité. Dans le cadre de ses analyses, l'organisation a mis en place au total quatre catégories d'indicateurs (OCDE, 2001).

- 1) Quantité totale de variétés végétales cultivées ou de races animales d'élevage et leur part dans la production agricole et en danger, y compris les variétés et races indigènes et non indigènes.
- 2) Le pourcentage des variétés cultivées dans la production totale pour différentes cultures.
- 3) Le pourcentage des différentes races d'élevage dans les effectifs totaux pour les catégories d'animaux correspondantes notamment (bovins, porcins, volaille, ovins....etc.).
- 4) Nombre d'espèces disponibles et d'entrées (spécimens) conservées in situ et ex situ dans les différents pays.

6.3. La construction des indicateurs de biodiversité

Les indicateurs de biodiversité sont des mesures quantifiées et répétables de l'état de la biodiversité liant cet état aux pressions anthropiques d'une part, aux réponses de la biodiversité et des sociétés d'autre part (Couvet., 2010). Ils peuvent être élaborés dans plusieurs domaines. Ainsi, il existe de nombreux indicateurs dans le domaine de la biodiversité agricole. La majeure partie des indicateurs de la biodiversité agricole a été élaborée par les organismes de développement (OCDE), des institutions (IFB, MAE), des programmes de recherche (SEBI,2010 : Streamlining European Biodiversity Indicators towards 2010), de la Convention sur la diversité Biologique (CDB) etc.

6.3.1. Notre choix du cadre conceptuel pour les indicateurs de biodiversité agricole

Le constat majeur qui se dégage de la revue de littérature est qu'à part OCDE qui traite singulièrement la problématique des indicateurs d'agrobiodiversité, les autres instituts, organisations et programmes n'abordent que partiellement la problématique de la biodiversité agricole. Presque l'ensemble des documents sont sur la diversité biologique des plantes

sauvages ou des animaux (Kapoury 2011). A la suite de l'analyse des différents modèles ci-dessus, le modèle qui s'apparente le mieux avec notre problématique est le modèle PER (Etat, Pression et Réponse).

En effet, dans l'optique de caractériser et de suivre l'état de la biodiversité, nous nous sommes inspirés de ce modèle parce qu'en plus de rendre compte de l'état de la biodiversité, cette démarche permet d'apprécier les menaces qui pèsent sur la biodiversité agricole. Enfin cette approche donne l'occasion d'appréhender les réponses à travers les résultats obtenus par les agriculteurs.

6.3.2. Choix de la construction des indicateurs

Après le choix du modèle PER nous avons recensé deux grands moyens complémentaires pour la définition des indicateurs : le premier dit la démarche déductive fondée sur la théorie et le second qui est la démarche inductive basée sur la pratique (Winograd, 2006). Boulanger (2004, *op cité*) en s'appuyant sur les travaux de Lazarsfeld, (1958) permet de combiner les démarches déductive et inductive, montre que la construction des indicateurs peut se dérouler en quatre grandes étapes consécutives (Figure 31) :

- la définition du concept et sa transcription en dimensions,
- la dissociation des dimensions en variables,
- la mesure des variables
- et l'agrégation des variables en indices.

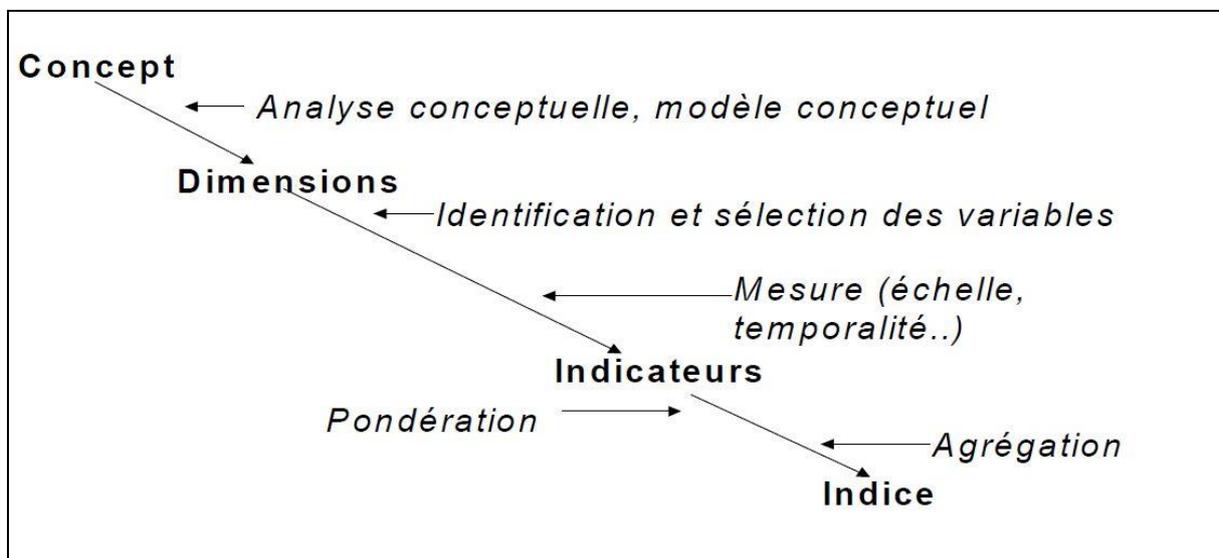


Figure 31 : Du concept aux indices (Lasarsfeld, 1958), in Boulanger (2004, *op cité*).

C'est de cette démarche que nous sommes inspirées pour construire des indicateurs de biodiversité agricoles dans les zones cotonnières. Aux quatre étapes de cet auteur nous en avons ajouté deux autres : le test et la validation et l'appropriation par les acteurs. L'application de la démarche nous permet d'identifier 21 indicateurs.

6.3.3. Les indicateurs retenus

Dans cette première étape de la démarche de (Lasarsfeld, 1958) il s'agit de définir le concept, et d'en identifier les différentes dimensions qui peuvent être nombreuses. Dans le contexte de cette étude, comme souligné dans le chapitre 1, nous abordons la biodiversité comme « diversité biologique agricole ou agrobiodiversité » désigne de façon générale « tous les éléments constitutifs de la diversité biologique qui constituent l'agrosystème : la variété et la variabilité des animaux, des plantes, des micro-organismes aux niveaux génétiques, spécifiques et écosystémiques nécessaires au maintien des fonctions clés de l'agrosystèmes, de ses structures et de ses processus » INRA, 2008

L'agrobiodiversité peut être décomposée en de nombreuses dimensions en fonction de l'échelle d'analyse. Mais conformément à notre choix du modèle PER nous avons observé la biodiversité selon trois dimensions : son état, la pression exercée sur elle et les réponses correspondantes aux pratiques. Ces dimensions sont observables à plusieurs échelles qui sont ; le paysage, le village, l'exploitation agricole et le système de culture.

Sur cette base, à l'échelle du paysage où l'on peut trouver les classes d'occupation qui composent ce paysage, ensuite les différentes tâches que renferme chaque classe. A l'échelle de l'exploitation on peut avoir les espèces animales ou végétales qui peuvent être analysées au niveau spécifique, variétal ou même génétique (Figure 31).

Les différentes dimensions à leurs tours sont par la suite décomposées en variables et certaines de ces variables seront maintenues comme indicateurs. Et ceux-ci à cause de leurs pertinences ou parce qu'elles sont facilement mesurables. Si la sélection des indicateurs s'appuie souvent sur une appréciation des contraintes d'observation et de mesure, elle comporte néanmoins toujours des éléments théoriques (Soumaré, 2008). Ainsi, le nombre d'indicateurs et leurs échelles d'observations vont varier en fonction des dimensions que nous avons retenues : Etat, Pression et Réponse. Par exemple au niveau du paysage on peut avoir le nombre de classe, de taches, la diversité au sein de la classe ou des taches et l'ensemble de ces indicateurs ne sont relatifs qu'à la dimension Etat à l'échelle du paysage.

6.3.3.1. Les indicateurs d'Etat

Au total cinq indicateurs d'état ont été développés pouvant permettre de caractériser l'état de biodiversité à l'échelle de l'exploitation et du village (**Tableau 38**). En plus de ces indicateurs, trois autres ont été choisis cette fois ci pour caractériser la biodiversité au niveau du paysage.

- Indicateur de diversité spécifique
- Indicateur de diversité des Systèmes de Culture
- Indicateur de diversité variétale
- Indicateur de présence de la variété
- Indicateur de Production de la variété
- Indice de Shannon
- Indice de Simpson
- Indice d'agrégation

Tableau 38 : Les indicateurs d'état

Indicateur	Variable	Formule	Echelle
Indicateurs d'Etat: Comprendre la biodiversité			
Indicateur de diversité spécifique	Nombre d'espèce cultivée dans Exploitation	$\frac{V1}{V2}$	Exploitation
	Nombre Espèces Cultivée par village	$\frac{V1}{V2}$	
Indicateur de diversité des Systèmes de Culture	Nombre de SC pratiqué dans le village	$\frac{V1}{V2}$	Exploitation
	Nombre de SC pratiqué par exploitation		
Indicateur de diversité variétale	Nombre Variétés/Espèce Exploitation	$\frac{V1}{V2}$	Exploitation et village
	Nombre Variétés Espèce Village		
Indicateur de présence de la variété	Nombre Exploitation Village	$\frac{V2}{V1}$	Village
	Nombre Exploitation cultivant la variété		
Indicateur de Production de la variété	Production Totale espèce	$\frac{V1}{V2}$	Exploitation Village
Indice de diversité de Shannon	Unité d'occupation du sol	$SHDI = - \sum_{i=1}^m (P_i \times \ln P_i)$	Paysage
Indice de diversité de Simpson	Unité d'occupation du sol	$SIDI = 1 - \sum_{i=1}^m P_i^2$	Paysage
Indice d'agrégation	Unité d'occupation du sol	$AI = \left[\frac{g_{ii}}{\max g_{ii}} \right] (100)$	Paysage

Légende : V= Variable, SC = Système de Culture

6.3.3.2. Les indicateurs de pression

Pour ce qui est des indicateurs de pression (Tableau 39), six menaces ont été identifiées il s'agit :

- Indicateur de menace sur la diversité variétale
- Indicateur de pression sur la diversité variétale 2
- Indicateur de pression sur la diversité spécifique existante 1
- Indicateur de pression sur la diversité spécifique existante 2
- Indicateur de pression spécifique 1
- Indicateur de pression spécifique 2

Tableau 39 : Les indicateurs de pression

Indicateur	Variable	Formule	Echelle
Indicateurs de Pression: Identifier les menaces qui pèsent sur la biodiversité			
Indicateur de menace sur la diversité variétale	Surface Totale Variété	$\frac{V2 + V3}{V1}$	Exploitation et village
	Surface Totale Femme		
	Surface Totale Champ Individuel		
Indicateur de pression sur la diversité spécifique existante 1	Nombre d'espèces adoptée 5 ans	$V1$	Exploitation Village
	Nombre Espèces Totale antérieures 5 ans	$V2$	
Indicateur de pression sur la diversité spécifique existante 2	Surface Espèces nouvelles 5 ans	$V1$	Exploitation et Village
	Surfaces autres espèces	$V2$	
Indicateur de pression sur la diversité variétale 2	Surfaces nouvelles variétés 5 ans	$V1$	Exploitation et Village
Indicateur de pression spécifique 1	Surface totale cultivée d'une espèce	$\frac{V1}{V2}$	Exploitation et Village
	Surface totale de toutes les espèces cultivées		
Indicateur de pression spécifique 2	Nombre de parcelles cultivées d'une espèce		Exploitation et

	Nombre de parcelle cultivée des autres espèces	$\frac{V1}{V2}$	Village
--	--	-----------------	---------

Légende : V= Variable

6.3.3.3. Les indicateurs de réponses

Les indicateurs de réponses sont de trois ordres : l'indicateur d'adaptabilité des variétés, le rendement et sa stabilité et les usages liés aux espèces et variétés (Tableau 40).

- Rendement
- Adaptabilité
- Stabilité du Rendement
- Indicateur d'usage variété
- Indicateur d'usage spécifique

Tableau 40 : Les indicateurs de réponses

Indicateur	Variable	Formule	Echelle
Réponse: Valoriser la biodiversité (résilience, production autoconsommée)			
Rendement	Surface Cultivée variété	$\frac{V2}{V1}$	Exploitation et Village
	Production Variété		
Adaptabilité	Durée du cycle de la variété	$\frac{V2}{V1}$	Village
	Durée de la saison des pluies de la zone		
Stabilité du Rendement	Ecart type Rdt variété	$\frac{V2}{V1}$	Village
	Ecart type Rdt Espèce		
Indicateur d'usage variété	Nombre usage variété	$\frac{V1}{V2}$	Village
	Nombre usages liés à l'espèce		
Indicateur d'usage spécifique	Nombre d'usage spécifique de la variété	$V1$	Village

Légende : Rdt = Rendement ; V= Variable, SC = Système de Culture

Une fois les indicateurs définis, ceux-ci doivent faire l'objet de mesure. Mais il reste alors à décider à quel niveau de précision, d'exactitude, d'échelle spatio-temporelle, ainsi que dans quelles unités nous allons effectuer ces mesures. Dans la plupart des cas, les indicateurs ne posséderont pas le même degré d'exactitude et ne seront même pas mesurés dans des unités semblables, ce qui peut compliquer incontestablement le processus d'agrégation des mesures en un indice synthétique. Il s'avère souvent indispensable de ramener les unités et les échelles de mesure au niveau le plus élémentaire et le moins exigeant avec tout ce que cela contiennent en ce qui est de la perte en information. Et enfin les mesures peuvent mobiliser des démarches et des outils multiples et complexes. Dans le cadre de cette étude par exemple, si pour les indicateurs à l'échelle des exploitations agricoles ou des villages, les mesures peuvent se faire à travers des enquêtes de terrain, pour renseigner les indicateurs de paysage nécessité d'autres types d'observation : recueil et analyse des images satellites.

L'étape finale et qui est indispensable dans le cadre de la mise en place des indicateurs consiste à agréger les différents indicateurs en un indice synthétique. Un indice par définition est un indicateur synthétique construit en agrégeant d'autres indicateurs dits de base. (Soumaré 2008)

Une fois conçu, les indicateurs doivent être validés. Valider les indicateurs consiste à vérifier s'ils atteignent les objectifs pour lesquels ils ont été créés. Une première validation peut se faire au niveau de l'expert ou chercheur qui conçoit les indicateurs. Pour cette, étude Les indicateurs ont été testés et validés dans en zone cotonnières du Mali dans les villages de Siramana dans la zone hétérogène en équilibre, Kaniko dans le vieux bassin cotonnier et Kanian dans la zone Nord-soudano sahélienne. Des enquêtes par questionnaires ont été réalisées pour renseigner les indicateurs ainsi développés. Ces deux tests confirment la transposabilité des indicateurs développés en des endroits différents en terme de capacité à être renseigné mais aussi à rendre compte de la biodiversité agricole selon les dimensions : Etat, Pression et Réponse à l'échelles des exploitations agricoles et des villages.

6.3.4. Retour des acteurs sur les indicateurs retenus

Une étape plus intéressante mais plus complexe est l'appropriation des indicateurs et la définition de seuil critique. Les principaux acteurs au cœur de la gestion de la biodiversité agricole au sud du Mali sont des exploitations agricoles. Elles sont accompagnées par ce qu'on appelle généralement le « conseil agricole » composé de services techniques de l'Etat, d'ONG et de projets.

Lors de la validation de notre méthode par les agriculteurs, au moyen d'un atelier d'appréciation, nous leur avons présenté différents graphiques de validation par l'utilisateur. Des groupes de travail ont été formés réunissant chacun des agriculteurs, des chercheurs et des partenaires techniques et financiers (Figure 32). Il s'agit d'un processus de rétroaction entre les usagers (les agriculteurs) et les concepteurs de l'indicateur. L'étape de validation par

l'usager a servi particulièrement à s'assurer que les indicateurs sont bien compris et que les résultats sont bien interprétés (Figure 32).

La question relative aux seuils critiques avait animé les débats entre les principaux acteurs de la gestion de la biodiversité agricole au sud du Mali lors de l'atelier de validation des indicateurs. Il s'agissait pour cette étape de définir un seuil critique sur une échelle de un à dix. Après quinze à vingt minutes de travail de groupe sur la question, nous avons défini les seuils comme suit : entre 1 à 3 le seuil est critique, de 4 à 5 le seuil est moyen et de 6, 7 et 8 le seuil est bon (Figure 32 et Figure 33). Tout le monde était unanime sur le fait qu'il était très difficile de trouver dans une exploitation agricole toutes les espèces, variétés ou systèmes de cultures pratiqués dans le village.



(1)



(2)



(3)

Figure 32: Photos d'atelier de validation des indicateurs

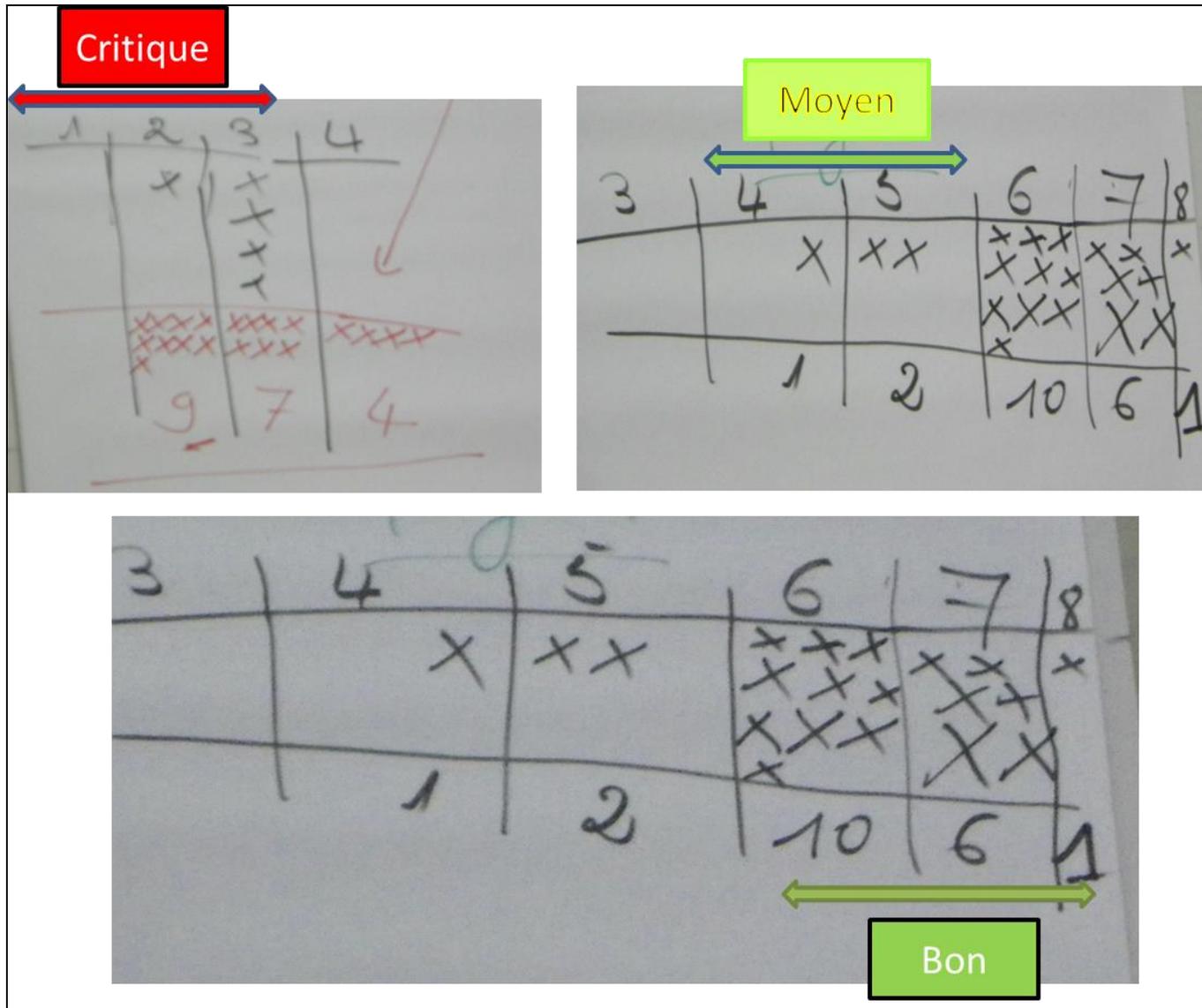


Figure 33 : Méthode de seuil

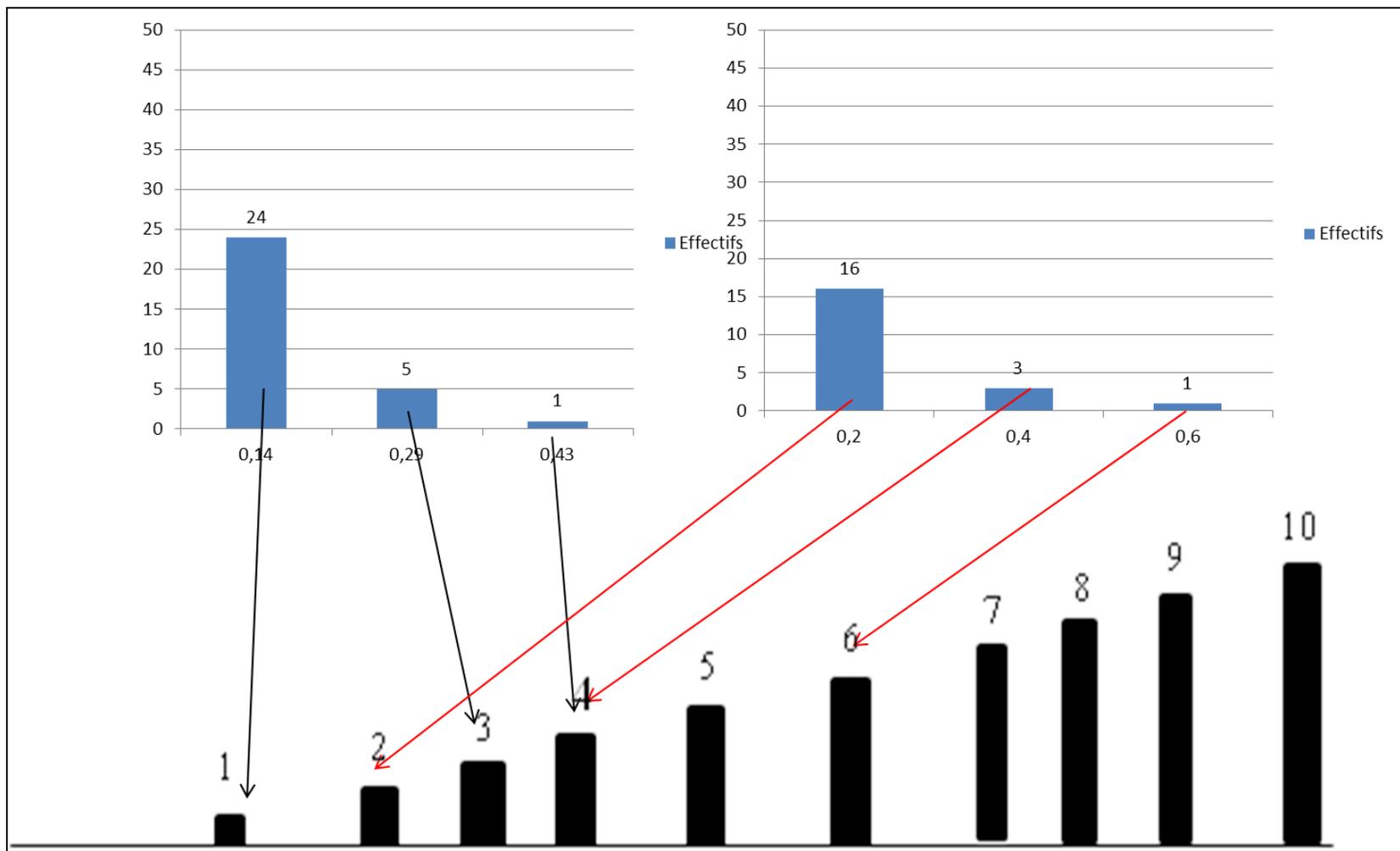


Figure 34 : méthodes de seuils et quelques exemples de résultats

6.4. Cadre opérationnel

Pour réunir les informations nécessaires afin de renseigner les indicateurs, notre démarche a d'abord consisté à définir la structure des enquêtes indispensables à la collecte des données brutes auprès des agriculteurs sur le terrain. Cette structure résulte des variables de renseignement nécessaires pour répondre aux questions de recherche. Sur la base des besoins d'informations.

6.4.1. Echantillonnage

Le choix de l'échantillonnage est le système de tirage aléatoire stratifié en fonction de la surface de chaque région agricole et par unité paysagère. Le nombre de village a été proportionnel à la surface des régions agricoles et chaque unité paysagère a été prise en compte. Le taux de sondage des exploitations dans chaque village est de 18 exploitations.

La proportion des surfaces en kilomètre carré de chaque région agricole a été calculée en fonction de la superficie totale des régions. Sur la base de cette proportion, nous avons calculé le nombre de village à choisir pour chaque région en arrondissant le résultat. L'échantillonnage a été effectué sur trois grandes régions agricoles (vieux bassin cotonnier, la zone hétérogène en équilibre et la zone d'extension du sud) plus une partie Nord de la zone Nord soudano-sahélienne notamment la limite d'isohyète 800 mm où le système de culture est basé sur les céréales. Ces régions sont subdivisées à leurs tours en petites régions agricoles (Tableau 41).

Tableau 41: Nombre de villages en fonction de la superficie de chaque région agricole

Cercle	Région	Code ZAER	Superficie	Proportion	Nbre village échantillon	Nombre total villages
Dioila	Koulikoro	VB	32059	42	12	900
Sikasso	Sikasso	ZT	3467	5	1	68
Sikasso	Sikasso	ZDS	12237	16	5	404
Dioila	Koulikoro	BKK	9376	12	4	272
Bougouni	Sikasso	ZVB	8236	11	4	219
Kadiolo	Kadiolo	K	5293	7	2	123
Baraouéli-San	Ségou	Iso800	5276	7	2	323
			75944	100	30	2309

Légende : VB= Vieux Bassin ; ZDS : Zone de Diversité de Sikasso ; K = Kadiolo ; Iso800 = limite d'isohyète 800 mm

Une fois le nombre de village déterminé pour chaque petite région agricole, nous avons procédé à l'échantillonnage sous l'outil d'échantillonnage spatiale « Sampling Design Tools »

sous ArcGIS (Figure 35). Nous avons procédé à une jointure spatiale entre la couche contenant les villages et celle de la diversité paysagère.

Cette opération a permis d'ajouter à l'attribut de la couche village, les informations de diversité paysagère notamment les unités de paysages. Nous nous sommes servis de cette nouvelle couche des villages issue de la jointure pour l'échantillonnage.

A l'issue de la mise en œuvre de ces outils et méthodes, nous avons choisi les trente villages qui sont dans la Figure 36 et Tableau 42.

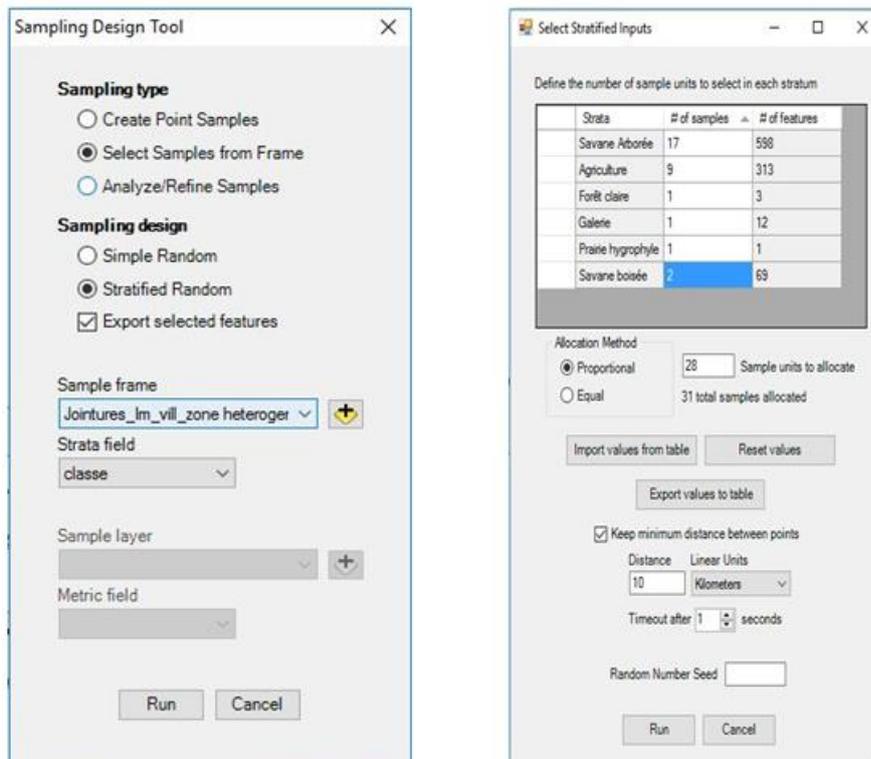


Figure 35 : Echantillonnage avec Sampling Design Tools

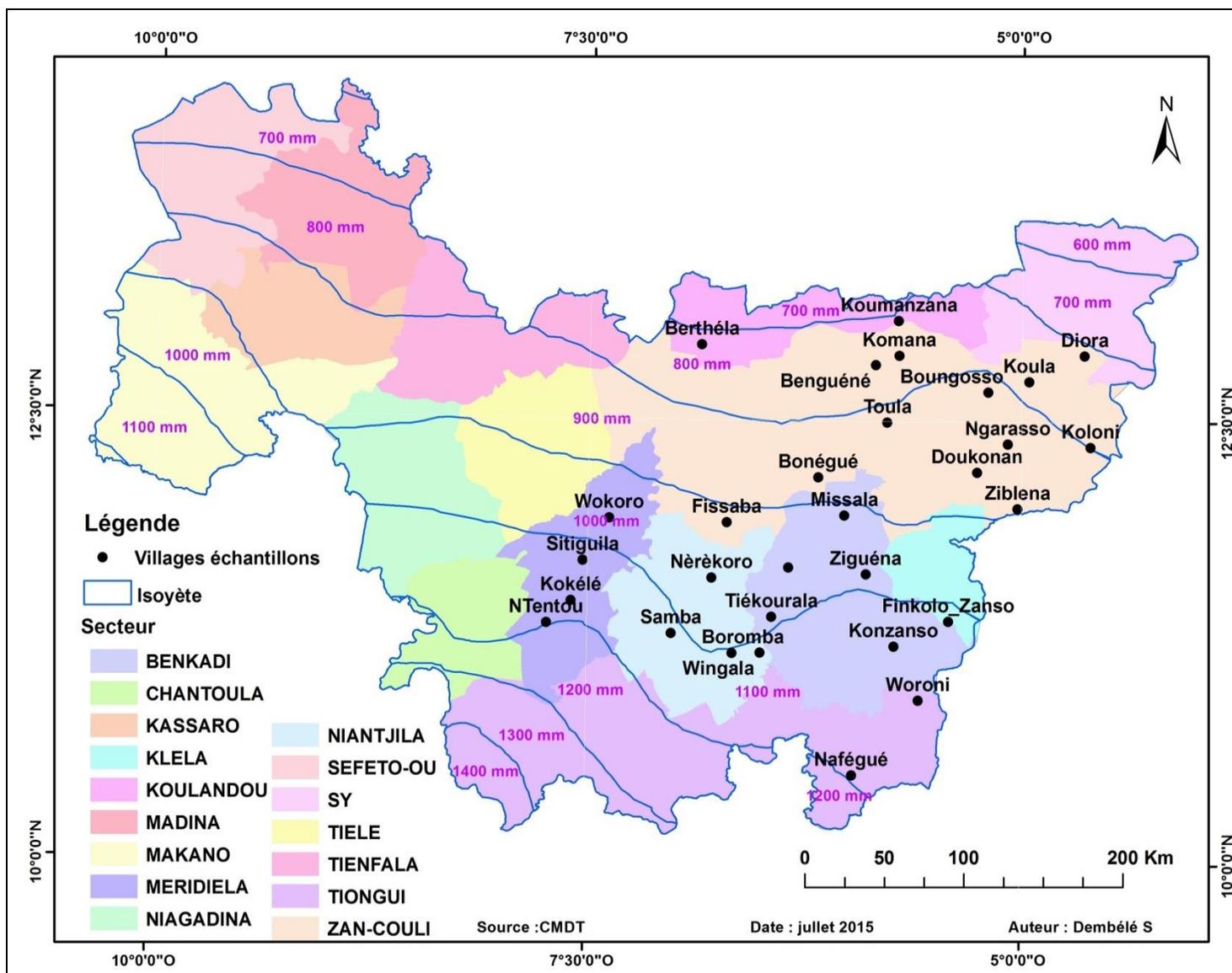


Figure 36 : Cartographie des villages échantillons

Tableau 42: La liste des villages échantillons

Numéro	Nom village	Nom Commune	Secteur CMDT	Filiale	Longitude	Latitude	Classe occupation
1	Bonégué	Bonégué	Béléko	Filiale Centre	-6,173028	12,182010	Agriculture
2	Ntjila_Finyana	Kaladougou	Dioïla	Filiale Centre	-6,931063	12,513069	Agriculture
3	Berthéla	Kalaké	Konobougou	Filiale Centre	-6,854119	12,924010	Agriculture
4	Fissaba	Massigui	Massigui	Filiale Centre	-6,698546	11,922455	Agriculture
5	Komana	Bla	Bla	Filiale Nord Est	-5,709881	12,872181	Agriculture
6	Koumanzana	Touna	Bla	Filiale Nord Est	-5,716844	13,068790	Agriculture
7	Benguéné	Benguéné	Bla	Filiale Nord Est	-5,844980	12,818240	Savane Arborée
8	Ziblena	Ourikila	Karangana	Filiale Nord Est	-5,019069	12,012528	Savane Arborée
9	Diora	Diora	Kimparana	Filiale Nord Est	-4,635723	12,878685	Agriculture
10	Koula	Kassorola	Kimparana	Filiale Nord Est	-4,956070	12,730380	Agriculture
11	Doukonan	Koningué	Molobala	Filiale Nord Est	-5,254602	12,216663	Agriculture
12	Toula	Ntossoni	MPessoba	Filiale Nord Est	-5,776916	12,495036	Agriculture
13	Koloni	Boura	Yorosso	Filiale Nord Est	-4,599147	12,361924	Savane Arborée
14	Boungosso	Koromo	Zébala	Filiale Nord Est	-5,193710	12,670293	Agriculture
15	Ngarasso	Zébala	Zébala	Filiale Nord	-5,078724	12,376623	Savane Arborée

				Est			
16	NTentou	Kouroulamini	Bougouni	Filiale Sud	-7,729507	11,346574	Savane Arborée
17	Satiguila	Sido	Bougouni	Filiale Sud	-7,525807	11,700502	Savane Arborée
18	Ziguéna	Doumanaba	Bougouni	Filiale Sud	-5,892400	11,637600	Savane Arborée
19	Kokélé	Kokélé	Bougouni	Filiale Sud	-7,591300	11,471300	Savane boisée
20	Vokoro	Dogo	Dogo	Filiale Sud	-7,375497	11,939911	Savane Arborée
21	Kambéréké	Fourou	Kadiolo	Filiale Sud	-6,063019	10,627345	Agriculture
22	Woroni	Loulouli	Kadiolo	Filiale Sud	-5,586742	10,926676	Agriculture
23	Nafégué	Dioumaténé	Kadiolo	Filiale Sud	-5,965800	10,501700	Savane Arborée
24	Siramana	Fama	Kléla	Filiale Sud	-5,719310	11,644310	Savane Arborée
25	Samba	Kébila	Kolondièba	Filiale Sud	-7,012980	11,295012	Agriculture
26	Boromba	Kolondièba	Kolondièba	Filiale Sud	-6,661579	11,185297	Savane boisée
27	Winkala		Koumantou	Filiale Sud	-6,500000	11,190000	Agriculture
28	Nérékoro	Koumantou	Koumantou	Filiale Sud	-6,782250	11,609892	Agriculture
29	Ziékorodougou	Finkolo	Sikasso	Filiale Sud	-5,397496	11,151117	Savane Arborée
30	Finkolo_Zanso	Dandéresso	Sikasso	Filiale Sud	-5,414337	11,374568	Savane Arborée

6.4.2. Les questionnaires

Deux types de questionnaires ont été administrés dans chaque exploitation. Il des fiches exploitations et des fiches champs.

6.4.2.1. Fiche exploitations

Nous avons commencé par administrer un questionnaire pour avoir des informations d'ordre générales sur l'exploitation agricole. Il a porté sur un ensemble de variables caractéristiques des exploitations agricoles de la zone cotonnière. Ces variables concernent : la taille et les différents champs dont dispose l'exploitant. Pour la taille nous avons retenu la population, actifs agricoles, non agricoles. Les variables sur les champs dont disposent exploitant concernent la localisation de chaque champ, sa superficie et la durée d'exploitation (Annexe 1).

6.4.2.2. Fiche champs

Le suivi des pratiques a pour objectif d'analyser, de façon assez fine, les pratiques agricoles et d'évaluer les résultats sur le plan technico-économique. Il s'agit d'identifier les systèmes de cultures pratiqués, les itinéraires techniques et les performances des systèmes de production. Après l'inventaire des assolements de l'année en cours, on retrace l'histoire de la parcelle sur les trois dernières années (culture, engrais et production). Il faut expliquer le contenu de la fiche et mettre un exemplaire (Annexe 2)

Une mission de terrain a été organisée à cet effet pour d'une part introduire l'administration du questionnaire avec les étudiants enquêteurs et d'autres par repartir les enquêteurs dans les zones respectives. Le schéma était de faire quelques villages en compagnie de tous les enquêteurs pour leur enseigner comment bien tenir de l'introduction dans le milieu producteur à l'administration des fiches d'enquêtes. Enfin, ils étaient chargés d'évoluer seul dans la cueillette des données.

6.4.2.3. La saisie et le contrôle des données

Une fois la phase de terrain terminée, les fiches d'enquêtes ont été vérifiées une par une et les petites fautes d'orthographe furent corrigées. La base était déjà prête. La saisie informatique a été réalisée sur le logiciel Access©. Les tables et masques de saisie ont été réalisés juste après que les étudiants soient rentrés du terrain. Une base de données relationnelle est celle qui facilite la saisie, réduit les risques d'erreur et facilite le traitement. Les masques de saisie ont été conçus de manière à reproduire exactement le questionnaire d'enquête afin de faciliter la saisie et réduire les risques d'erreur. La base de données a été conçue de manière à ce que les étudiants puissent choisir dans une liste déroulante toutes les réponses déjà présentes.

Si par inattention ils saisissent autres choses, la base refuse systématiquement et un message d'erreur s'affiche sur l'écran. Chaque étudiant saisit ses propres fiches d'enquêtes de manière à minimiser la perte de temps car chacun est censé déchiffrer facilement sa propre écriture.

A la suite des saisies, les bases de données ont été compilées et quelques requêtes effectuées pour contrôler la qualité.

6.4.2.4. Analyse des données

Les données collectées donnent naissance à deux types d'analyse : la caractérisation sur la base des indicateurs de biodiversité et l'agrégation de ces indicateurs à différentes échelles. Il s'agit plus explicitement de calculer les d'indicateurs. Les analyses ont porté sur la constitution des classes, le calcul des valeurs centrales (moyenne et médiane) et les paramètres de dispersion comme, le minimum, le maximum et l'écart type.

6.5. Synthèse du chapitre VI

Ce chapitre a traité la démarche méthodologique de la mise en place des indicateurs de la biodiversité agricole. Dans un premier temps nous avons fait une analyse de la littérature existante des modèles d'indicateurs de biodiversité. Il ressort de cette revue une abondance de modèle d'indicateur en matière de diversité biologique mais ceux traitant de la problématique relative à l'agrobiodiversité sont très rares. Seul l'Organisation de la Coopération et de Développement Economique (OCDE) traite cette problématique. Les autres ne traitent qu'accessoirement la question de l'agrobiodiversité.

A la suite de la revue, nous avons élaboré les indicateurs de biodiversité en s'appuyant sur la démarche IDEA (Indicateur de Durabilité des Exploitations Agricoles) et le modèle de PER (Pression Etat Réponse) et en suivant la démarche de la construction des indicateurs de Lasarsfeld, 1958. Pour la mise en place des indicateurs à travers cette démarche, nous partons des concepts à la dimension, de la dimension aux indicateurs et des derniers aux indices.

Une fois la mise en place des indicateurs achevés il fallait recueillir des données pour renseigner ces indicateurs. Dans cet ordre d'idée, nous avons mis en œuvre un système d'échantillonnage aléatoire stratifié en fonction de la proportion des surfaces des régions agricole et de la diversité paysagère pour le choix des villages à enquêtés. Au total, une trentaine de village a été choisi. Dans chaque village, dix-huit exploitations agricoles ont été choisies aléatoirement sur la liste de toutes les exploitations du village. Deux types de questionnaires ont été administrés, le premier permettait d'avoir des informations d'ordres générales sur les exploitations et le second questionnaire permettait de capter des informations assez fines sur les champs.

Ces données collectées ont permis de faire des analyses afin de calculé les variables le nombre d'espèce cultivée dans chaque exploitation, le nombre de système de culture pratiqué dans le village, la production totale des espèces....etc. ces différentes variables ont permis de calculées les indicateurs.

Les résultats issus de ces analyses de données sont présentés dans le chapitre subséquent (chapitre 7). Il expose les résultats des trois types d'indicateurs notamment les indicateurs d'états, de pressions et de réponses.

CHAPITRE VII : LA MESURE DE LA BIODIVERSITE AGRICOLE

Depuis le Sommet de la terre de Rio 1992 et la conférence de Johannesburg 2005, le suivi de la biodiversité est reconnu comme urgent et nécessaire. Mais il pose des difficultés d'une grande complexité. Il est quasi impossible d'appréhender exhaustivement et de suivre la biodiversité dans son ensemble pour des zones vastes. Pour le seul domaine des espèces, seules 1,4 million d'espèces ont été identifiées sur un potentiel estimé à plus de 15 à 100 millions à l'échelle mondiale (Kapoury 2011). Parmi ces espèces, seules quelques milliers sont absolument bien suivis. Dans le système de suivi de la biodiversité, on cherche donc à avoir une idée réaliste de la situation à travers un certain nombre d'indicateurs appropriés. Ces indicateurs ont été définis dans le chapitre précédent. Ceux-ci doivent donner une représentation juste de l'état de la biodiversité, des pressions qu'elle subit et de la pertinence des réponses apportées par les actions humaines de protection de la nature.

Dans le chapitre précédent, la conception a identifié 21 indicateurs repartis en trois selon trois dimensions. Parmi cette palette d'indicateurs six ont été retenus retenu pour d'une part caractériser la biodiversité agricole à l'échelle des exploitations agricoles et leur territoires et d'autre part confirmer la robustesse et la pertinence des indicateurs propose caractériser et suivre l'agrobiodiversité. Deux indicateurs ont été retenus pour chaque dimension : Etat, Pression et Réponse.

7.1. Les indicateurs d'Etat

Ils mesurent à l'instant « T » l'état d'un système, soit pour le comparer avec un ou des états antérieurs, soit pour le comparer ensuite avec des mesures successives pour mesurer une tendance. Ces indicateurs se rapporteront tant que possible, à la qualité et à la quantité. Ils traduisent l'état de l'environnement et son évolution.

7.1.2. L'Indicateur de diversité spécifique

Cet indicateur rend compte de la diversité des espèces culturales présentes dans chaque exploitation par rapport au potentiel de diversité d'espèce auquel cette exploitation a accès. Il est le rapport entre le nombre d'espèces cultivées dans chaque exploitation et le nombre total d'espèces cultivées dans le village. Il est mesuré à l'échelle de l'exploitation agricole et rend compte donc à ce niveau de la diversité des espèces présentes dans l'exploitation en rapport avec la diversité présentes dans le village (ensemble des exploitations). La valeur est inférieur ou égal 1 et plus elle est proche de 1, plus il y a de diversité.

Globalement, les valeurs moyennes de l'indicateur de diversité spécifiques les plus élevées c'est-à-dire les valeurs supérieures à 0,50 sont enregistrées dans les villages où la moyenne pluviométrique est comprise entre 700 à 1000 mm d'eau. Il s'agit de (Bonégué, Boungosso, Diora, Doukougnonan, Fissaba, Koloni, Koula, Nérékoro, Toula, Vokoro et Ziblena). Ces localités représentent 90% de la zone.

Dans ces villages, on cultive plus de la moitié des espèces culturales sur l'essentiel des exploitations. La culture de plusieurs espèces permet aux exploitants de répartir les risques économiques et environnementaux entre les différentes spéculations. A cet effet la diversité conduit aussi à un éparpillement des efforts, et en conséquence celui des résultats moins importants.

Les villages qui ont une pluviométrie dépassent les 1000 mm d'eau par an se caractérisent par une faible diversité spécifique. Ici les risques environnementaux sont moindres, donc les exploitants concentrent leurs efforts sur quelques espèces. En générale deux ou trois en plus de la culture de rente qu'est le coton. Les valeurs de l'Ecart-type sont relativement faibles, donc il y'a moins de dispersion (**Tableau 43**). On peut raisonnablement penser que comme les exploitants sont soumis à des risques environnementaux et économiques plus faibles, ils concentrent leurs productions sur quelques espèces.

Le vieux bassin cotonnier est caractérisé par une forte densité de population, une absence quasi totale des jachères, la saturation progressive des espaces cultivables et une mise en valeur presque complète des glacis dans ses parties septentrionales. Près de 65% des villages de cette zone soit 9 sur 14 ont une diversité spécifique supérieure à 0,50 (**Tableau 43**). Ce qui fait de cette zone la plus diversifiée de la zone cotonnière. Dans les exploitations agricoles de cette région agricole on cultive plus de la moitié des espèces culturales de leurs villages. Ceci confirme par ailleurs les résultats des travaux de (Soumaré et Dembéle, 2017) et montre une originalité de cette zone du vieux bassin qui, malgré un niveau d'intensification très élevé, les exploitations agricoles maintiennent une grande diversité. A travers le monde, dans de nombreuses régions l'intensification s'accompagne d'une perte de la diversité agricole.

La zone hétérogène en équilibre est quant à elle caractérisée par des conditions agro-climatiques très favorables avec plus de 1000 mm de pluviométrie annuelle en moyenne, des terres fertiles et les espaces cultivables restent encore considérablement extensibles. Avec de telles conditions, les villages de cette zone ont des diversités spécifiques moins importantes que la dans le vieux bassin cotonnier. En effet, seulement quatre villages sur quinze ont une diversité spécifique moyenne de plus de 0,50.

La zone d'extension du Sud, à des conditions naturelles beaucoup plus favorables que le vieux bassin cotonnier et la zone hétérogène en équilibre. Les précipitations annuelles dépassent 1 100 mm d'eau, les terres de bonnes qualités et les espaces de pâturages importants.

On retrouve des espaces non cultivés assez étalés avec une végétation dense mais détériorée car soumise à diverses pressions anthropiques telles que : l'exploitation de bois d'œuvre, de bois de chauffe et pâturage des transhumants (Soumaré, 2009). Les exploitations agricoles de cette zone concentrent leurs efforts à la culture d'un certain nombre bien limité de spéculations : coton, maïs et sorgho. Dans cette région, l'indicateur de diversité spécifique n'atteint (nulle part) dans aucun village 0,50. Ce qui veut dire qu'aucune exploitation ne cultive la moitié des espèces culturales du village.

Tableau 43 : Indicateurs de diversité spécifiques à l'échelle des exploitations

Nom Village	Zonage	Moyenne	Minimum	Maximum	Écartype
Benguéné		0,4	0,13	0,75	0,17
Berthéla		0,46	0,14	0,71	0,14
Bonégué		0,56	0,33	0,67	0,1
Boungosso		0,53	0,25	0,75	0,13
Diora		0,51	0,4	0,6	0,07
Doukougnonan		0,6	0,25	1	0,15
Koloni	Vieux bassin cotonnier	0,51	0,38	0,75	0,13
Kamona		0,4	0,18	0,64	0,14
Koula		0,56	0,25	0,88	0,16
Koumanzana		0,43	0,17	0,75	0,16
Ngarasso		0,56	0,33	0,89	0,13
Ntjila_Finyana		0,43	0,14	0,57	0,11
Toula		0,61	0,17	0,83	0,19
Ziblena		0,58	0,33	0,83	0,15
Boromba		0,35	0,2	0,6	0,13
Kambéréké	Zone d'extension du sud	0,49	0,13	0,88	0,16
Nafégué		0,41	0,29	0,57	0,12
Winkala		0,43	0,2	0,8	0,14
Woroni		0,38	0,2	0,6	0,12
Finkolo_Zanso		0,37	0,22	0,56	0,11
Fissaba		0,56	0,38	0,75	0,12
Kokélé		0,32	0,18	0,64	0,14
Nérékoro		0,65	0,25	1	0,15
Ntentou	Zone hétérogène en équilibre	0,37	0,15	0,69	0,12
Samba		0,43	0,25	0,75	0,13
Satiguila		0,37	0,17	0,58	0,1
Siramana		0,57	0,4	0,8	0,12
Vokoro		0,56	0,33	0,89	0,15
Ziékorodougou		0,31	0,11	0,56	0,11
Ziguéna		0,45	0,1	0,7	0,16

7.2.1. Classes d'indicateur spécifique à l'échelle des exploitations agricoles

Au total cinq classes ont été constituées. Cette classification a été faite en tenant compte des seuils identifiés lors des travaux de groupe entre les chercheurs (concepteurs d'indicateurs) et les usagers (agriculteurs). La première classe concerne les exploitations dont l'indicateur ne dépasse pas 0,20 notamment le seuil critique. Pour la seconde classe, les exploitations sont comprises entre 0,21 et 0,40. Dans la troisième classe, on retrouve les exploitations dont les indicateurs sont compris entre 0,41 et 0,60. Quant à la quatrième classe, elle rassemble les

exploitations avec des indicateurs de 0,61 à 0,80. Et enfin la dernière classe concentre les exploitations dont les indicateurs sont entre 0,81 et 1 (Tableau 44).

Pour un total de 544 exploitations dans les trente villages, la classe d'indicateur spécifique à comprise entre 0,41 à 0,60 est la classe la plus dominante par rapport aux autres. Cette classe concentre 228 soit près de 42% des exploitations. Elle est suivit par celle de 0,21 à 0,41 avec un total 170 soit 31,25 % des exploitations. La classe la plus faiblement dotée d'exploitation est celle de 0,81 à 1,00 avec seulement a 12 exploitations. Cette situation montre une variation importante entre les différentes classes dans la zone cotonnière du Mali.

Tout comme l'ensemble de la zone cotonnière, dans le vieux bassin cotonnier 115 exploitations sur les 254 que compte cette zone, sont dans la classe 0,41 à 0,60. La classe 0,61 à 0,80 suit avec 68 exploitations soit plus de 27% de l'ensemble des exploitations de la zone. Ces deux classes concentrent plus de 72% des exploitations dans 14 villages de la zone. Huit exploitations ont atteints leurs seuils critiques. Compte tenu de la saturation plus ou moins progressive des espaces cultivées et des incertitudes pluviométrique, les exploitations du vieux bassin cotonnier cultivent plusieurs espèces pour atténuer les risques liés à ces aléas.

La zone hétérogène en équilibre composée de 11 villages, concentre 151 exploitations 198 soit plus de 76%. Les deux classes dominantes sont celle qui ont 0,41 à 0,60 et 0,61 à 0,80. Seulement 10 exploitations ont un seuil critique. Ce qui est remarquable dans cette zone est le fait que 37 exploitations ont un bon seuil de diversité spécifique soit presque 20% exploitations.

Les classes la plus dominantes dans la zone d'extension du sud composée de cinq villages sont celle de 0,21 à 0,40 et 0,41 à 0,60 avec respectivement un total de 40 et 38 exploitations soient 43,48 et 41,30%. Dans cette zone, 4 exploitations appartiennent à la classe 0,60 à 0,80 et seulement une exploitation est dans la classe 0,81 à 1. Ainsi, peu d'exploitation (seulement 5%) ont un bon seuil.

Tableau 44 : Classes d'indicateur spécifique à l'échelle des exploitations agricoles

Zonage	Village	Classe indicateur et nombre d'exploitation				
		0,2	0,21 à 0,40	0,41 à 0,60	0,61 à 0,80	0,81 à 1,00
Vieux bassin cotonnier	Berthéla	1	3	13	1	0
	Bonégué	0	1	10	7	0
	Boungosso	0	3	9	6	0
	Diora	0	4	14	0	0
	Doukougnonan	0	1	5	11	1
	Koloni	0	6	7	5	0
	Koula	0	4	5	8	1
	Ngarasso	0	1	10	6	1
	Ntjila_Finyana	1	2	15	0	0
	Toula	1	2	3	8	4
	Kamona	2	8	6	2	0
	Koumanzana	1	7	7	3	0
	Benguéné	2	9	6	3	0
	Ziblena	0	3	5	8	2
Zone d'extension du sud	Boromba	5	8	5	0	0
	Kambéréké	1	5	8	3	1
	Winkala	1	9	7	1	0
	Woroni	2	10	6	0	0
	Nafégué	0	8	12	0	0
Zone hétérogène en équilibre	Finkolo_Zanso	0	11	7	0	0
	Fissaba	0	3	6	9	0
	Nérékoro	0	1	2	14	1
	Ntentou	1	12	4	1	0
	Samba	0	6	10	2	0
	Satiguila	1	8	9	0	0
	Vokoro	0	3	10	4	1
	Ziékorodougou	2	13	3	0	0
	Kokélé	4	8	2	1	0
	Ziguéna	2	7	10	1	0
	Siramana	0	4	12	3	0
Total général		27	170	228	107	12

Tableau 45 : Les systèmes de rotation à l'échelle des exploitations

Village	Zonage	Monoculture	Biennale	Triennale	Total général
Berthéla	Vieux bassin	13	29	21	63
Bonégué		8	45	15	68
Boungosso		14	41	36	91
Diora		21	39	38	98
Doukougnonan		3	42	50	95
Koloni		12	32	36	80
Kamona		19	33	17	69
Koula		5	39	50	94
Koumanzana		19	42	30	91
Ngarasso		9	44	43	96
Ntjila_Finyana		7	38	9	54
Toula		13	39	12	64
Ziblena		6	27	34	67
Benguéné		19	33	52	104
Boromba		Zone d'extension du sud	14	36	7
Kambéréké	8		29	14	51
Winkala	4		52	8	64
Woroni	19		47	12	78
Nafégué	16		12	56	84
Finkolo_Zanso	Zone hétérogène en équilibre	1	54	10	65
Fissaba		19	44	20	83
Nérékoro		35	41	18	94
Ntentou		20	27	20	67
Samba		37	45	14	96
Satiguila		33	29	11	73
Vokoro		20	64	13	97
Ziékorodougou		17	23	5	45
Kokélé		51	20	9	80
Ziguéna		82	26	15	123
Total général	3	544	1072	675	2291

7.1.3. Indicateur de diversité des Systèmes de cultures identifiés

L'indicateur de diversité des systèmes de culture est le rapport entre le nombre de systèmes de culture pratiqués par une exploitation et le nombre total de systèmes de culture pratiqués dans le village. Les valeurs moyennes de l'indicateur de système de culture (SC) les plus élevées (supérieure à 0,50) ont été observées dans onze villages sur les vingt-cinq étudiés. (**Tableau 45** et **Tableau 46**). On constate que c'est le village de Nérékoro avec 0,67 qui a l'indicateur de diversité des systèmes de culture le plus élevé suivi de Satiguila avec 0,59 ; Ngarasso et Vokoro qui ont 0,56 en moyenne. Ceux-ci démontrent que dans ces villages, les exploitants moyens pratiquent plus de la moitié des systèmes de cultures présents dans leurs villages respectifs soient respectivement 4/5, 3/5 et 4/6 pour les deux derniers villages. Trois de ces quatre villages sont situés dans la même zone agro écologique notamment le vieux bassin cotonnier. C'est le domaine d'une forte intensification avec le recours aux transferts de matières organiques. Dans cette zone le recours aux jachères est pratiquement inexistant dans les exploitations agricoles à cause de la saturation de l'espace cultivable.

Par contre, les villages de Kambéréké, Ziékorodougou et Bonégué ont les plus faibles valeurs moyennes d'indicateurs de diversité de système de culture avec 0,30 pour le premier et 0,37 pour les deux autres.

Pour les différentes zones, l'écart type est relativement faible de 0,12 à 0,23, ce qui s'explique par le fait que ces valeurs sont concentrées autour de la moyenne de l'indicateur. La valeur minimale est de 0,14 tandis que la maximale atteint 1. Ce qui signifie qu'il y'a une forte disparité entre les villages.

Tableau 46 : Indicateur de diversité des systèmes de culture à l'échelle de l'exploitation

Nom village	Zonage	Moyenne	Minimum	Maximum	Écartype
Benguéné	Vieux bassin cotonnier	0,49	0,2	0,8	0,19
Berthéla		0,4	0,17	0,67	0,12
Bonégué		0,37	0,17	0,67	0,13
Boungosso		0,48	0,17	0,83	0,16
Diora		0,44	0,29	0,57	0,12
Doukougnonan		0,47	0,14	0,71	0,18
Koloni		0,41	0,17	0,67	0,13
Kamona		0,53	0,4	0,8	0,14
Koula		0,51	0,17	1	0,2
Koumanzana		0,47	0,17	0,83	0,17
Ngarasso		0,56	0,33	0,83	0,16
Toula		0,56	0,25	0,75	0,14
Ziblena		0,38	0,2	0,6	0,14
Boromba		0,4	0,2	0,8	0,21
Nafégué	Zone d'extension du sud	0,43	0,2	0,8	0,17
Winkala		0,43	0,2	0,6	0,12
Woroni		0,55	0,4	1	0,17
Kambéréké		0,3	0,14	0,57	0,13
Finkolo_Zanso	Zone hétérogène en équilibre	0,53	0,25	0,75	0,15
Fissaba		0,4	0,29	0,71	0,13
Kokélé		0,49	0,17	0,83	0,17
Nérékoro		0,67	0,2	1	0,23
Ntentou		0,39	0,17	0,83	0,21
Ntjila_Finyana		0,5	0,25	0,75	0,14
Samba		0,47	0,17	0,67	0,12
Satiguila		0,59	0,2	1	0,21
Vokoro		0,56	0,17	0,83	0,15
Ziguéna		0,56	0,29	0,86	0,17
Ziékorodougou	0,37	0,2	0,6	0,16	
Siramana	0,27	0,2	0,6	0,1	

7.1.3.1. Classification des indicateurs de diversité des Systèmes de cultures à l'échelle de l'exploitation

Tout comme la classification précédente, en regroupant les indicateurs de diversité des systèmes de culture par classe, cela nous permet d'identifier cinq classes (Tableau 47). Sur l'ensemble de la zone cotonnière, la classe d'indicateur 0,41 à 0,60 est la plus dominante avec 210 exploitations soit plus de 40% de l'ensemble des exploitations. Cette classe est suivie par la classe 0,21 à 0,40 qui concentre 161 exploitations soit 31%. La plus faible effectif est au

niveau de la dernière classe notamment, la classe 0,81 à 1 avec seulement 16 exploitations. Si on ramène cette classification au tableau de seuil, on remarque que 42% soit 218 des exploitations ont un seuil critique. Tandis que 40% soit 210 exploitations ont un seuil moyen et les 18% restantes soit 92 exploitations ont un bon seuil. Il existe une forte disparité entre les différentes classes.

Dans le vieux bassin cotonnier, c'est toujours la classe 0,41 à 0,60 qui concentre le plus grand nombre d'exploitation avec 111 exploitations soit 44% du nombre total des exploitations de cette zone. La classe 0,21 à 0,40 a aussi un nombre important d'exploitation soit 84 qui donne une proportion de 33%. On observe que la classe 0,81 à 1 n'a que 7 exploitations. Majoritairement les exploitations agricoles de cette zone ont un seuil moyen car 44% de ses exploitations sont dans la 0,01 à 0,60. Il est à noter que seulement 39 exploitations sur 252 ont un bon seuil.

Le classement obtenu dans la zone hétérogène en équilibre place en première position la classe 0,41 à 0,60 avec 72 exploitations sur 178 soit 40,44%. Cette classe est suivie par 0,61 à 0,80 qui regorgent 40 exploitations. On retrouve seulement 8 exploitations dans la classe 0,81 à 1,00. Cette zone se caractérise par des exploitations avec des seuils moyens de diversité des systèmes de culture.

Pour ce qui est de la zone d'extension du Sud, la majorité des exploitations sont dans la classe 0,21 à 0,40 avec 39 exploitations sur 90. La classe 0,41 à 0,60 avec 27 exploitations arrive en deuxième position et concentre 30% de l'ensemble des exploitations. La dernière classe 0,81 à 1,00 à seulement 1 exploitation. La plupart des exploitations de la zone d'extension du Sud ont un seuil critique avec 58 sur les 90 exploitations soit plus de 64%. Par contre seulement 5 exploitations ont un bon seuil.

Tableau 47 : Classe d'indicateur de diversité des SC à l'échelle de l'exploitation

Zonage	Village	Classe indicateur				
		0,2	0,21 à 0,40	0,41 à 0,60	0,61 à 0,80	0,81 à 1,00
Vieux bassin cotonnier	Berthéla	1	10	6	1	0
	Bonégué	2	10	4	1	0
	Boungosso	1	4	11	0	2
	Diora	0	4	13	0	0
	Doukougnonan	3	0	13	2	0
	Koloni	1	10	5	2	0
	Koula	1	5	7	3	2
	Ngarasso	0	4	5	7	2
	Ntjila_Finyana	0	2	13	3	0
	Toula	0	1	12	5	0
	Kamona	0	9	8	1	0
	Koumanzana	1	7	5	4	1
	Benguéné	3	8	6	3	0
Ziblena	5	10	3	0	0	
Zone d'extension du sud	Boromba	7	6	3	2	0
	Kambéréké	5	7	6	0	0
	Winkala	2	11	5	0	0
	Woroni	1	7	8	1	1
	Nafégué	4	8	5	1	0
Zone hétérogène en équilibre	Finkolo_Zanso	0	2	12	4	0
	Fissaba	0	7	9	2	0
	Nérékoro	1	3	6	5	3
	Ntentou	6	6	2	3	1
	Samba	1	3	12	2	0
	Satiguila	3	2	9	3	1
	Vokoro	1	1	8	7	1
	Ziékorodougou	7	7	4	0	0
	Kokélé	1	4	6	3	1
Ziguéna	0	3	4	11	1	

7.2. Les indicateurs de pression

Ils visent à identifier les causes d'altérations de la diversité. On distingue les pressions directes (pollutions, prélèvements) et des pressions indirectes (activités humaines à l'origine des altérations). Nous considérons qu'il y'a pression si un village consacre au moins le 1/3 des surfaces ou des parcelles à une seule espèce. De façon générale, le nombre d'espèce cultivée dans nos villages d'étude varie de cinq à dix. Donc l'espèce, qui est cultivée dans le 1/3 des surfaces ou des parcelles exerce une pression sur les autres. Par contre il n'y a pas de pression si la valeur d'indicateur ne dépasse pas 0.10 c'est dire que moins de 10% des surfaces ou des parcelles sont consacrées à l'espèce en question.

Il y a deux sortes d'indicateur de pression, et ils sont tous relatifs à l'espèce. Le premier est basé sur la superficie le second au nombre de parcelles consacrés à l'espèce.

7.2.1. Indicateur de pression spécifique 1 (superficie)

L'indicateur de pression spécifique est le rapport entre la surface totale cultivée d'une espèce et la surface totale de toutes les espèces cultivées. Il est calculé à l'échelle du village. Cet indicateur rend compte de la pression exercée par une espèce donnée sur les autres espèces. Plus la valeur de l'indicateur est élevée plus la pression de l'espèce en question est forte sur les autres.

7.2.1.2. Pour le coton

Globalement dans nos villages d'étude, le coton n'exerce pas de forte pression sur les autres espèces. En effet 20 villages sur les 30 soit 67% consacrent moins 1/3 de leurs superficies à la culture du coton. La pression est beaucoup moins forte dans les villages situés au Nord de la zone cotonnière.

Les valeurs fortes (de 0,38 à 0,48) de l'indicateur de pression spécifique du coton sont aux niveaux des villages où le coton vient en tête de rotation. Dans ces villages, au moins les 2/3 des surfaces cultivées sont en coton. Ce sont surtout des villages qui sont au cœur de la zone cotonnière avec des pluviométries annuelles dépassant les 1000 mm d'eau par an. Il y'a une forte intervention de la CMDT. Les villages de Ziguéna avec 0,48 ; Siramana et Nafégué avec 0,45 ; Winkala avec 0,39 et N'garasso avec 0,38 illustrent parfaitement cette forte pression du coton.

Par contre, les valeurs les plus faibles sont enregistrées dans les villages situés au Nord du vieux bassin cotonnier. Cette partie n'est pas très propice à la culture du coton. Le village de Berthéla avec seulement 1,5 ha de coton sur les 116 ha cultivées est le village qui enregistre le moins la pression du coton avec une valeur d'indicateur de 0,01 (**Tableau 48**).

Tableau 48 : Indicateur de pression spécifique du coton

Village	Zonage	Sup_tot_Coton	Sup_toutes_cultures	Indicateur
Benguéné		70,94	256,19	0,28
Berthéla		1,5	116,215	0,01
Bonégué		61,2	176	0,35
Boungosso		66,75	197,25	0,34
Diora		19	137	0,14
Doukougnonan		52,75	164	0,32
Koloni	Vieux bassin cotonnier	70	190,5	0,37
Kamona		31,87	144,99	0,22
Koula		32	162,55	0,2
Koumanzana		19	205,45	0,09
Ngarasso		78,5	207,75	0,38
Toula		61,8	208,05	0,3
Ntjila_Finyana		52	151,4	0,34
Ziblena		39,5	179,5	0,22
Boromba		40	149	0,27
Kambéréké	Zone d'extension du sud	48,5	157,75	0,31
Nafégué		83	183	0,45
Winkala		62	157,25	0,39
Woroni		46	243,25	0,19
Finkolo_Zanso		71	183	0,39
Fissaba		52,5	222,75	0,24
Kokélé		8	65,55	0,12
Nérékoro		51	235,75	0,22
Ntentou	Zone hétérogène en équilibre	59,5	185	0,32
Samba		12	175,1	0,07
Satiguila		12,25	150	0,08
Siramana		237,8	525,6	0,45
Vokoro		72	267,5	0,27
Ziékorodougou		2,5	82	0,03
Ziguéna		184,5	380,6	0,48

Légende : Sup= Superficie ; Tot = Totale

7.2.1.3. Pour le Maïs

Pour ce qui est du Maïs, la pression est très faible. Seulement 8 villages soit 27% consacrent plus 1/3 de leurs surfaces à la culture du maïs. Les 22 autres villages (73%) ne consacrent pas beaucoup de superficie à cette culture.

Dans le vieux bassin cotonnier dans aucun village le maïs exercent une forte pression sur les autres. Par contre, c'est dans la zone d'extension du Sud (presque tous les villages) et trois villages de la zone hétérogène en équilibre que de fortes valeurs sont rencontrées..

Nous avons remarqué au niveau des systèmes de culture que dans la plupart des villages où le coton est en tête de rotation. Il est suivi l'année d'après par le maïs, bénéficie de l'arrière-effet de la fertilisation apportée sur le cotonnier. Puisque ces deux cultures sont très souvent liées dans la rotation. Il n'est pas rare de retrouver les mêmes villages avec de fortes valeurs d'indicateur de pression du coton et du maïs. C'est le cas des villages de Nafégou dans la zone d'extension du Sud et de Siramana dans la zone hétérogène en équilibre avec respectivement 0,48 et 0,36 comme indicateur. Hormis ces deux villages, nous avons cinq autres villages où la pression du Maïs est très forte sur les autres espèces. Il s'agit de Ziékorodougou, de Woroni de Kambéréké, de Finkolo_Zanso et de Boromba avec respectivement des valeurs d'indicateurs de 0,60 ; 0,47 ; 0,44 et 0,42.

Dans le même ordre d'idée, on retrouve les villages de très faibles valeurs d'indicateurs dans les zones Nord du vieux bassin cotonnier avec une faible pluviométrie et des sols qui ne sont pas très adaptés à la culture du coton. Ces villages ne consacrent que 7 à 9 % des terres cultivées aux maïs. C'est notamment le cas des villages de Berthéla, de Koula, de Koumanzana et de Kamona. Les indicateurs pour ces villages sont de 0,07 pour les deux premiers villages et 0,09 pour les deux derniers (**Tableau 49**).

Tableau 49 : Indicateur de pression spécifique du Maïs

Village	Zonage	Sup_tot_Maïs	Sup_toutes_cultures	Indicateur
Benguéné	Vieux bassin cotonnier	38,91	256,19	0,15
Berthéla		8,15	116,215	0,07
Bonégué		32,3	176	0,18
Boungosso		28,75	197,25	0,15
Diora		11	137	0,08
Doukougnonan		29	164	0,18
Koloni		25	190,5	0,13
Kamona		13,12	144,99	0,09
Koula		12	162,55	0,07
Koumanzana		19,5	205,45	0,09
Ngarasso		41,5	207,75	0,2
Ntjila_Finyana		27,5	151,4	0,18
Ziblena		33	179,5	0,18
Boromba		62	149	0,42
Kambéréké	Zone d'extension du sud	74,5	157,75	0,47
Nafégué		87,5	183	0,48
Winkala		36,75	157,25	0,23
Woroni		114,25	243,25	0,47
Finkolo_Zanso		81,25	183	0,44
Fissaba		36	222,75	0,16
Kokélé		20,5	65,55	0,31
Nérékoro		32,5	235,75	0,14
Ntentou	Zone hétérogène en équilibre	27,5	185	0,15
Samba		27,5	175,1	0,16
Satiguila		41	150	0,27
Siramana		191	525,6	0,36
Vokoro		33,25	267,5	0,12
Ziékorodougou		49,5	82	0,6
Ziguéna		105,5	380,6	0,28

Légende : Sup= Superficie ; Tot = Totale

7.2.1.4. Pour le Sorgho

Pour ce qui est du Sorgho, sur les trente (30) villages de notre échantillon, 23 villages soit 77% ne ressentent pas ou n'ont pas de pression du sorgho sur les autres espèces. C'est dans seulement sept (7) villages où l'on recense une forte pression du sorgho.

L'analyse des résultats du tableau d'indicateur de pression du Sorgho (Tableau 50) montre que la pression de cette culture est forte dans les villages de Ntjila_Finyana, de Ziblena, de

Bonégué et de Toula tous situés dans le vieux bassin cotonnier. Ces villages ont respectivement des indicateurs de pression spécifique de 0,43 ; 0,40 et 0,38 pour les deux derniers villages. Les résultats signifient que ces villages consacrent entre 38 et 43% des surfaces cultivées au sorgho.

On rencontre dans les villages de Ziékorodougou et de Finkolo_Zanso dans la zone hétérogène en équilibre, de Nafégué, de Kambéréké et de Boromba dans la zone d'extension du Sud des valeurs relativement faibles entre 0 et 0,7. Ces villages sont situés dans des régions agricoles où les précipitations moyennes annuelles plus élevées 1100 à 1400 mm (Kouressy, 2003), ce qui correspond beaucoup plus au maïs qu'au sorgho.

Le sorgho est une plante peu exigeante (Fusiller, 1994), bien adaptée sur les milieux naturels à forts aléas climatiques, à faible fertilité des sols. Sa rusticité en fait une culture sécurisante pour les producteurs, contrairement au maïs.

Tableau 50 : Indicateur de pression spécifique du Sorgho

Village	Zonage	Sup_tot_Sorgho	Sup_toutes_cultures	Indicateur
Benguéné	Vieux bassin cotonnier	36,5	256,19	0,14
Berthéla		17,765	116,215	0,15
Bonégué		66,5	176	0,38
Boungosso		66	197,25	0,33
Diora		38	137	0,28
Doukougnonan		39	164	0,24
Koloni		67,5	190,5	0,35
Kamona		17,5	144,99	0,12
Koula		62	162,55	0,38
Koumanzana		16,25	205,45	0,08
Ngarasso		20,5	207,75	0,1
Ntjila_Finyana		65	151,4	0,43
Ziblena		71	179,5	0,4
Boromba		5	149	0,03
Kambéréké	Zone d'extension du sud	2,75	157,75	0,02
Nafégué		1,5	183	0,01
Winkala		19,25	157,25	0,12
Woroni		4	243,25	0,02
Finkolo_Zanso	Zone hétérogène en équilibre	13	183	0,07
Fissaba		71	222,75	0,32
Kokélé		22,95	65,55	0,35
Nérékoro		33,75	235,75	0,14
Ntentou		16,25	185	0,09
Samba		18,5	175,1	0,11
Satiguila		22	150	0,15
Siramana		34,95	525,6	0,07
Vokoro		38,75	267,5	0,14
Ziékorodougou		0	82	0
Ziguéna	39	380,6	0,1	

Légende : Sup= Superficie ; Tot = Totale

7.2.1.5. Pour le Mil

Le mil n'exerce pratiquement pas de pression sur les autres espèces. On note l'absence de pression du mil dans 26 villages sur 30.

La pression du Mil est forte seulement dans les villages situés au Nord du vieux bassin cotonnier comme attestent les indicateurs de pression dans le (**Tableau 51**). Ces résultats montrent des indicateurs de 0,65 à Koumanzana ; de 0,62 à Berthéla ; de 0,48 à Kamona et de 0,38 à Benguéne. Tous ces villages se situent dans la région agricole recevant moins de 800 millimètres de pluie par an (Keita, 2015).

En dehors de ces villages, on note des valeurs d'indicateurs très faibles dans la majorité des autres villages aussi bien dans la zone hétérogène en équilibre que dans la zone d'extension du Sud. Seize villages sur trente ont des indicateurs variant de 0 à 0,08. Ce sont surtout des villages où les conditions climatiques et édaphiques sont peu favorables à la culture du Mil. Il faut aussi ajouter que de façon culturelle dans certains villages le mil ne fait pas parti de leurs habitudes alimentaires. Dans ces villages, la base de l'alimentation est le maïs et accessoirement du sorgho (Dembélé, 2012). De ce fait, ils ne cultivent pas le mil.

Tableau 51 : Indicateur de pression spécifique du Mil

Village	Zonage	Sup_tot_Mil	Sup_toutes_cultures	Indicateur
Benguéné		96,09	256,19	0,38
Berthéla		72,6	116,215	0,62
Bonégué		9,5	176	0,05
Boungosso		31,75	197,25	0,16
Diora		31,5	137	0,23
Doukougnonan		32	164	0,2
Koloni	Vieux bassin cotonnier	15,25	190,5	0,08
Kamona		69,5	144,99	0,48
Koula		50	162,55	0,31
Koumanzana		132,85	205,45	0,65
Ngarasso		54,5	207,75	0,26
Ntjila_Finyana		3	151,4	0,02
Ziblena		31,5	179,5	0,18
Boromba		2	149	0,01
Nafégué	Zone d'extension du sud	1	183	0,01
Winkala		9,5	157,25	0,06
Woroni		26,5	243,25	0,11
Kambéréké		4,5	157,75	0,03
Finkolo_Zanso		5,5	183	0,03
Fissaba		4	222,75	0,02
Kokélé		0,25	65,55	0
Nérékoro		13,25	235,75	0,06
Ntentou	Zone hétérogène en équilibre	5	185	0,03
Samba		5,5	175,1	0,03
Satiguila		5	150	0,03
Siramana		52,75	525,6	0,1
Vokoro		4,25	267,5	0,02
Ziékorodougou		0	82	0
Ziguéna		12,25	380,6	0,03

Légende : Sup= Superficie ; Tot = Totale

7.2.1.6. Pour l'arachide

L'arachide est cultivée au Mali en culture pure ou en association avec d'autres cultures (mil, sorgho) selon les régions (FAO, 2013). Depuis les années 2000, l'arachide est parfois associée également à la culture du coton, ce qui représente un changement par rapport aux années 1980 et 1990 où les producteurs abandonnaient sa culture pour se consacrer à la culture de rente du coton. L'arachide est produite par les petits agriculteurs principalement pour être autoconsommée (pâte d'arachide et fourrage pour l'alimentation des animaux) mais aussi pour apporter un revenu. Elle est cultivée tant par les hommes que par les femmes, qui héritent généralement des parcelles les moins productives. L'arachide représente une des récoltes les plus importantes produites par les femmes maliennes.

En raison de sa qualité de culture secondaire dans la plupart des régions agricoles, on remarque une absence de pression de l'arachide dans tous les villages. Seuls dans les villages de Vokoro et de Samba dans zone hétérogène en équilibre où 11 à 10% de la surface cultivée sont consacrées à cette culture, les indicateurs de pression sont respectivement de 0,11 et 0,12. Ce qui est relativement faible. En dehors de ces deux villages, sa pression est presque nulle dans les autres villages ce qui se traduit par des valeurs d'indicateurs comprises entre 0,00 et 0,08 (**Tableau 52**).

Tableau 52 : Indicateur de pression spécifique de l'arachide

Village	Zonage	Sup_tot_Arachide	Sup_tot_toutes_culture	Indicateur
Benguéné	Vieux bassin cotonnier	0,75	256,19	0
Berthéla		9,7	116,215	0,08
Bonégué		0	176	0
Boungosso		2	197,25	0,01
Diora		7,25	137	0,05
Doukougnonan		7	164	0,04
Koloni		1,5	190,5	0,01
Kamona		5,5	144,99	0,04
Koula		4,1	162,55	0,03
Koumanzana		4,75	205,45	0,02
Ngarasso		2,75	207,75	0,01
Toula		0,45	208,05	0
Ziblena		0	179,5	0
Boromba		Zone d'extension du sud	6	149
Kambéréké	12		157,75	0,08
Nafégué	3,75		183	0,02
Winkala	6,5		157,25	0,04
Woroni	2		243,25	0,01
Finkolo_Zanso	Zone hétérogène en équilibre	3,25	183	0,02
Fissaba		5	222,75	0,02
Kokélé		4	65,55	0,06
Nérékoro		4,75	235,75	0,02
Ntentou		11,5	185	0,06
Ntjila_Finyana		2,75	151,4	0,02
Samba		16,8	175,1	0,1
Satiguila		12,13	150	0,08
Siramana		0,75	525,6	0
Vokoro		30,5	267,5	0,11
Ziékorodougou	5,25	82	0,06	
Ziguéna	1,7	380,6	0	

Légende : Sup= Superficie ; Tot = Totale

7.2.2. Indicateur de pression spécifique 2 (parcelles)

L'indicateur de pression spécifique 2 a la même importance que le précédent indicateur de pression. Il rend compte de la pression exercée par une espèce donnée sur les autres espèces mais en termes de nombre de parcelle. Il est le rapport entre le nombre de parcelles cultivées d'une espèce sur le nombre de parcelle cultivée des autres espèces dans le village. Par rapport au procédé il apporte une autre appréciation de la diversité. En effet avoir une grande

superficie sur une parcelle ou sur plusieurs parcelles n'a pas la même signification en termes de pression sur la diversité. Si la concentration est sur une seule parcelle, le risque de perte est plus élevé donc la pression plus forte. Plus la valeur de l'indicateur est élevée plus la pression de l'espèce en question est forte sur les autres. Son choix se base sur une hypothèse simple mais fondamentale. Plus le nombre de parcelle cultivée d'une espèce donnée augmente, plus le risque de voir d'autres espèces disparaître est élevé, car dans la plupart des terroirs de la zone cotonnière du Mali, il n'y a plus de possibilité d'extension des surfaces agricoles (Dembélé, 2012). Tout comme l'indicateur de pression spécifique précédent, nous analysons sur la base de 1/3 soit 0,33 en termes d'indicateur. Autrement dit, moins de 0,33 il n'y a pas de pression et au-delà de cette valeurs il y'a pression.

7.2.2.1. Pour le coton

En termes de parcelle, on remarque que sur les 30 villages, c'est dans seulement 1 village où on note la présence de la pression du coton sur les autres. C'est dans le village de Nafégué dans la zone d'extension du Sud que cette pression est visible comme atteste sa valeur d'indicateur de 0,38.

Certains villages ont des valeurs proches du seuil de pression. C'est le cas des villages de Finkolo Zanso, de Bonégué, de Ntjila Finyana et de Ziguéna dans la zone d'extension du Sud et dans la zone hétérogène en équilibre avec respectivement des valeurs d'indicateurs de 0,32 ; 0,28 ; 0,26 et 0,25.

Dans les villages de Berthéla, de Kokélé et de Ziékorodougou il y'a l'absence totale de pression du coton sur les autres espèces. Ces villages ont des indicateurs très faibles variant de 0,03 à 0,07.

Tableau 53 : Indicateur de pression spécifique 1 sur le coton

Villages	Zonage	Nbre_parc_Coton	Nbre_toutes_parcelles	Indicateurs
Benguéné		26	109	0,24
Berthéla		2	73	0,03
Bonégué		21	74	0,28
Boungosso		22	91	0,24
Diora		14	103	0,14
Doukougnonan	Vieux bassin cotonnier	21	97	0,22
Koloni		20	82	0,24
Kamona		21	95	0,22
Koula		19	97	0,2
Koumanzana		17	119	0,14
Ngarasso		20	96	0,21
Ntjila_Finyana		15	58	0,26
Ziblena		16	70	0,23
Boromba		17	76	0,22
Kambéréké	Zone d'extension du sud	14	73	0,19
Nafégué		33	88	0,38
Winkala		18	88	0,2
Woroni		16	89	0,18
Finkolo_Zanso		25	77	0,32
Fissaba		23	92	0,25
Kokélé		6	88	0,07
Nérékoro		22	111	0,2
Ntentou	Zone hétérogène en équilibre	17	98	0,17
Samba		11	134	0,08
Satiguila		6	94	0,06
Siramana		51	198	0,26
Vokoro		30	125	0,24
Ziékorodougou		2	56	0,04
Ziguéna		31	123	0,25

Légende : Nbre = Nombre ; Parc = Parcelle

7.2.2.2. Pour le Maïs

Dans l'ensemble, on remarque que sur les 30 villages, c'est seulement dans 4 villages où la valeur de l'indicateur de pression spécifique 1 du Maïs est au-delà de 0,33.

Au regard de l'ensemble des valeurs de l'indicateur de pression spécifique 1 du Maïs du Tableau 54, on constate que le nombre de villages où la pression est forte, augmente. Les villages à très fortes pressions restent les deux situés plus au Sud, avec des conditions

climatiques identiques. Il s'agit de Ziékorodougou et de Nafégué avec des indicateurs de 0,41 et 0,40 (Tableau 54).

Les autres villages de pression sont situés au Nord des premiers villages cités ci-dessus, ce qui démontre que la pression du maïs augmente suivant le gradient Nord- Sud. (Sanogo, 2012). L'auteur était parvenu aux mêmes résultats sur trois villages dans cette zone cotonnière du Mali.

Dans deux autres villages, la pression est relativement forte mais présente à des degrés différents. Nous avons le village de Woroni avec 0,36 et le village de Finkolo_Zanso qui a une valeur de 0,35.

Tableau 54 : Indicateur de pression spécifique 1 du Maïs

Villages	Zonage	Nbre_parc_Maïs	Nbre_toutes_parcelles	Indicateurs
Benguéné	Vieux bassin cotonnier	18	109	0,17
Berthéla		13	73	0,18
Bonégué		21	74	0,28
Boungosso		20	91	0,22
Diora		15	103	0,15
Doukougnonan		18	97	0,19
Koloni		17	82	0,21
Kamona		16	95	0,17
Koula		13	97	0,13
Koumanzana		20	119	0,17
Ngarasso		17	96	0,18
Toula		16	76	0,21
Ziblena		18	70	0,26
Boromba		Zone d'extension du sud	25	76
Kambéréké	20		73	0,27
Nafégué	35		88	0,4
Winkala	21		88	0,24
Woroni	32		89	0,36
Finkolo_Zanso	27		77	0,35
Fissaba	Zone hétérogène en équilibre	17	92	0,18
Nérékoro		18	111	0,16
Ntentou		17	98	0,17
Ntjila_Finyana		17	58	0,29
Samba		24	134	0,18
Satiguila		26	94	0,28
Siramana		66	198	0,33
Vokoro		21	125	0,17
Ziékorodougou	23	56	0,41	
Ziguéna	27	123	0,22	

Légende : Nbre = Nombre ; Parc = Parcelle

7.2.2.3. Pour le Sorgho

Quant au sorgho, les résultats d'analyse du Tableau 55 sur l'indicateur de pression spécifique 1 du sorgho montrent une absence presque totale de pression de cette culture sur les autres. Sur les 30 villages, 29 ont des valeurs d'indicateurs inférieures à 0,33. Seul dans le village de Ntjila_Finyana la valeur excède le seuil de 0,33. Elle est de 0,34 cela montre une pression relativement importante du sorgho sur les autres cultures dans ce village

Le Sorgho est cultivé dans toutes les zones agro-écologiques de la zone cotonnière du Mali. Ce phénomène est dû au fait que dans les zones rurales, le Sorgho est toujours la céréale la plus consommée (par exemple, dans les régions cotonnières de Sikasso, Koutiala ou Kita) (FFEM2, 2007).

Tableau 55 : Indicateur de pression spécifique 1 sur le Sorgho

Villages	Zonage	Nbre_parc_Sorgho	Nbre_toutes_parcelles	Indicateurs	
Benguéné	Vieux bassin cotonnier	16	109		
Berthéla		9	73	0,12	
Bonégué		21	74	0,28	
Boungosso		24	91	0,26	
Diora		21	103	0,2	
Doukougnonan		20	97	0,21	
Koloni		22	82	0,27	
Kamona		11	95	0,12	
Koula		27	97	0,28	
Koumanzana		15	119	0,13	
Ngarasso		13	96	0,14	
Toula		18	76	0,24	
Ziblena		20	70	0,29	
Boromba		Zone d'extension du sud	3	76	0,04
Kambéréké			4	73	0,05
Nafégué			2	88	0,02
Winkala	11		88	0,13	
Woroni	1		89	0,01	
Finkolo_Zanso	Zone hétérogène en équilibre	11	77	0,14	
Fissaba		22	92	0,24	
Kokélé		21	88	0,24	
Nérékoro		15	111	0,14	
Ntentou		9	98	0,09	
Ntjila_Finyana		20	58	0,34	
Samba		15	134	0,11	
Satiguila		12	94	0,13	
Siramana		30	198	0,15	
Vokoro		21	125	0,17	
Ziguéna	21	123	0,17		

Légende : Nbre = Nombre ; Parc = Parcelle

7.2.2.4. Pour le Mil

Dans notre échantillon, seulement 2 villages sur 30 soit 7% ont des valeurs de pressions relativement fortes. Les villages de Berthéla avec 0,45 et de Benguééné avec 0,35 sont des exemples de la domination de la zone du vieux bassin cotonnier dans la culture du mil (Tableau 56).

Le mil est consommé de façon régulière à la fois en campagne et en ville, et il est souvent à la base des plats de fêtes ou de rites. Mais sa culture reste tout de même basée dans les zones où la pluviométrie annuelle n'excède pas 800 mm. Néanmoins dans les villages, autour de

Sikasso, il devient une culture commerciale dont les superficies seraient en augmentation en lien avec la récente diminution des superficies cotonnières (FFEM2, 2007).

Tableau 56: Indicateur de pression spécifique 1 sur le Mil

Villages	Zonage	Nbre_parc_Mil	Nbre_toutes_parcelles	Indicateurs
Benguéné	Vieux bassin cotonnier	38	109	0,35
Berthéla		33	73	0,45
Bonégué		6	74	0,08
Boungosso		16	91	0,18
Diora		21	103	0,2
Doukougnonan		17	97	0,18
Koloni		10	82	0,12
Kamona		25	95	0,26
Koula		22	97	0,23
Koumanzana		34	119	0,29
Ngarasso		19	96	0,2
Toula		18	76	0,24
Ziblena		13	70	0,19
Boromba		Zone d'extension du sud	1	76
Kambéréké	3		73	0,04
Nafégué	1		88	0,01
Winkala	8		88	0,09
Woroni	13		89	0,15
Finkolo_Zanso	Zone hétérogène en équilibre	4	77	0,05
Fissaba		2	92	0,02
Kokélé		1	88	0,01
Nérékoro		9	111	0,08
Ntentou		5	98	0,05
Ntjila_Finyana		1	58	0,02
Samba		4	134	0,03
Satiguila		2	94	0,02
Siramana		33	198	0,17
Vokoro		4	125	0,03
Ziguéna	10	123	0,08	

Légende : Nbre = Nombre ; Parc = Parcelle

7.2.2.5. Pour l'arachide

Pratiquement tous les villages ont un indicateur inférieur à 0,33. Ce résultat montre une totale absence de pression de cette culture sur les autres. La culture de l'arachide s'exerce sur les parcelles de tailles relativement réduites en générale de 0,25 à 0,75 hectare. Bien que la taille des parcelles ne soit pas énorme, on constate un nombre assez important de parcelles dédiées à cette culture. Mais ce nombre n'est pas élevé pour qu'on parle de pression. Dans certains villages tels que Samba, Fissaba, Vokoro et N'Tentou, nous avons des indicateurs de pression

spécifique 1 respectifs de 0,21 ; 0,19 et 0,18 pour les deux derniers villages. Dans les autres villages, les indicateurs très faibles varient de 0,00 à 0,15 (**Tableau 57**).

Tableau 57 : Indicateur de pression spécifique 1 d'arachide

Villages	Zonage	Nbre_parc_Arachide	Nbre_toutes_parcelles	Indicateurs
Benguéné	Vieux bassin cotonnier	2	109	0,02
Berthéla		11	73	0,15
Bonégué		0	74	0
Boungosso		4	91	0,04
Diora		10	103	0,1
Doukougnonan		12	97	0,12
Koloni		4	82	0,05
Kamona		10	95	0,11
Koula		7	97	0,07
Koumanzana		11	119	0,09
Ngarasso		6	96	0,06
Toula		2	76	0,03
Ziblena		0	70	0
Boromba		Zone d'extension du sud	10	76
Kambéréké	14		73	0,19
Nafégué	5		88	0,06
Winkala	10		88	0,11
Woroni	3		89	0,03
Finkolo_Zanso	Zone hétérogène en équilibre	4	77	0,05
Fissaba		9	92	0,1
Kokélé		6	88	0,07
Nérékoro		5	111	0,05
Ntentou		18	98	0,18
Ntjila_Finyana		3	58	0,05
Samba		28	134	0,21
Satiguila		14	94	0,15
Siramana		2	198	0,01
Vokoro		22	125	0,18
Ziékorodougou	5	56	0,09	
Ziguéna	6	123	0,05	

Légende : Nbre = Nombre ; Parc = Parcelle

7.3. Les indicateurs de réponse

Les indicateurs de réponse mesurent l'efficacité des réponses apportées par les sociétés à travers leurs pratiques et les politiques environnementales. Parmi les indicateurs de réponses les plus susceptibles d'être efficaces, nous pouvons citer : le rendement, la stabilité du rendement, la productivité, l'adaptabilité des différentes espèces et variétés, l'indicateur de commercialisation, etc.

7.3.1. Le Rendement

En agriculture, on appelle habituellement rendement la quantité de produit récolté sur une surface cultivée donnée. Il est souvent exprimé en kilogramme par hectare pour les grains ou en tonnes par hectare pour les produits riches en eau (racines et tubercules, fruits, etc.). Le rendement permet de mesurer la performance d'un système de production. Ainsi en fonction de cet indicateur, on distingue : l'agriculture intensive (fort rendement) et l'agriculture extensive (faible rendement).

7.3.1.1. Evolution du rendement du coton de 2013 à 2015

La production du coton apparaît comme une priorité dans les stratégies des exploitations, les rendements moyens de cette spéculation sont au-dessus de la moyenne nationale, qui était de 1 066 kg/ha (Del Villar, 2006) de façon générale. En comparant le niveau national avec celui des autres nations, on retiendra que les rendements cotonniers maliens sont en moyenne de 63 % en dessous des rendements moyens brésiliens, et inférieurs de 58 % à la moyenne de ceux des États-Unis (FAO Agrostat, 2005).

Sur les trente villages de notre échantillon, au moins vingt-deux ont des rendements moyens au-dessus de la moyenne nationale de 2015. Mais il existe toutefois des disparités entre les villages (Figure 37). Tandis que certains villages ont des rendements moyens au-dessus de 1 200 kg/ha d'autres sont en dessous de 600 kg/ha tel est le cas des villages de Diora et Toula. Cette disparité peut s'expliquer par le fait que ces villages se situent dans des zones moins favorables du point de vue des conditions climatiques à la culture du coton.

En analysant l'évolution du rendement de 2013 à 2015, on constate une baisse de rendement dans la plupart des villages. On constate cependant une évolution en dent de scie hausses en 2013 et 2014. En effet cette situation est beaucoup plus visible avec des villages où le rendement moyen est au-dessus de 1 000kg/ha.

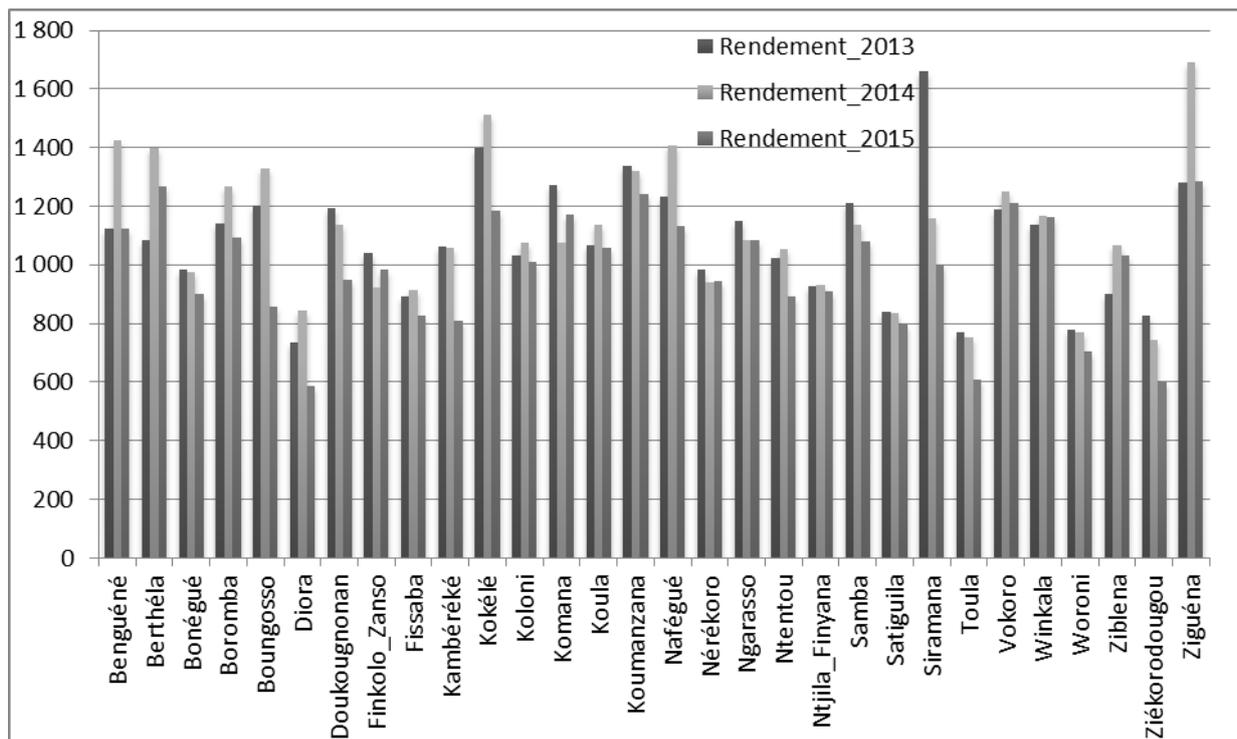


Figure 37: Evolution du rendement du coton de 2013 à 2015

7.3.1.2. Classification des rendements de coton

Pour le rendement, cinq classes ont été aussi constituées. La première concerne les exploitations de 400 kg/ha et moins. Pour la seconde classe, ce sont des exploitations dont le rendement est compris entre 401 et 800 kg/ha. La troisième classe concentre les rendements de 801 à 1 200 kg/ha. Quant à la quatrième classe, elle réunit les exploitations de 1 201 à 1 600 kg/ha, et la dernière classe assemble les exploitations de 1 601 et plus (Tableau 58).

Pour l'ensemble des exploitations de la zone cotonnière, 183 exploitations ont un rendement moyen compris entre 801 à 1200 kg/ha soit plus de 44%. La classe 401 à 800 kg/ha suit avec 112 exploitations soit plus de 27% du total. Rares sont les exploitations qui ont plus de 1 600 kg/ha. Sur un total de 412 exploitations qui font du coton, seules 25 exploitations ont un rendement dépassant 1 600kg/ha (Tableau 58).

Le vieux bassin cotonnier totalise 212 exploitations qui cultivent du coton. Sur ces exploitations, 94 ont un rendement compris entre 801 à 1200 kg/ha soit 44%. La classe 401 à 800 concentre 57 exploitations soit 27%. Tout comme pour l'ensemble de la zone cotonnière, seulement 14 exploitations ont un rendement moyen de supérieur à 1 600kg/ha.

La zone hétérogène en équilibre avec ses 10 villages totalise 126 cotonculteurs dont 60 ont leurs rendements compris entre 801 à 1200 soit 48%. Trente-deux (32) exploitations ont un rendement entre 401 à 800 kg/ha. Trois (3) exploitations n'atteignent même pas 401 kg/ha.

Pour la troisième région agricole notamment la zone d'extension du Sud, 74 exploitations cultivent le coton et sur cet effectif nous avons 29 exploitations dont le rendement est compris entre 801 et 1200 soit un peu plus de 39%. La classe 401 à 800 concentre 23 exploitations soit

plus de 31%. Nous avons seulement 1 exploitation ayant un rendement inférieur ou égal à 400 kg/ha.

Tableau 58 : Classe de rendement de coton

Zonage	Village	Rendement Coton Kg/Ha				
		Moins de 400	400 à 800	801 à 1200	1201 à 1600	1601 et plus
Vieux bassin cotonnier	Benguéné	3	1	7	2	3
	Berthéla	0	0	1	0	1
	Bonégué	0	5	8	2	0
	Boungosso	7	3	8	0	0
	Diora	4	6	2	1	1
	Doukougnonan	2	6	5	2	2
	Koloni	0	4	10	4	0
	Kamona	0	3	10	2	2
	Koula	2	1	11	3	0
	Koumanzana	1	4	6	1	2
	Ngarasso	1	2	11	4	0
	Ntjila_Finyana	0	7	5	3	0
	Toula	2	11	2	0	1
Ziblena	0	4	8	1	2	
Zone d'extension du sud	Boromba	0	4	6	5	1
	Kambéréké	0	7	4	1	2
	Nafégué	0	2	9	4	3
	Winkala	0	2	7	3	1
	Woroni	1	8	3	1	0
Zone hétérogène en équilibre	Finkolo_Zanso	0	4	12	2	0
	Fissaba	1	10	4	3	0
	Kokélé	1	0	2	1	0
	Nérékoro	1	4	10	2	0
	Ntentou	0	4	11	1	0
	Samba	0	4	2	4	0
	Satiguila	0	3	3	0	0
	Vokoro	0	0	10	7	1
	Ziékorodougou	0	2	0	0	0
	Ziguéna	0	1	6	7	3
Total		26	112	306	105	46

7.3.1.3. Evolution du rendement du maïs de 2013 à 2015

Le maïs est une culture à haute potentialité et permet de résoudre les problèmes de déficit vivrier si elle est bien conduite. Convaincues de ces données, les autorités maliennes ont décidé de promouvoir la production du maïs dans la zone cotonnière du Mali au cours des années 70 (CIRAD, 1995). La productivité du maïs est beaucoup plus élevée que celle du coton, rares sont les villages où le rendement moyen est en dessous de 1 000 kg/ha. Le rendement à dépasse 1 500 kg/ha dans vingt-trois villages et atteint plus de 3 000 kg/ha dans le village de Siramana (Figure 38).

En ce qui concerne l'évolution du rendement, il est difficile de tirer des enseignements concernant les tendances. Il y'a des villages où la tendance est à l'augmentation (Bonégué et Boromba), certains en dents de scie (Diora, Fissaba, Nérékoro, etc.) et d'autres à la diminution (Boungosso et Benguénié). Cela pose le problème de stabilité du rendement de cette spéculation. Mais de manière générale, la tendance est à l'augmentation du rendement 2013 à 2015. Cette progression pourrait s'expliquer en partie par l'introduction récente de nouvelles variétés plus productives et l'utilisation renforcée d'engrais et de fumure organique (Mas Aparisi, 2013).

Le développement de la production du maïs provient du lien existant entre la culture du coton et celle du maïs. Le maïs, semé après le coton, bénéficie de l'arrière effet des engrais utilisés pour le coton.

Avec un rendement nettement meilleur que les autres céréales sèches, il permet aux producteurs d'assurer leur sécurité alimentaire sur une surface moindre, et ainsi augmenter la culture du coton. Le développement du maïs a été soutenu par la CMDT à travers la distribution d'engrais et de semences de maïs améliorées (Diallo, 2011).

Il existe également une forte disparité géographique dans la production de maïs (Mas Aparisi, 2013). Cette situation s'explique par l'exigence de la plante vis-à-vis de l'eau : elle est sensible au stress hydrique.

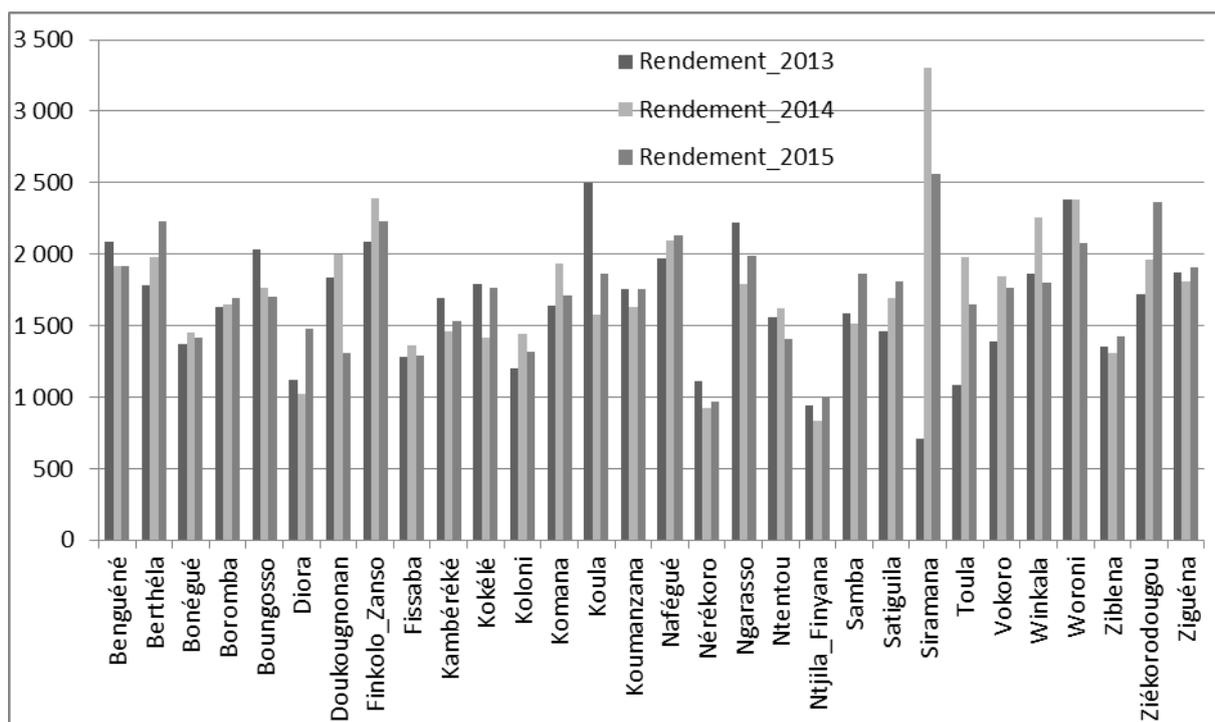


Figure 38 : Evolution du rendement du maïs de 2013 à 2015

7.3.1.4. Classification du rendement de maïs

Contrairement au coton dont très peu d'exploitations dépassent 1 600kg/ha de rendement moyen, près de la moitié des exploitations de la zone cotonnière ont plus 1 600kg/ha. En effet 233 exploitations sur 484 soit 48% ont un rendement moyen de 1 601 et plus. Cela s'explique par le fait que la productivité du maïs est très élevée par rapport au coton. La classe 1201 à 1600 réunit 91 exploitations soit plus de 18%. Les exploitations avec un rendement moyen inférieur ou égal à 400 kg/ha sont très peu nombreuses. On compte seulement 20 exploitations dans cette classe (Tableau 59).

Le vieux bassin cotonnier suit la même tendance que celle de l'ensemble de la zone cotonnière avec un nombre important d'exploitations ayant plus de 1 600kg/ha. Au total, 88 exploitations sur 216 sont dans cette classe. Plus on descend classe par classe plus le nombre d'exploitation diminue. Autrement dit la classe de 1 201 à 1 600 à plus de d'exploitation que la classe 801 à 1 200. Le plus faible nombre d'exploitation est à l'actif de la classe Moins de 400 kg/ha.

Quant à la zone hétérogène en équilibre, c'est toujours les exploitations les plus productives qui sont les plus nombreuses à leurs têtes les plus de 1 600kg/ha qui totalisent 94 exploitations sur les 178 soit plus de 52%. La classée la moins dotée d'exploitation, celle ayant moins de 400 kg/ha.

La zone d'extension du Sud suit la même disposition que les deux précédentes régions agricoles où on retrouve ma majorité des exploitations dans la classe de 1 601 et plus. Dans cette nous avons 51 exploitations sur les 90 que compte cette zone.

Tableau 59 : Classe de rendement de Maïs

Zonage	Village	Rendement Maïs Kg/HA				
		Moins de 400	400 à 800	801 à 1200	1201 à 1600	1601 et plus
Vieux bassin cotonnier	Benguéné	1	0	0	3	9
	Berthéla	0	0	1	3	9
	Bonégué	0	2	4	5	6
	Boungosso	2	3	1	2	9
	Diora	3	2	2	2	6
	Doukougnonan	2	0	6	6	3
	Koloni	2	3	5	3	4
	Kamona	0	3	0	4	6
	Koula	1	2	3	2	5
	Koumanzana	1	2	3	2	8
	Ngarasso	0	2	3	3	9
	Ntjila_Finyana	0	8	4	2	3
	Toula	1	3	3	3	4
	Ziblena	1	5	2	2	7
Zone d'extension du sud	Boromba	0	1	4	3	10
	Kambéréké	1	2	2	6	7
	Nafégué	0	3	0	4	11
	Winkala	0	1	2	6	9
	Woroni	0	0	1	3	14
Zone hétérogène en équilibre	Finkolo_Zanso	0	0	1	3	14
	Fissaba	1	1	6	2	6
	Kokélé	1	3	1	3	4
	Nérékoro	0	5	8	1	1
	Ntentou	0	3	4	5	5
	Samba	0	0	3	4	9
	Satiguila	0	1	2	2	12
	Siramana	2	1	2	0	12
	Vokoro	1	1	0	4	10
	Ziékorodougou	0	2	3	2	9
Ziguéna	0	0	5	1	12	

7.3.1.5. Evolution du rendement du Sorgho de 2013 à 2015

En 2015, le sorgho était cultivé dans tous les villages de la zone hétérogène en équilibre sauf à Ziékorodougou. Le rendement moyen national pour cette culture est de 970 Kg/ha (Fall, 2011). Le village de Koumanzana avait le meilleur rendement moyen en 2015 avec 1 065 kg/ha. Deux (2) villages obtiennent plus d'une tonne à l'hectare. Il s'agit de Benguééné et

Ziguéna. Six villages ont un rendement moyen supérieur à 800 kg/ha. Il s'agit de Kamona (960 kg/ha), de Koloni (945 kg/ha), de Ngarasso (928 kg/ha), de Vokoro (898 kg/ha), de Boromba (880 Kg/ha) et de Bonégué (862 kg/ha).

En ce qui concerne l'évolution du rendement de 2013 à 2015, nous constatons une tendance générale à la baisse avec des disparités intra et inter villages importantes. En effet le rendement moyen de Kambéréké dans la zone d'extension du Sud, est passé de 1 500 kg/ha à 200 kg/ha entre 2013 à 2015. Et celui de Ngarasso dans le vieux bassin cotonnier est passé de 928 à 648kg pour les mêmes périodes.

Concernant la disparité inter villageoises, certains villages ont un rendement moyen supérieur à 1 000 kg/ha durant les trois ans. En même temps d'autres villages ont plus de 600 kg/ha. Ceci s'explique par le fait qu'il y'a des exploitants qui mettent le sorgho en tête de leurs rotations alors que chez d'autres il n'est que secondaire. (Fall, 2011) confirme cette hypothèse dans ses analyses sur la chaîne de valeur de mil/sorgho au Mali. Il a identifié des régions de céréales traditionnelles mil/sorgho et des régions orientées vers le Maïs (Figure 39).

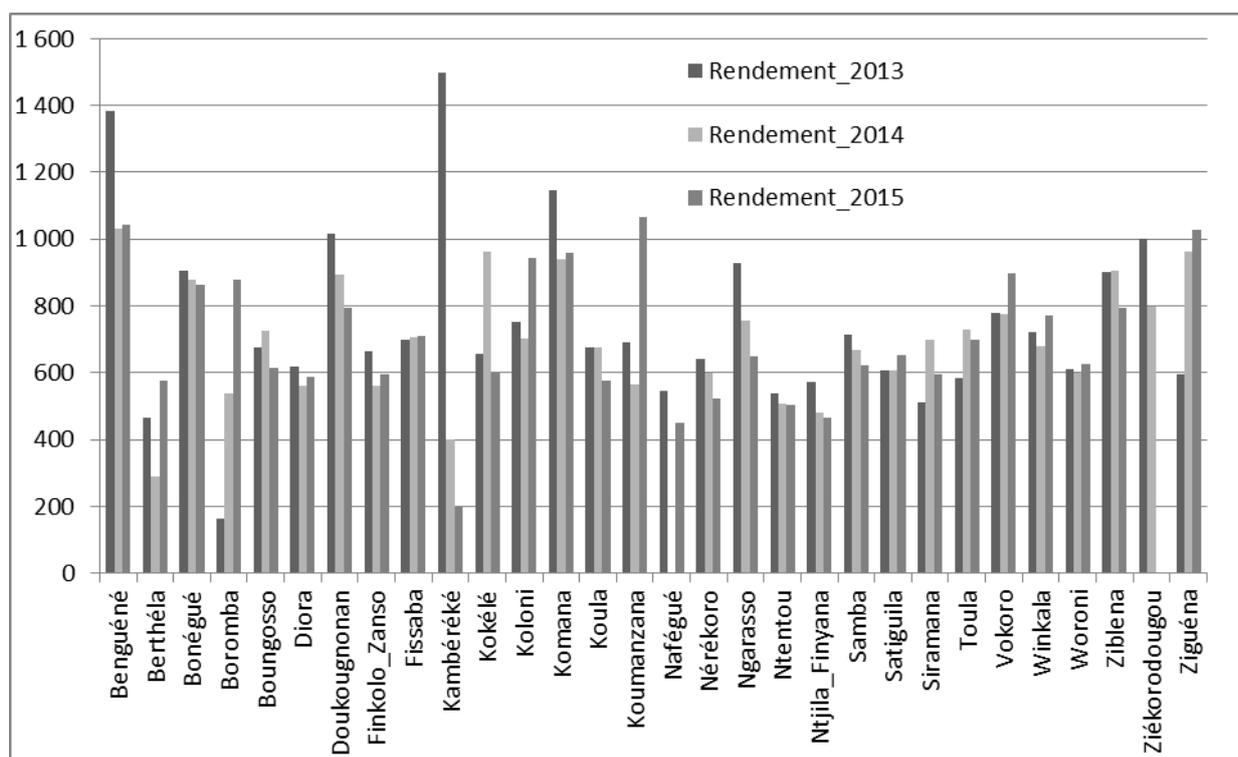


Figure 39 : Evolution du rendement du Sorgho de 2013 à 2015

7.3.1.6. Classification du rendement de sorgho

Le sorgho est une espèce moins productive que les deux précédentes espèces comme atteste son rendement moyen. Sur un total de 491 exploitations, 316 ont un rendement moyen de moins de 1 000 kg/ha. La classe 400 à 800 kg/ha réunit 203 exploitations soit 41% du total. Les exploitations de la classe 801 à 1200 kg/ha sont très importantes en termes de nombre.

Nous avons dans cette classe 126 exploitations soit une proportion de 26%. En revanche, on a un nombre très limité de d'exploitation dans la classe 1 601 et plus (Tableau 60).

Le vieux bassin avec ses 14 villages totalise 209 exploitations, qui cultivent le sorgho. Dans cette zone, nous avons 82 exploitations, qui ont leurs rendements dans la fourchette 400 à 800 kg/ha soit une proportion de 39% et 57 exploitations ont un rendement compris en 801 et 1200 kg/ha. Nous avons seulement 11 exploitations dépassent 1 6000 kg/ha.

En ce qui concerne la Zone hétérogène en équilibre parmi les villages de la zone, seulement quatre ont une exploitation avec un rendement de plus de 1601 Kg/Ha. La plupart des exploitations de cette zone ont un rendement inférieur à 1 200 Kg/Ha soit 87 exploitions et une proportion de 66%.

La zone d'extension du sud n'est pas une zone de sorgho par excellence, d'où un total de 20 exploitations qui font du sorgho. Les peu d'exploitations qui en font ont des rendements assez faibles. Tout comme les zones précédentes, 80 % des exploitations ont moins 1 tonne/ha comme rendement moyen. Nous avons dans cette zone 11 exploitations dont le rendement est entre 400 à 800 kg/ha et pas d'exploitation, qui dépasse 1 600kg/ha.

Tableau 60 : Classe de Rendement de Sorgho

Zonage	Village	Rendement classe				
		Moins de 400	400 à 800	801 à 1200	1201 à 1600	1601 et plus
Vieux bassin cotonnier	Benguéné	3	3	2	2	3
	Berthéla	4	2	1	1	1
	Bonégué	1	5	9	2	0
	Boungosso	5	8	5	0	0
	Diora	5	7	3	1	0
	Doukougnonan	2	8	3	3	1
	Koloni	0	10	3	3	1
	Kamona	1	3	6	0	1
	Koula	6	10	2	0	0
	Koumanzana	1	2	6	1	3
	Ngarasso	4	4	4	1	0
	Ntjila_Finyana	8	5	3	0	0
	Toula	4	6	3	0	1
	Ziblena	0	9	7	1	0
Zone d'extension du sud	Boromba	0	2	0	1	0
	Kambéréké	3	1	0	0	0
	Nafégué	1	1	0	0	0
	Winkala	1	6	3	0	0
	Woroni	0	1	0	0	0
Zone hétérogène en équilibre	Finkolo_Zanso	4	3	3	0	0
	Fissaba	3	6	6	1	1
	Kokélé	7	1	1	1	1
	Nérékoro	5	7	1	0	0
	Ntentou	3	5	0	0	0
	Samba	2	7	3	0	0
	Satiguila	3	5	3	1	0
	Siramana	4	8	1	1	0
	Vokoro	1	7	8	0	1
Ziguéna	0	6	7	3	1	

7.3.1.7. Evolution du rendement du mil de 2013 à 2015

La culture du mil est généralement extensive sans apport de fertilisant et sur des sols légers, bien drainés et pauvres en matières organiques. Il possède une plus grande tolérance à la mauvaise pluviométrie (Sanders et Ouendeba, 2010). Le rendement moyen national était de 785 kg/ha (Fao, 2007). La pratique de la culture du mil n'est pas observée au niveau de tous

les villages, nous observons une absence totale de cette spéculation à Ziékorodougou sur les trois années. Le mil n'est cultivé à Nafégou qu'en 2015.

Le village de Benguéne dans le Nord du vieux bassin cotonnier enregistre le rendement moyen à l'hectare le plus élevé en 2015 avec 1 250 kg/ha tandis que le village de Nafégou enregistre le rendement le plus faible avec 400 kg/ha. Il y a seulement deux (02) villages qui obtiennent au moins une (01) tonne à l'hectare sinon tous les autres villages sont en dessous d'une tonne. On constate une tendance à la baisse du rendement du mil pendant la période 2013 à 2015 (Figure 40).

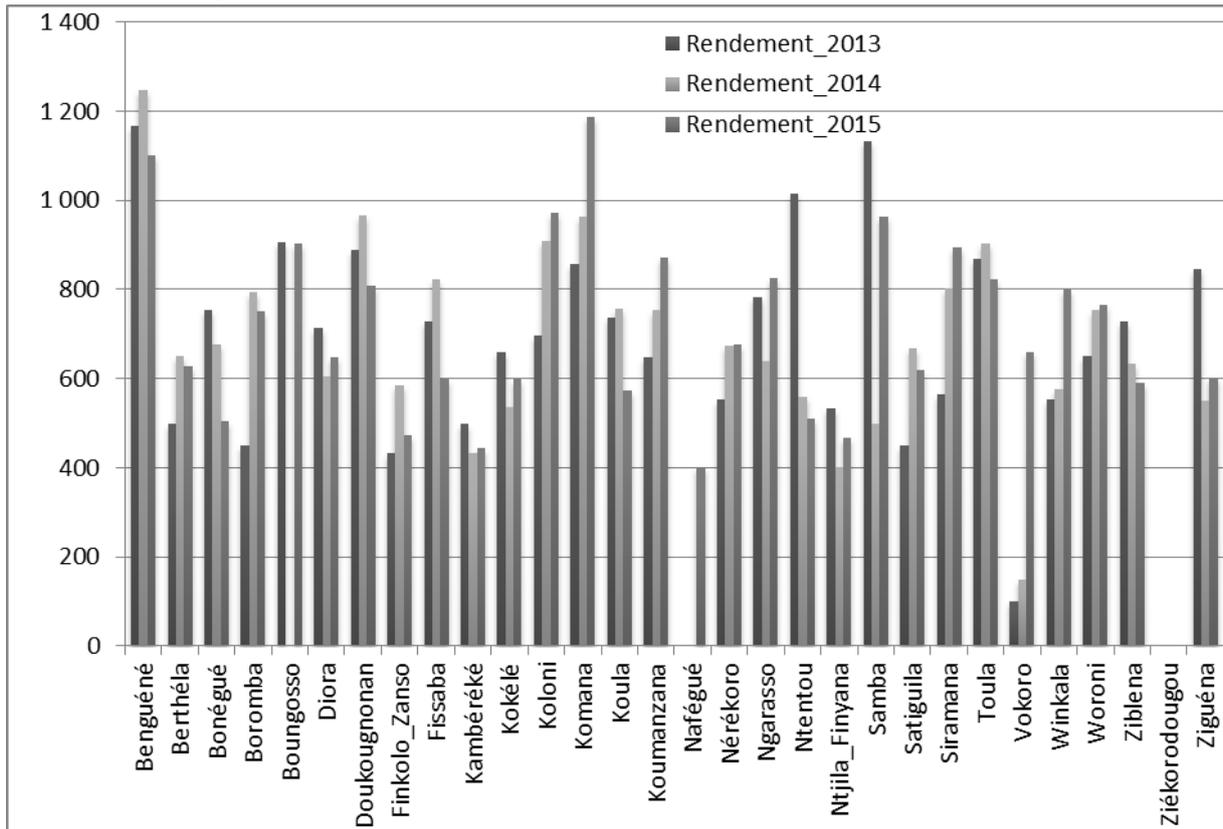


Figure 40 : Evolution du rendement du mil de 2013 à 2015

7.3.1.8. Classification du rendement de mil

Dans notre échantillon, 268 exploitations cultivent le mil, sur ce total, 154 exploitations cultivent moins de 1 000 kg/ha soit 57%. La classe 400 à 800 kg/ha possède le plus grand nombre d'exploitation avec pas moins de 106 soit une proportion de 40% du total. Elle est suivie par la classe de 801 à 1200 kg/ha qui regorge 76 exploitations. Les classes 1201 à 1600 et 1601 et plus possède chacune 19 exploitations soit une proportion de 7%.

En ce qui concerne le Vieux bassin cotonnier, 75 exploitations ont un rendement qui varie entre 400 à 800 kg/ha. Une soixantaine (60) exploitations font parties de la classe 801 à 1200. Par contre 14 exploitations sont dans la tranche 1201 à 1600 kg/ha (Tableau 61).

On note que 23 sur 52 exploitations de la zone hétérogène en équilibre ont un rendement entre 400 à 800. Dans la classe où le rendement est inférieur à 400 kg/ha, on retrouve 14

exploitations. Seulement 2 exploitations dans cette zone ont un rendement compris entre 1201 à 1600 kg/ha. Ce qui démontre une forte disparité entre les classes.

Le rendement du mil est très faible dans la zone d'extension du sud que dans les deux autres régions agricoles notamment le vieux bassin cotonnier et la zone hétérogène en équilibre. 60% de ses villages ont des exploitations avec un rendement de moins de 1 000 Kg/Ha. On note aussi l'absence des exploitations à fort rendement plus de 1 600 kg/ha.

Tableau 61 : Classe de Rendement de Mil

Zonage	Village	Rendement classe				
		Moins de 400	400 à 800	801 à 1200	1201 à 1600	1601 et plus
Vieux bassin cotonnier	Benguéné	0	2	3	5	6
	Berthéla	2	10	4	1	1
	Bonégué	2	4	0	0	0
	Boungosso	2	6	4	1	1
	Diora	5	4	7	0	1
	Doukougnonan	3	5	5	1	1
	Koloni	1	2	5	1	0
	Kamona	1	4	9	1	2
	Koula	3	12	2	0	0
	Koumanzana	1	5	7	3	1
	Ngarasso	2	7	5	1	1
	Ntjila_Finyana	0	1	0	0	0
	Toula	2	6	7	0	1
	Ziblena	3	7	2	0	0
Zone d'extension du sud	Boromba	0	1	0	0	0
	Kambéréké	1	2	0	0	0
	Nafégué	1	0	0	0	0
	Winkala	4	1	2	1	0
	Woroni	1	4	5	2	0
Zone hétérogène en équilibre	Finkolo_Zanso	2	2	0	0	0
	Fissaba	1	0	1	0	0
	Kokélé	0	0	0	0	1
	Nérékoro	1	4	2	1	0
	Ntentou	1	2	1	0	0
	Samba	2	0	1	0	1
	Satiguila	0	2	0	0	0
	Siramana	3	5	2	1	2
	Vokoro	2	1	1	0	0
Ziguéna	2	7	1	0	0	

7.3.1.9. Evolution du rendement d'arachide de 2013 à 2015

La rusticité de la plante et sa plasticité lui valent d'être souvent reléguée sur des sols peu fertiles et dans des régions à pluviométrie limitante, les rendements sont alors inférieurs à une tonne par hectare en culture extensive. On constate à partir de la Figure 41 ci-dessous que le rendement moyen dans ces villages est à majorité en dessous du rendement moyen national qui était de 1 000 kg/ha en 2008 (Yiriwa conseil, 2008). Ce rendement évolue en dent de scie entre les trois dates. Le rendement le plus élevé est observé à Samba en 2015 avec plus de 2 000 kg/ha au même moment, le village de Koloni avait moins de 200 kg/ha ce qui traduit de fortes disparités entre les villages.

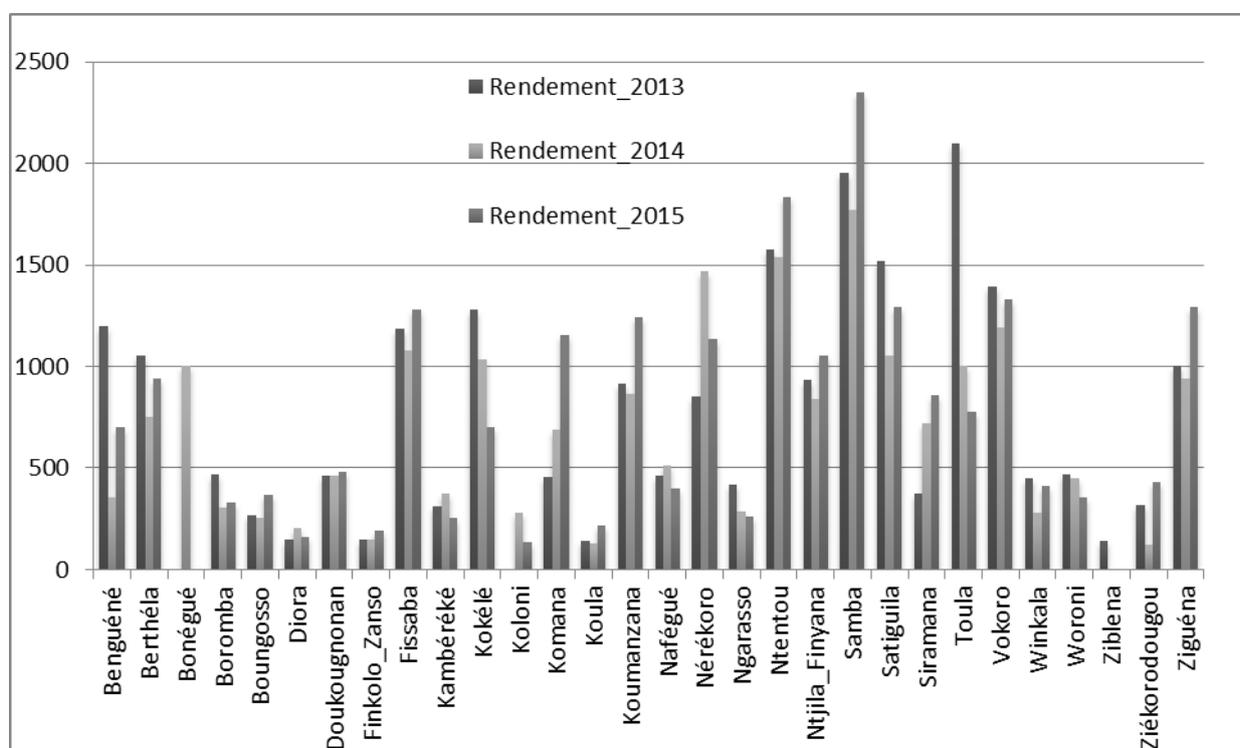


Figure 41 : Evolution du rendement d'arachide de 2013 à 2015

7.3.1.10. Classification du rendement d'arachide

Dans les trente (30) villages de notre échantillon, les exploitations qui cultivent l'arachide sont au nombre de 208. De ce chiffre, 75 exploitations ont un rendement moyen inférieur ou égal à 400 kg/ha soit un peu plus de 36%. Après cette classe, nous avons 46 exploitations dans la tranche 400 à 800 kg/ha ce qui représentent une proportion de 22%. Les exploitations qui dépassent un rendement de 1 000 kg/ha sont importantes. Elles sont au nombre de 57 soit 27% (Tableau 62).

Dans le vieux bassin cotonnier, 80 exploitations réunies dans 12 villages cultivent l'arachide mais les rendements sont faibles en général. En effet 58 exploitations soit 73% n'ont pas

1 000kg/ha. Dans ce lot, 39 exploitations ont un rendement moyen qui dépasse pas 400 kg/ha et 19 exploitations ont leurs rendements compris entre 401 à 800 kg/ha. On remarque également 5 exploitations arrivent au-delà de 1 600kg/ha comme rendement.

La zone hétérogène en équilibre à plus d'exploitations qui cultivent l'arachide qui le vieux bassin cotonnier soit 88 exploitations concentrées dans 10 villages. Parmi ces exploitations, 31 dépassent 1 600 kg/ha ce qui est remarquable quand on sait que le rendement moyen national dépasse rarement 1 000kg/ha. Contrairement à la précédente zone, la classe de moins de 401 kg/ha n'a que 10 exploitations.

On se rend compte qu'au niveau de la zone d'extension du Sud, la culture d'arachide est moins pratiquée. Elle est mise en œuvre seulement dans 40 exploitations dans lesquelles 39 ont un rendement inférieur à 1 000 kg/ha. Seulement une exploitation dépasse cette valeur.

Tableau 62 : Classe de Rendement d'arachide

Zonage	Village	Rendement Arachide Kg/Ha				
		Moins de 400	400 à 800	801 à 1200	1201 à 1600	1601 et plus
Vieux bassin cotonnier	Benguéné	0	2	0	0	0
	Berthéla	2	1	5	2	1
	Boungosso	3	1	0	0	0
	Diora	9	0	0	0	0
	Doukougnonan	7	3	1	1	0
	Koloni	4	0	0	0	0
	Komana	1	6	2	0	1
	Koula	6	1	0	0	0
	Koumanzana	1	3	1	2	3
	Ngarasso	6	0	0	0	0
	Ntjila_Finyana	0	0	1	2	0
	Toula	0	2	0	0	0
Zone d'extension du sud	Boromba	4	4	0	0	0
	Kambéréké	11	3	0	0	0
	Nafégué	3	2	0	0	0
	Winkala	7	2	1	0	0
	Woroni	1	2	0	0	0
Zone hétérogène en équilibre	Finkolo_Zanso	4	0	0	0	0
	Fissaba	0	3	1	2	3
	Kokélé	1	1	2	1	0
	Nérékoro	1	0	3	0	1
	Ntentou	0	2	2	2	8
	Samba	0	0	3	5	7
	Satiguila	0	3	2	1	7
	Vokoro	0	2	6	3	2
	Ziékorodougou	3	1	0	0	1
Ziguéna	1	2	0	0	2	

7.3.2. Indicateur de stabilité du rendement

La forte variabilité de la pluviométrie et la réduction de la longueur des saisons pluvieuses entraînent en domaine sahélien une désorganisation du calendrier cultural qui rend indispensable la sélection de variétés dont les rendements restent stables, aussi bien en année sèche qu'en année pluvieuse.

L'indicateur de stabilité du rendement est issu de la différence entre l'écart type rendement de toutes les espèces (V2) et de l'écart type du rendement d'une espèce telle que le coton par exemple (V1).

Il compare le rendement d'une espèce à celui de l'ensemble des autres espèces. Cet indicateur est stable si sa valeur est positive et moins stable si sa valeur est négative. Les valeurs positives proches de zéro (0) sont les plus stables.

7.3.2.1. Stabilité du rendement de coton

L'indicateur de stabilité du rendement montre que les rendements de coton sont plus stables dans les villages du vieux bassin cotonnier représentés par Benguéne avec la valeur 22, Koumanzana avec 26, Ziblena avec 60, Berthéla avec 70 et Doukougnonan avec 83. Cette relative stabilité de l'indicateur de rendement dans ces villages s'explique par la simple raison qu'il y'a très peu de variation entre le rendement coton et les autres cultures.

Ces résultats contredisent ceux de (Sanogo, 2012 et Bouma, 2002). Selon ces auteurs, les villages qui ont l'indicateur de stabilité de rendement les plus stables se trouvaient beaucoup plus au sud avec des pluviométries importantes et moins aléatoires ; et que la deuxième raison est le caractère intensif des systèmes de culture principalement grâce à l'utilisation de la fumure organique et des engrais chimiques. En plus de ces cinq villages, on constate que le rendement de façon générale est stable dans tous les autres villages hormis Finkolo_Zanso dans la zone hétérogène en équilibre qui a une valeur d'indicateur négative (**Tableau 63**).

Tableau 63 : Indicateur de stabilité du rendement de coton

Village	Zonage	Ecartype Rend Toutes espèce	Ecartype Rend coton	Indicateur
Benguéné	Vieux bassin cotonnier	820	798	22
Berthéla		847	778	70
Bonégué		618	270	347
Boungosso		682	358	324
Diora		680	407	272
Doukougnonan		530	447	83
Koloni		632	251	380
Kamona		1 255	540	715
Koula		607	293	314
Koumanzana		980	953	26
Ngarasso		803	276	526
Toula		603	323	280
Ziblena		589	530	60
Boromba		817	369	448
Kambéréké	Zone d'extension du sud	628	404	224
Nafégué		985	393	592
Winkala		719	271	448
Woroni		3 042	284	2 758
Finkolo_Zanso	Zone hétérogène en équilibre	193	863	-671
Fissaba		721	271	450
Kokélé		1 255	593	662
Nérékoro		522	259	264
Ntentou		1 576	187	1 388
Ntjila_Finyana		759	316	444
Samba		1 201	305	896
Satiguila		1 344	270	1 073
Siramana		1 155	318	836
Vokoro		651	235	417
Ziékorodougou		2 886	236	2 650
Ziguéna		6 271	296	3 974

Légende : Rend = Rendement

7.3.2.2. Stabilité du rendement de Maïs

Pour ce qui est du maïs, c'est dans les Winkala et suivi de Boromba dans la zone d'extension du sud, Berthéla, Benguéné dans le vieux bassin que nous avons les indicateurs de stabilité du rendement les plus faibles avec des valeurs très élevées en indicateurs ce qui signifie que l'écart à la moyenne est beaucoup plus grand. Curieusement, on observe que les villages où la culture du maïs est moins développée telle que Benguéné, Berthéla ou encore Kamona une stabilité relativement importante. Cette situation peut s'expliquer par le fait que les terres fertiles sont très souvent attribuées aux cultures dites sensibles aux stress climatiques (Dembélé, 2012).

Mais on constate avec le maïs que les rendements sont moins stables dans dix-sept (17) villages sur trente (30) ce qui confirme le constat fait au niveau de l'évolution du rendement avec une forte disparité entre les villages.

Des études de (Diarra, 2004 et Diallo, 2011) montrent que la stabilité du rendement de maïs dépend beaucoup plus des conditions climatiques et de l'apport des fertilisants. Pour (Hama, 2000) la stabilité du rendement dépend des conditions de culture, le niveau technique des paysans et surtout la pluviométrie (**Tableau 64**).

Tableau 64 : Indicateur de stabilité du rendement de Maïs

Village	Zonage	Ecartype Rend Toutes espèce	Ecartype_Rend_Maïs	Indicateur
Benguéné	Vieux bassin cotonnier	820	729	91
Berthéla		847	769	78
Bonégué		618	776	-159
Boungosso		682	933	-251
Diora		680	1 019	-339
Doukougnonan		530	613	-84
Koloni		632	882	-250
Kamona		1 255	1 097	158
Koula		607	931	-324
Koumanzana		980	1 477	-498
Ngarasso		803	1 043	-240
Toula		603	756	-153
Ziblena		589	779	-190
Boromba		Zone d'extension du sud	817	758
Kambéréké	628		532	96
Nafégué	985		1 142	-157
Winkala	719		699	20
Woroni		3 042	813	2 229
Finkolo_Zanso	Zone hétérogène en équilibre	193	630	-438
Fissaba		721	887	-166
Kokélé		1 255	1 710	-455
Nérékoro		522	327	196
Ntentou		1 576	591	984
Ntjila_Finyana		759	1 150	-391
Samba		1 201	912	289
Satiguila		1 344	564	780
Siramana		1 155	1 480	-325
Vokoro		651	685	-34
Ziékorodougou		2 886	1 097	1 789
Ziguéna	6 271	748	4 523	

Légende : Rend = Rendement

7.3.2.3. Stabilité du rendement de Sorgho

L'indicateur de stabilité du rendement du sorgho montre que le rendement est stable dans vingt-sept (27) villages sur les trente (**Tableau 65**). La stabilité est beaucoup plus élevée dans les villages de Toula, Doukougnonan, Benguéne et Vokoro avec respectivement des valeurs d'indicateurs de 63, 63, 135 et 176. Dans le village de Finkolo_Zanso, le rendement est moins stable avec une valeur de -99. Il faut cependant signaler que dans deux (2) villages (Ziékorodougou et Woroni), on n'a pas eu de valeurs d'indicateurs. Pour le premier village il n'avait pas de parcelle de sorgho en 2015.

Pour le second, le nombre de parcelle de sorgho était une seule donc on ne peut pas calculer l'Écartype avec une seule valeur. La stabilité élevée du rendement du sorgho pourrait s'expliquer par sa rusticité et ses conditions d'adaptation à peu ou pas de fertilisant. Ce résultat confirme la conclusion faite par (Weltzien, 2014) qui trouve qu'en raison du peu d'intrants qu'il nécessite et de sa stabilité de rendement dans des conditions défavorables, le sorgho pourrait devenir une culture de choix dans certaines régions.

Dans toutes les zones agro écologiques de la zone cotonnière le sorgho est cultivé. Dans la partie Nord de la zone cotonnière, le sorgho est la première culture céréalière et au Sud il vient en seconde position après le maïs.

Tableau 65 : Indicateur de stabilité du rendement de Sorgho

Village	Zonage	Ecartype Rend Toute espèce	Ecartype Rend Sorgho	Indicateur
Benguéné	Vieux bassin cotonnier	820	644	176
Berthéla		847	579	269
Bonégué		618	247	371
Boungosso		682	337	345
Diora		680	410	269
Doukougnonan		530	467	63
Koloni		632	528	104
Kamona		1 255	340	915
Koula		607	218	389
Koumanzana		980	763	217
Ngarasso		803	349	454
Toula		603	540	63
Ziblena		589	221	368
Boromba	Zone d'extension du sud	817	448	369
Kambéréké		628	337	291
Nafégué		985	495	490
Winkala		719	289	430
Woroni		3 042	#DIV/0!	#DIV/0!
Finkolo_Zanso	Zone hétérogène en équilibre	193	292	-99
Fissaba		721	367	354
Kokélé		1 255	638	617
Nérékoro		522	187	335
Ntentou		1 576	130	1 445
Ntjila_Finyana		759	253	506
Samba		1 201	288	913
Satiguila		1 344	362	981
Siramana		1 155	378	776
Vokoro		651	517	135
Ziékorodougou		2 886	Pas de sorgho	#VALEUR!
Ziguéna		6 271	367	5 903

Légende : Rend = Rendement

7.3.2.4. Stabilité du rendement de Mil

De façon générale, l'indicateur de stabilité des rendements de mil montre que les rendements sont stables dans vingt (20) villages (Tableau 66). Trois villages ont des indicateurs de stabilité de rendement élevés par rapport aux autres villages.

Il s'agit notamment de Nérékoro, Doukougnonan et Toula avec des indicateurs respectifs de 11, 77 et 85. Il est noté que seul le village de Samba a le rendement moins stable.

Le nombre de parcelle faible ou souvent l'absence de parcelle de mil dans certains villages n'ont pas permis d'avoir de valeurs d'indicateurs dans ces villages.

Tableau 66 : Indicateur de stabilité du rendement de Mil

Village	Zonage	Ecartype Rend Toutes espèces	Ecartype Rend Mil	Indicateur
Benguéné	Vieux bassin cotonnier	820	693	127
Berthéla		847	390	458
Bonégué		618	220	398
Boungosso		682	454	228
Diora		680	492	188
Doukougnonan		530	452	77
Koloni		632	363	268
Kamona		1 255	650	605
Koula		607	196	411
Koumanzana		980	426	554
Ngarasso		803	423	379
Toula		603	517	85
Ziblena		589	219	370
Boromba		Zone d'extension du sud	817	#DIV/0!
Kambéréké	628		184	444
Nafégué	985		Une seule parcelle	#VALEUR!
Winkala		719	427	292
Woroni		3 042	366	2 676
Finkolo_Zanso	Zone hétérogène en équilibre	193	69	124
Fissaba		721	566	155
Kokélé		1 255	Une seule parcelle	#VALEUR!
Nérékoro		522	512	11
Ntentou		1 576	370	1 206
Ntjila_Finyana		759	#DIV/0!	#DIV/0!
Samba		1 201	1 453	-252
Satiguila		1 344	153	1 190
Siramana		1 155	584	571
Vokoro		651	#DIV/0!	#DIV/0!
Ziékorodougou		2 886	Pas de Mil	#VALEUR!
Ziguéna		6 271	180	6 091

Légende : Rend = Rendement

7.3.2.5. Stabilité du rendement d'arachide

Tout comme la plupart des cultures ciblées ci-dessus par cette étude, le Tableau 67 de l'indicateur de stabilité du rendement montre la stabilité du rendement dans la plupart des villages soient vingt-six villages sur les trente. Quatre villages ont des indicateurs de stabilité négatifs ce qui montre que dans ces villages les rendements ne sont pas stables, il s'agit de Fissaba, Nérékoro, Samba et Vokoro.

Tableau 67 : Indicateur de stabilité du rendement d'arachide

Village	Zonage	Ecartype Rend Toutes espèces	Ecartype Rend Arachide	Indicateur
Benguéné	Vieux bassin cotonnier	820	71	749
Berthéla		847	663	184
Bonégué		618	0	618
Boungosso		682	222	460
Diora		680	126	553
Doukougnonan		530	353	177
Koloni		632	161	471
Kamona		1 255	239	1 016
Koula		607	171	436
Koumanzana		980	872	108
Ngarasso		803	101	702
Toula		603	35	567
Ziblena		589	0	589
Boromba		Zone d'extension du sud	817	139
Kambéréké	628		185	443
Nafégué	985		173	812
Winkala	719		280	439
Woroni		3 042	0	3 042
Finkolo_Zanso	Zone hétérogène en équilibre	193	67	125
Fissaba		721	1052	-331
Kokélé		1 255	458	797
Nérékoro		522	648	-126
Ntentou		1 576	1198	378
Ntjila_Finyana		759	433	326
Samba		1 201	1585	-385
Satiguila		1 344	886	457
Siramana		1 155	390	764
Vokoro		651	818	-166
Ziékorodougou		2 886	1237	1 649
Ziguéna		5 271	361	6 909

Légende : Rend = Rendement

7.4. Synthèse du chapitre VII

On constate une grande diversité au niveau spécifique et des systèmes de culture. Les valeurs moyennes de l'indicateur de diversités spécifiques les plus élevées sont enregistrées dans les villages où la moyenne pluviométrique est comprise entre 700 à 1000 mm d'eau suivis par des villages de moins de 700 mm. La majorité des exploitations dans ces villages cultive plus de la moitié des espèces culturales présentes dans leurs villages respectifs. La culture plusieurs espèces permet à ces exploitants de répartir les risques économiques et environnementaux entre ces différentes spéculations, en contrepartie, la diversité peut conduire aussi à la dispersion des efforts et en conséquence des résultats moins importants.

L'indicateur de diversité des systèmes de culture donne ce même constat. Les actions pour le maintien in situ doivent concerner un nombre important d'exploitations pour conserver l'ensemble de la diversité à l'échelle du village. La grande diversité spécifique et des systèmes de culture (SC) s'inscrit dans une logique de développement durable et de minimisation du risque. En effet, plus les systèmes de culture sont diversifiés moins il y a de menace (dispersion du risque et complémentarité) et plus on tend vers une sécurité alimentaire (Dufumier, 1994 et Snrech, 1997).

L'indicateur de pression spécifique montre une répartition géographique des pressions des différentes espèces culturales. En effet, dans les villages où le coton est en tête de rotation, il exerce une forte pression sur les autres espèces. Dans ces villages, la surface en coton est beaucoup plus importante celles des autres espèces. Le même constat est fait pour le maïs. La pression de ces deux espèces est forte dans les villages situés au sud de la zone cotonnière. Elle est moindre en remontant vers le Nord. Par contre pour le Mil et le Sorgho, la pression est forte dans les villages du Nord et diminue vers le Sud. Seul l'arachide n'exerce pas de pression sur les autres espèces en général pour la simple raison que cette culture est secondaire dans tous les villages de l'échantillon. Elle est produite pour la diversification et ses résidus constituent de fourrage pour l'élevage.

Le même phénomène est observé avec l'indicateur de pression spécifique 1 pour les quatre cultures (Coton, Maïs, Mil et sorgho). A la différence, la pression de l'arachide est visible dans certains villages. La culture de l'arachide s'exerce sur les parcelles de taille relativement réduite en générale de 0,25 à 0,75 hectare. Bien que la taille des parcelles ne soit pas énorme, on constate un nombre assez important de parcelles dédiées à cette culture dans certains villages tels que Samba, Fissaba, Vokoro et N'Tentou.

Pour le rendement, on constate que la plupart des villages ont des rendements moyens de coton au-dessus de la moyenne nationale en 2015. En analysant son évolution entre 2013 et 2015, on constate une baisse de rendement dans la plupart des villages même si cette baisse est très souvent en dent de scie avec des hausses en 2013 et 2014. En effet cette situation est beaucoup plus visible avec des villages où le rendement moyen est au-dessus de 1000kg/ha.

En ce qui concerne l'évolution du rendement de maïs, il est difficile de tirer des enseignements concernant les tendances.

Il y'a des villages où la tendance est à l'augmentation, certains en dent de scie et d'autres à la diminution d'une année à l'autre. Pour ce qui concerne l'évolution du rendement de sorgho de 2013 à 2015, nous constatons une tendance générale à la baisse avec des disparités importantes intra et inter villages. En effet si nous prenons le village de Kambéréké, on observe que le rendement moyen est passé d'un pic de 1 500 kg/ha à 200 kg/ha entre les trois dates. A N'garasso, il est passé de 928 à 648kg pour les mêmes périodes. Le mil et l'arachide avec des rendements faibles évoluant en dents de scie dans l'ensemble.

L'indicateur de stabilité du rendement montre que les rendements sont stables avec toutes les espèces sauf le maïs. Pour cette spéculation les rendements sont moins stables dans dix-sept (17) villages sur trente (30) ce qui confirme le constat fait au niveau de l'évolution du rendement avec une forte disparité entre les villages. On observe que dans les villages où la culture du maïs est moins développée (Benguéné, Berthéla ou encore Kamona) ont une stabilité relativement importante. Cette situation peut s'expliquer par le fait que les terres fertiles sont très souvent attribuées aux cultures dites sensibles aux stress climatiques (Dembélé, 2012).

**QUATRIEME PARTIE : ETAT ET
SERVICES ECOSYSTEMIQUES DE LA
BIODIVERSITE AGRICOLE**

CHAPITRE VIII : MODELE D'EXPLICATION DE LA BIODIVERSITE EN LIEN AVEC LE CHANGEMENT D'ECHELLE

Le modèle d'explication de la biodiversité : Hypothèse changement échelle : il existe une relation entre les différents niveaux de diversité. La diversité au niveau village est la somme des diversités des exploitations agricoles qui le composent. Et le même lien existe entre diversité le village et les régions agricoles d'une part et entre les régions agricoles et la zone cotonnière.

Nous nous sommes appuyés sur les tests statistiques notamment : l'analyse en composante principale pour avoir les variables discriminantes. Nous avons mis en œuvre une classification ascendante hiérarchique pour faire une typologie des villages. Enfin, nous avons mis en œuvre des analyses d'autocorrélation spatiale (I de Moran pour le niveau global et la LISA au niveau local) pour examiner la relation entre les villages.

8.1. Les changements d'échelle

Les données analysées en Sciences Sociales ont régulièrement une configuration spatiale qui n'est pas le fruit du hasard (Oliveau, 2010). La cartographie de variables sociales, économiques, agricoles ou démographiques montre très souvent des régularités dans l'espace qui justifient l'existence d'une discipline qui prend en compte cette dimension particulière : la Géographie.

Le changement d'échelle est loin d'être un simple zoom, c'est l'art de pouvoir passer d'un niveau de rangement au suivant tout en dégageant les bouleversements qui peuvent avoir dans le fonctionnement (Puech et Dartus, 2003). Les interrelations compliquées qui peuvent avoir entre les différents niveaux spatiales. L'hétérogénéité spatiale est une difficulté majeure en géomatique (Macary, 2006). La problématique liée au changement d'échelle à fait l'objet de nombreux travaux de recherche dans le passé dans plusieurs domaines notamment la Mathématique, la Physique et de la Géographie.

Les réflexions sur la question du changement d'échelle ont débuté à partir des années 1970. A cette période, la méthode qui était la plus usée est l'emboîtement des échelles géographiques avec l'analyse de la variance (Haggett, 1973). Cette méthode permettait d'expliquer les discriminations spatiales à partir des variables quantitatives et qualitatives (Piron, 1993). Selon la même source (Piron, 1993) l'année 1989 fut marquée par la publication de deux articles qui traitent de cette problématique : il s'agit notamment de l'article de Sanders et de Rozenblat. Le premier auteur parle des facteurs de différenciation intercommunale en utilisant la méthode de variable par variable. Quant au second, il parle du degré de différenciation spatiale des professions et des catégories sociales en employant une méthode d'emboîtement entre l'ilot et le quartier à Paris. Il utilise une série d'analyse de correspondances.

Piron, 1993 dans son article intitulé ‘changer d'échelle : une méthode pour l'analyse des systèmes d'échelles’ utilisait les techniques descriptives d'analyses multivariées, la ségrégation spatiale en considérant à la fois les différenciations entre et à l'intérieur des unités spatiales constituant le niveau d'agrégation.

A partir de l'année 2000, on a assisté au développement croissant des nouvelles technologies de l'information, cette période est marquée en ce qui concerne le changement d'échelle par l'emploi massif de la modélisation et des modèles de simulation pour l'agrégation spatiale des données. Elle est aussi caractérisée par des analyses qui prennent réellement en compte les échelles territoriales.

En 2006, Macary élaborait une méthodologie de changement d'échelle pour l'estimation du potentiel de contamination des eaux de surface par l'azote, une méthode d'évaluation de la pollution diffuse d'origine agricole sur des territoires de tailles différentes et donc d'utiliser des variables, des objets géographiques et des indicateurs adaptables au transfert d'échelle spatiale. Il se base sur les modèles d'indicateur de Pression, Etat et Réponse (PER) de l'OCDE comme base pour les différents changements d'échelles. Cette méthode offre l'avantage de la prise en compte des échelles territoriales des différentes analyses de la parcelle aux grands bassins versant des Régions et Cantons. En plus du développement de la méthodologie pour leurs propres problématiques, ils offrent des pistes de réflexion sur l'emploi des méthodes similaires aux siennes dans d'autres contextes. Mais la méthode a été appliquée sur un bassin versant assez homogène.

Un an plus tard, le même auteur présente une autre méthode pour l'estimation d'un risque potentiel spatialisé de contamination des eaux superficielles par intrants utilisés en agriculture à différentes échelles spatiales. L'originalité de la méthode réside dans l'emploi d'un objet spatial de référence (OSR) très fin, dont la maille commune aux différentes échelles, a une résolution spatiale de 30x30 m. Le changement d'échelle de l'indicateur est obtenu par agrégation des valeurs calculées sur chaque maille suivant une moyenne pondérée à la surface des bassins versants considérés.

Nguyen-Huu et Auger 2008 traitaient de la modélisation de la dynamique des populations à travers l'application des méthodes d'agrégation de variables de modèles spatiaux. Deux grands ensembles de méthodes ont été utilisés par les auteurs : méthodes d'agrégation des variables en temps discret avec ses sous méthodes notamment le modèle discret linéaire, le modèle complet et le modèle agrégé. Le deuxième type de méthode est celui discret non linéaire.

Aucune de ces méthodes n'est adaptée à notre problématique pour des raisons suivantes : la plupart de ces méthodes ont été développées sur des territoires assez réduite avec une certaine homogénéité or la zone cotonnière couvre une superficie un peu plus 160 000 km² avec des différences du Nord au Sud et d'Est en Ouest.

8.2. Notre approche du changement d'échelle

Nous distinguons cinq niveaux, chacun correspond à un espace géographique plus ou moins délimité. La porte d'entrée est la zone cotonnière qui est un ensemble de région agricole. Le deuxième niveau d'échelle est celle de la région agricole. Une analyse de la diversité agricole régionale a identifié quinze systèmes agraires localisés, ces régions ont été regroupés en six nouvelles régions agricoles dans la zone cotonnière en fonction de quelques éléments fondamentaux tels que : le climat, la végétation, les densités de peuplement, les habitudes culturelles et les politiques agricoles.

Le troisième niveau d'échelle est celui du terroir villageois. Dans chacun de ces échelles, une analyse de la diversité paysagère a été effectuée à base d'images satellitaires Landsat de 30 m de résolution. Pour les deux derniers niveaux d'échelle notamment le quatrième et cinquième niveau, nous avons respectivement l'exploitation et la parcelle. Pour ces deux niveaux, nous avons procéder à des enquêtes par questionnaires.

L'un des résultats phare de la revue de la littérature est qu'il n'est pas facile de prendre une information à une échelle fine et de la faire remonter à des échelles supérieures car à chaque niveau d'échelle il peut y avoir des pertes d'informations. Pour cette raison, nous avons fait le choix de changer d'indicateur ou de type d'information à un certain niveau d'échelle. Comme mentionner un peu plus, à l'échelle de l'exploitation agricole nous avons réalisé des enquêtes par questionnaire tandis qu'à l'échelle des régions agricoles les données collectées ont été acquises à travers les images satellitaires.

Donc chaque niveau d'échelle peut être relié à un concept. Quand on regarde du côté de ces concepts ou des systèmes qui alimentent ces niveaux d'échelles, parmi eux, celui qui se colle le mieux avec l'analyse au niveau de la zone cotonnière de façon globale est l'agrobiodiversité qui est un ensemble des éléments du système agraire caractérisé par la diversité des pratiques agricoles. Le deuxième niveau est celui des pratiques agricoles, Quant on analyse les pratiques agricoles, cela nous amène très souvent à s'intéresser tant aux caractéristiques qui ont précédé aux choix des pratiques plus qu'à ce ces pratiques impliquent à la suite de leur mises en œuvres (Soumaré, 2008). Le troisième niveau est le système de production agricole, il existe une variabilité des systèmes de production dans les exploitations de la zone cotonnière. Quant aux quatrième et cinquième niveaux, ils concernent le système de culture qui est un ensemble de techniques mises en œuvre sur des parcelles traitées de manière identique. Chaque système se définit par : la nature des cultures et leurs ordres de succession et les itinéraires appliqués à ces différentes cultures, ce qui inclut le choix des variétés pour les cultures retenues (Figure 42).

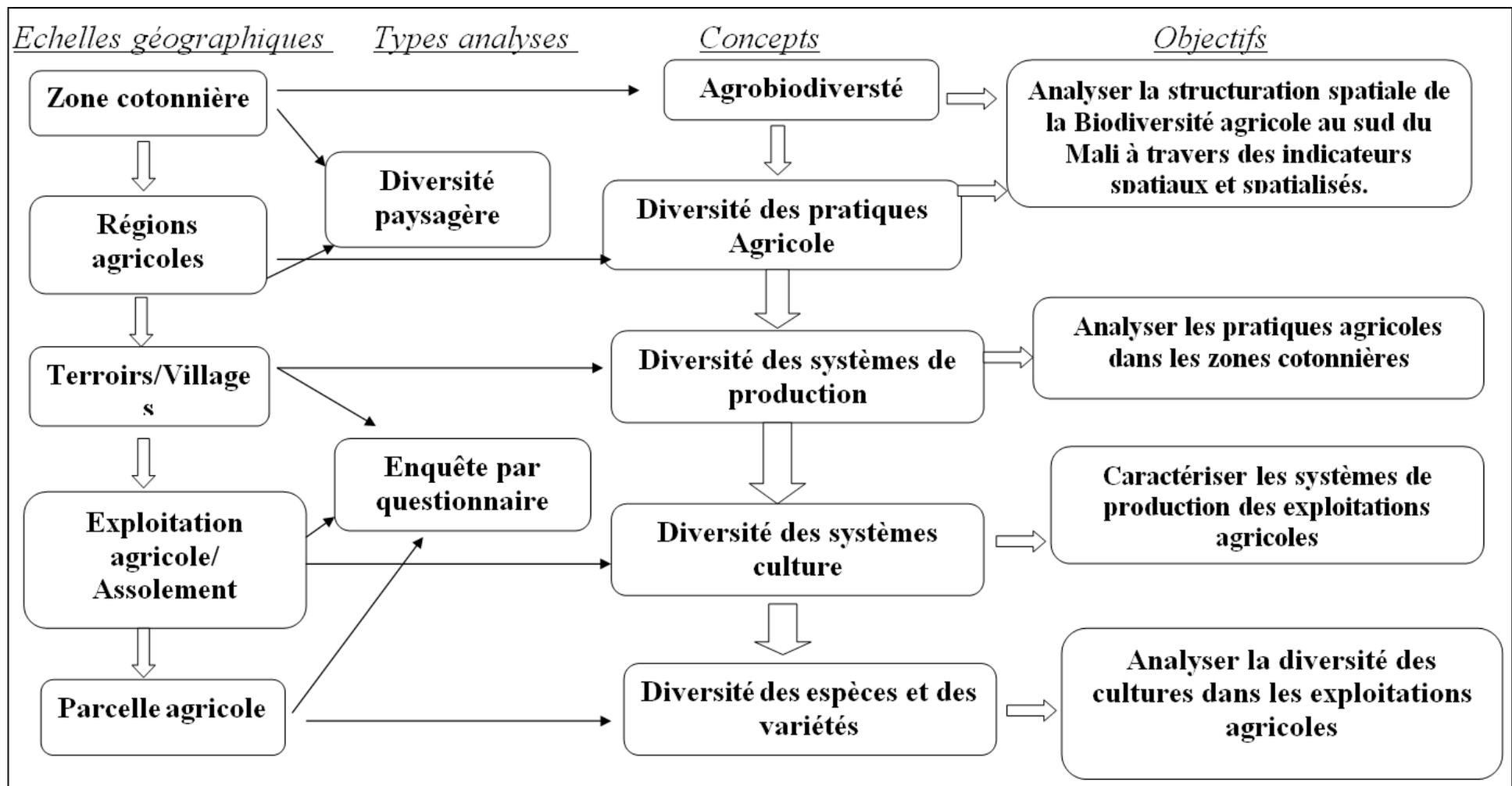


Figure 42 : Notre approche du changement d'échelle

8.3. Méthodologie

Pour cette étape, nous avons fait le choix de faire l'analyse sur 25 villages dont ils n'y avaient pas de données manquantes. Au total, 450 exploitations ont été concernées par la présente analyse. Onze variables caractéristiques ont été mobilisées pour cette analyse. Ces variables sont : nombre d'espèce cultivé, nombre de système de culture, indicateur de diversité spécifique, indicateur de diversité des systèmes de culture, population totale par exploitation, population active, superficie cultivée, production, rendement, nombre de parcelle cultivée et la pluviométrie.

8.3.1. Analyse en composante principale (ACP)

L'objectif d'une analyse factorielle est de réduire l'information disponible à un nombre limité de variables autrement dit on cherche un nombre limité de variables mais qui expliquent le mieux l'ensemble des informations. Il s'agit des variables discriminantes. Il est surtout déconseiller de réaliser les analyses factorielles sur un nombre très faible de variable moins de six et le nombre d'échantillon doit faire au moins le triple du nombre de variable (Keita 2015). Pour notre analyse, nous disposons de 11 variables et 450 exploitations agricoles.

Un autre préalable à l'analyse en composante principale est la réalisation du test de KMO (Kaiser, Meyer, Olkin) et le test de sphéricité de Bartlett. Le premier test nous indique si les corrélations entre les paires de variables peuvent être expliquées par d'autres variables incluses (Rakotomolala, 2008) Plus cet indice se rapproche de 1 plus l'analyse factorielle est recommandée.

- 0,80 et plus Excellent
- 0,70 et plus Bon
- 0,60 et plus Médiocre
- 0,50 et plus Misérable
- Moins de 0,50 Inacceptable, l'ACP n'est pas recommandée

Quant au second, il indique si la matrice de corrélation est une matrice identité à l'intérieur de laquelle toutes les corrélations sont égales à zéro. Ce test est significatif si ($p < 0,05$).

Après la réalisation de ces deux tests, nous avons y un indice KMO de 0,704 qui est jugé comme bon pour faire une ACP et ce qui est surtout intéressant c'est que le test de Bartlett est très significatif avec 0.000.

8.3.2. La Classification Ascendante Hiérarchique (CAH)

L'objectif de cette partie est de voir si la diversité au niveau exploitation est comparable d'un village à l'autre à travers les techniques statistiques. Il s'agit là de faire une classification des villages en fonction des variables. Ce sont les mêmes variables qui ont servi à l'analyse de régression linéaire qui ont été mobilisées pour la présente classification.

Pourquoi choisir la classification plutôt que l'analyse factorielle ?

Les diverses méthodes de l'analyse factorielle emploient toutes le même procédé (Volle, 1978), il s'agit de trouver les axes d'inertie du nuage et d'obtenir des visualisations sur les plans formés par des couples d'axes. Pour Dadezet et Lepage, l'analyse factorielle manque de lisibilité des plans principaux lorsque le volume de donnée est important. Seules les premières

composantes sont interprétables donc il y'a possibilité de pertes d'informations. Enfin l'analyse factorielle de correspondance s'applique sur des tableaux de correspondance alors que pour notre cas nous n'avons pas à faire à ce cas de figure.

Par contre, la classification prend en compte toutes les dimensions d'un problème c'est-à-dire toutes les variables. L'interprétation de la classification est relativement simple car la description est faite directement sur les classes ainsi formées.

Pour cette étude, nous avons choisi la classification ascendante hiérarchique pour la simple raison qu'elle permet de regrouper les individus en classe homogène. L'objet des méthodes de classification hiérarchique est de rechercher à chaque étape les deux classes les plus proches, on les fusionne, on continue jusqu'à ce qu'il n'y ait qu'une classe homogène. Elle consiste à fournir un ensemble de partitions plus ou moins fines obtenues par regroupements successifs de parties. Dans la classification ascendante hiérarchique, on regroupe les individus les plus proches et ainsi de suite de proche en proche. On cherche à ce que les individus regroupés au sein d'une même classe soient le plus semblables possibles tandis que les classes soient le plus dissemblables (hétérogénéité inter-classe).

L'outil renvoie plusieurs tableaux dont les plus importants pour l'interprétation sont : les barycentres des classes et les résultats par classe (tutorial XLSTAT)

Barycentres des classes : dans ce tableau sont affichées les coordonnées des barycentres des classes pour les différents descripteurs.

Résultats par classe : les statistiques descriptives des classes (nombre d'objets, somme des poids, variance intra-classe, distance minimale au barycentre, distance maximale au barycentre, distance moyenne au barycentre).

A la suite de l'analyse en composante principale qui a fait ressortir les variables discriminantes dix variables sur les onze. Seule la pluviométrie n'a pas été retenue pour la classification pour des raisons suivantes : elle n'est corrélée à aucunes autres variables et sa contribution aux différents axes factoriels est très faible

8.3.3. Mesure d'autocorrélation spatiale des indicateurs au niveau des villages

Les mesures l'autocorrélation spatiale sont faites pour déterminer s'il existe une corrélation entre la valeur des objets et les relations métriques ou topologiques entre ces objets (Bonnet .) cette recherche de relation entre la valeur d'une variable pour un objet et la valeur de variable de son voisin fut initié par trois statisticiens notamment Moran (1948 et 1950), Frishna Iyer 1949 et Geary (1954). Par la suite Cliff et Ord dans leurs article « the problem of Spatial autocorrélation » ont réécrit une version remanié de l'indice de Moran « I de Moran » qui est devenu l'indicateur de référence en matière d'autocorrélation spatial. Ainsi on parle d'autocorrélation positive quand les valeurs des voisins ont tendances à se ressembler et le contraire est l'autocorrélation négative. Pour cette, l'indice de Moran détermine si la valeur d'indicateur des villages voisins sont proche ou si c'est éloignée.

Pour l'interprétation :

- une valeur supérieure à 0,15 de I de Moran, la tendance est agrégée (concentrée),
- si c'est 0 la distribution est aléatoire

- si la valeur est négative, les voisins sont dissemblables

L'indice de Moran s'écrit sous la formule :

$$I \text{ de Moran} = \frac{n}{m} \times \frac{\sum_i \sum_j w_{ij} (z_i - \bar{z})(z_j - \bar{z})}{\sum_i (z_i - \bar{z})^2}$$

z_i = valeur de la variable au point "i" et de moyenne \bar{z}

i = individu

j = voisins des individus "i".

n = nombre total d'individus dans l'échantillon

m = nombre total de paires de voisins

W = matrice de pondération, dont les éléments prennent, par exemple, la valeur "1" pour les "i,j" voisins et "0" autrement.

L'indice de Moran étant un indicateur global, les chercheurs dans leurs recherches pour parfaire les mesures de corrélation spatiale ont désagrégé le I de Moran. C'est ainsi que Luc Anselin en 1995 à développer « les indicateurs locaux d'autocorrélation spatiale communément appelé LISA ». Comme son nom l'indique, il s'agit d'une méthode de détection de l'autocorrélation spatiale, généralement dans les données de groupe. Les indicateurs locaux d'autocorrélation spatiale (LISA) permettent la décomposition des indicateurs globaux en contribution de chaque observation individuelle. Ils détectent le regroupement autour d'une observation donnée plutôt que d'un site prédéfini quelque part dans l'espace échantillonné. La LISA pour chaque observation donne une indication de l'étendue du regroupement spatial significatif de valeurs similaires autour de cette observation. La somme des LISA pour toutes les observations est proportionnelle à un indicateur global d'association spatiale. Il peut y avoir deux interprétations des statistiques LISA, en tant qu'indicateurs des grappes spatiales locales et en tant que diagnostic pour les valeurs aberrantes par rapport à la mesure de l'association globale (instabilité locale)

$$I_i = \frac{\sum_j w_{ij} (\rho_i - \bar{\rho})(\rho_j - \bar{\rho})}{\sum_i (\rho_i - \bar{\rho})^2}$$

ρ_i et ρ_j sont des valeurs des unités spatiales i et j telles que i et j sont considérées comme voisines compte tenu de la mesure de leur degré de voisinage,

$\bar{\rho}$ la valeur moyenne des unités spatiales

w_{ij} une mesure de la proximité des unités spatiales i et j

8.4. Catégorisation des exploitations agricoles

8.4.1. Les variables discriminantes sélectionnées

Pour le choix des variables discriminantes, nous avons fait une analyse statistique notamment l'analyse en composante principale (ACP) sur 11 variables : Nombre d'espèce cultivée, Indicateur de diversité spécifique, Nombre de système de culture, indicateur de système de culture, superficie cultivée, population totale de exploitation, population active, production totale, rendement moyen, nombre de parcelle et la pluviométrie. L'indice KMO (0,704) est bon et le test de sphéricité de Bartlett (0,0001) est significatif.

L'analyse en composante principale entre ces variables montre que quatre facteurs ou composantes (Tableau 68, Tableau 69 et Figure 44) expliquent 76,10% de la variabilité des exploitations agricoles.

- La première composante est constituée du nombre de parcelle, nombre d'espèce, de l'indicateur de diversité spécifique et de la superficie. Cette composante explique 34,52% de la variabilité des exploitations agricoles.
- La composante deux qui réunit nombre de système de culture et indicateur de système de culture explique 18,13% la variabilité des exploitations. Cette composante sera appelée composante système de culture. Elle permet de distinguer la diversité des exploitations par rapport à leur diversité des systèmes de culture.
- La troisième composante constituée de la production totale et du rendement moyen explique pour leur part 13,63% de la variabilité des exploitations. Cette composante peut être appelée performance des exploitations. Elle explique la performance des exploitations agricoles. On note une corrélation négative avec la pluviométrie. Ce qui sous-entend que pluviométrie n'explique pas à elle seule la performance de exploitations agricoles.
- La quatrième composante constituée par les ressources humaines explique quant à elle 9,80% de la variabilité. Elle permet de distinguer les grandes exploitations des petites. On note une corrélation avec la superficie même si cette relation n'est pas forte (Tableau 69)

A part la pluviométrie qui n'a pas de relation avec les autres variables, nous avons retenu 10 variables discriminantes suivantes sur 11 pour la classification ascendante hiérarchique : Nombre d'espèce cultivée, Indicateur de diversité spécifique, Nombre de système de culture, indicateur de système de culture, superficie cultivée, population totale de exploitation, population active, production totale, rendement moyen et le nombre de parcelle.

Tableau 68 : Valeurs propres

	F1	F2	F3	F4
Valeur propre	3,798	1,995	1,500	1,079
Variabilité (%)	34,527	18,136	13,638	9,807
% cumulé	34,527	52,663	66,301	76,108

Tableau 69 : Corrélations entre les variables et les facteurs

Variables	Composante			
	Diversité	Système de culture	Performance	Population
Nombre Espèce UP	0,880	0,285	-0,034	-0,035
Nombre de Parcelle	0,854	0,253	0,062	0,043
Indicateur de diversité Spécifique	0,806	0,234	-0,125	0,054
Superficie	0,589	-0,016	0,384	0,405
Indicateur de système de culture	0,252	0,925	0,090	0,051
Nombre de système de culture	0,355	0,904	0,001	0,064
Production totale	0,224	0,033	0,901	0,173
Rendement moyen	-0,229	0,052	0,841	-0,033
Population totale exploitation	0,077	-0,064	0,125	0,869
Population active UP	0,004	0,166	-0,011	0,841
Pluviométrie	-0,154	0,343	-0,606	-0,173

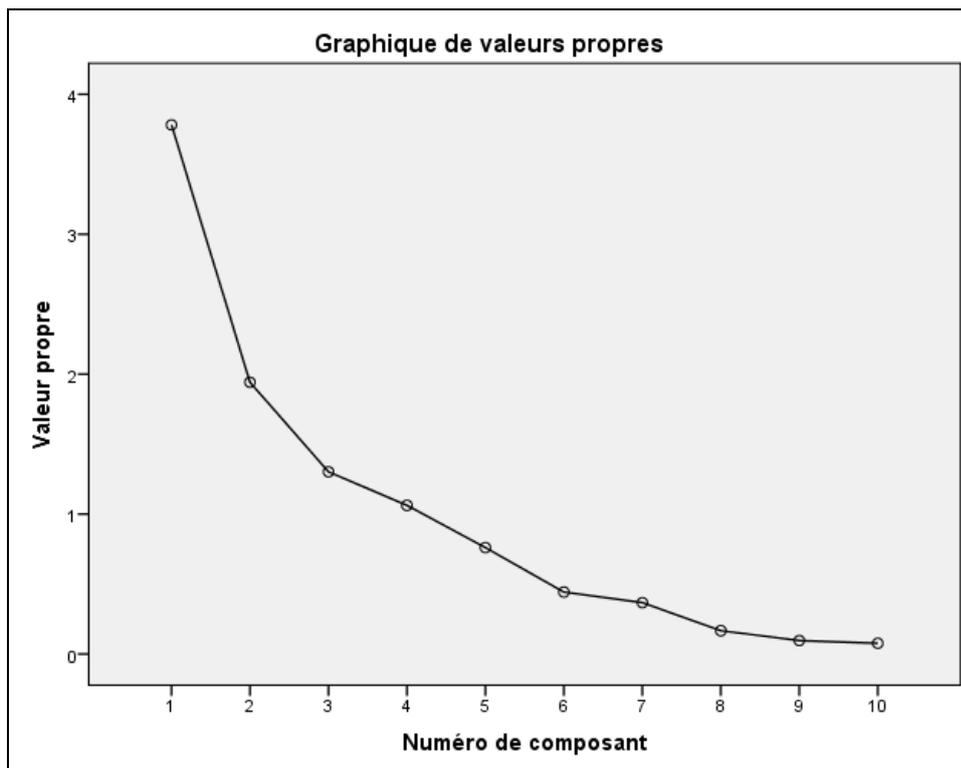


Figure 43: Graphique des valeurs propres

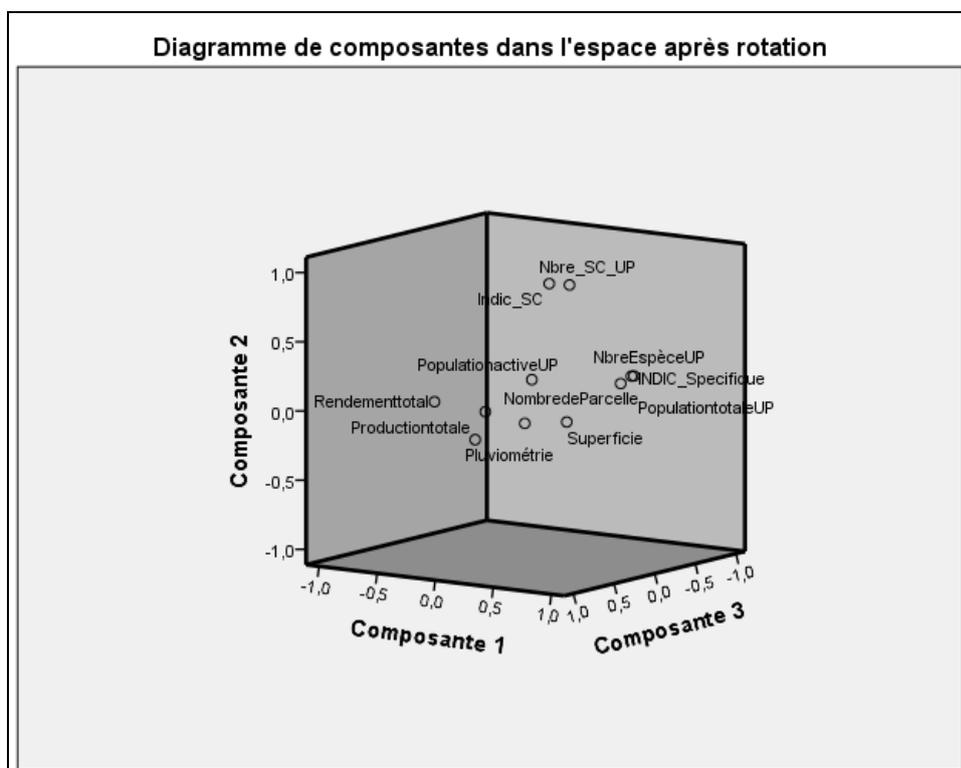


Figure 44 : Diagramme des composantes

8.4.2. La typologie des exploitations agricoles

Dans la zone cotonnière du Mali, il y'a eu plusieurs typologie des exploitations agricoles dont la plus connue est celle de la Compagnie Malienne de Développement des Textiles (CMDT). Chaque typologie est élaborée dans un contexte donné et en fonction des objectifs de la personne ou de structure qui la réalise. Les objectifs de la typologie de la CMDT visaient à renforcer les capacités productives des exploitations agricoles familiales, et à les faire passer de la culture manuelle à la culture attelée de manière à augmenter la productivité du travail et à favoriser l'intégration de l'agriculture et de l'élevage (Keïta, 2015). En fonction de ses objectifs, la compagnie a mis en œuvre cette typologie basée sur les variables telles : les équipements agricoles, le cheptel, la taille démographique, la superficie cultivée...etc.

A la suite de l'analyse en composante principale qui a identifiée dix variables discriminantes, nous avons effectué une classification ascendante hiérarchique sous le logiciel XLSTAT. Dans un premier temps, nous avons fait le choix de classer les exploitations en six classes. Mais dans cette classification, les trois dernières classes (4, 5 et 6) n'avaient respectivement que 5, 2 et 3 exploitations sur 450. Alors que le reste des exploitations étaient partagé entre les trois premières classes. Du coup, nous avons repris la classification en réduisant le nombre de classes à quatre.

Les 25 villages dont 450 exploitations ont été regroupées au regard des dix variables en quatre grands types de classes. Le critère de classification était la proximité à travers la distance euclidienne proposée par l'outil classification ascendante hiérarchique de XL STAT.

8.4.2.1. Les exploitations agricoles de type 1

La classe 1 regroupe 380 exploitations soit plus de 84% des exploitations totales (Tableau 70). Elle est la classe la plus représentée en termes de nombre d'exploitations. Cette classe se caractérise par des exploitations dont la taille moyenne des populations est de 16 personnes avec 8 actives agricoles (Tableau 71). Le nombre espèces culturales moyen est de 4 et une diversité spécifique de 0,48. La diversité des systèmes de culture pour ces exploitations n'atteint pas la moyenne 0,46. Ces exploitations bien qu'elles soient les plus nombreuses en termes d'effectifs, elles sont moins diversifiées. La moyenne de superficie cultivée est de 8,66 ha. Le rendement moyen pour ces exploitations est de 882 Kg/ha. On note une production totale des cultures 5 029 kg soit un peu plus de 5 tonnes. Le nombre de parcelle cultivée dans ces exploitations est de 5 parcelles en moyenne.

8.4.2.2. Les exploitations agricoles de type 2

La seconde classe est constituée de 49 exploitations soit 11% du total. La variance intra-classe est beaucoup plus faible que pour la classe précédente. Ce qui démontre une variabilité relativement faible entre les exploitations agricoles qui composent la classe. Leurs principales caractéristiques sont leurs diversités. En effet, ces exploitations ont une diversité spécifique et une diversité des systèmes de cultures supérieures à la moyenne avec des valeurs respectives de plus de 0,52 et 0,51. Tout comme la classe précédente, le nombre d'espèce cultivée est de 4 en moyenne et les exploitations pratiquent en moyenne 3 systèmes de cultures.

En termes de population, ces exploitations ont une population de 27 personnes dont plus de la moitié est active dans les travaux champêtres. La superficie cultivée avoisine les 16 ha avec un rendement moyen de 1 406 kg/ha ce qui est supérieur à la première classe. Ces exploitations produisent plus de 14 tonnes par an.

8.4.2.3. Les exploitations agricoles de type 3

La troisième classe typologique regroupe en son sein 19 exploitations agricoles soit une proportion de 4,22% (Tableau 71). Les exploitations de cette classe ont une population de 21 personnes avec 11 actives. Elles ont une diversité relativement moyenne que ça soit la diversité spécifique ou la diversité des systèmes de culture. La valeur de ces indicateurs sont de 0,51 pour ce qui est du spécifique et 0,50 pour le système de culture. Ces exploitations cultivent au moins 16 ha pour un rendement moyen supérieur à 2 tonnes. La production totale est de 26 499.

8.4.2.4. Les exploitations agricoles de type 4

Cette classe concentre seulement deux (2) exploitations. Nous avons pensé en voyant les résultats de cette classification réfère une autre avec 3 classes car avec seulement deux exploitations dans une classe, on se posait la question si c'était la peine de garder cette classe. Mais finalement nous ne l'avons pas retirée de l'analyse car les exploitations de type 4 sont l'illustration parfaite de la très grande exploitation agricole familiale de la zone cotonnière du Mali. Ces exploitations ont une population relativement nombreuse avec 27 personnes dont au moins 60% d'entre elle sont actives les travaux de l'exploitation. En voyant aussi leurs très fortes diversités, nous nous dis avoir bien fait de ne pas se limiter à 3 classes. La diversité spécifique de ces exploitations est de 0,50 et un système de culture très diversifié avec 0,80. Elles cultivent en moyenne 45 ha pour un rendement moyen avoisinant les 2 tonnes. La production totale de ces exploitations est de 97 300kg chacune. Ces deux exploitations cultivent 8 parcelles chacune.

Tableau 70 : Résultats par classe

Classe	1	2	3	4
Objets	380	49	19	2
Somme des poids	380	49	19	2
Variance intra-classe	7 444 744	3 901 386	47 620 821	320 065 279
Distance minimale au barycentre	39,23	225	808	12 650
Distance moyenne au barycentre	2292	1659,852	5191,656	12650,401
Distance maximale au barycentre	6370,713	5130,929	17504,618	12650,401

Tableau 71 : Barycentres des classes

Classe	Nombre Espèce UP	Indicateur de diversité Spécifique	Nombre de système de culture	Indicateur de système de culture	Population totale exploitation	Population active UP	Superficie	Production totale	Rendement moyen	Nombre de Parcelle
1	4,113	0,48	2,537	0,46	16	8	8,667	5 029	882	5
2	4,571	0,52	2,816	0,51	27	14	15,520	14 124	1 406	6
3	4,737	0,51	2,526	0,50	21	11	16,974	26 499	2 023	6
4	5,000	0,50	4,000	0,80	27	16	36,250	97 300	3 010	8

8.5. La mesure d'autocorrélation spatiale des indicateurs

8.5.1. L'autocorrélation spatiale globale Moran I

La mesure de l'autocorrélation spatiale permet d'appréhender la structure spatiale en dépassant l'analyse exploratoire des données (Oliveau, 2010). Cette démarche permet d'intégrer à l'analyse statistique la dimension spatiale. Jusque-là nous nous baser sur les analyses statistiques telles que l'ACP ou le CAH pour expliquer le modèle de la biodiversité. A présent nous verrons au niveau spatial si, globalement, l'ensemble des villages appartenant à la zone cotonnière se ressemblent spatialement. Pour cela nous avons utilisé l'outil d'autocorrélation spatiale de Moran ou le I de Moran. L'indice est positif dans le cas d'autocorrélation positive, et négatif en cas d'autocorrélation négative.

Pour l'interprétation :

- une valeur supérieure à 0,15 de I de Moran, la tendance est agrégée (concentrée),
- si c'est 0 jusqu'à 0,15 la distribution est aléatoire
- si la valeur est négative, les voisins sont dissemblables

La valeur de l'indice de Moran pour les indicateurs de diversité spécifique, les indicateurs de pression spécifique du Maïs, et les indicateurs de pression spécifique du Sorgho sont respectivement de 0,25 ; 0,54 et 0,24 ceux qui démontrent une autocorrélation positive et une agrégation des valeurs au niveau global (Figure 45 A, E et F). Le niveau d'agrégat est évalué au niveau au local à l'aide des indicateurs locaux d'association spatiale.

Pour ce qui sont des indicateurs de diversité des systèmes de culture, du rendement et des indicateurs de pression spécifique du coton, on note une distributions aléatoire de leurs valeurs. Même si leurs autocorrélations spatiales sont positives avec des valeurs de 0,03 ; 0,07 ; et 0,13 respectivement pour les indicateurs de pression spécifique du coton, les systèmes de culture et le rendement.

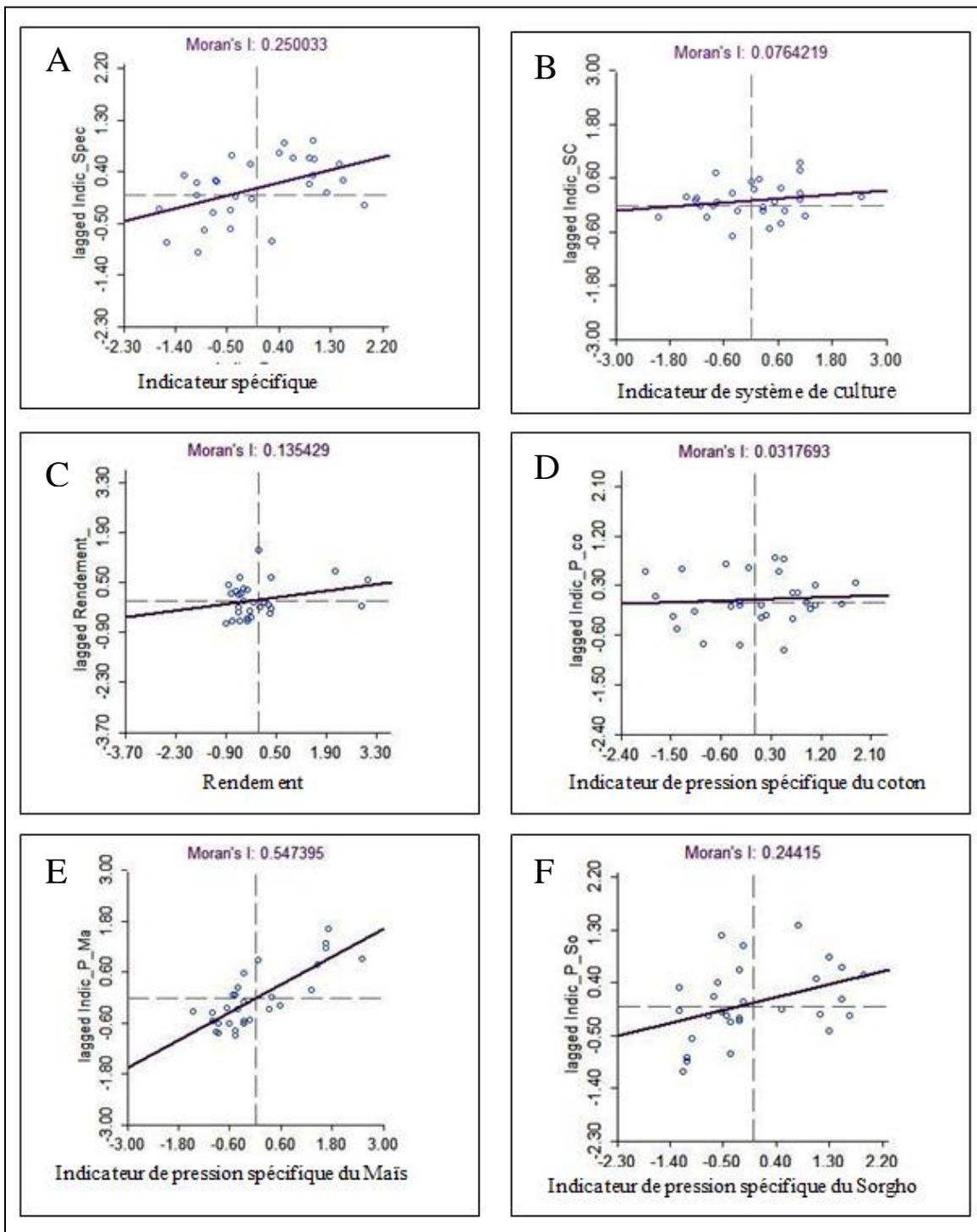


Figure 45 : L'indice de Moran

8.5.2. L'autocorrélation spatiale locale LISA

Au-delà de la lecture globale de l'indice, il nous a semblé très intéressant de voir au niveau local quel est l'apport de chaque village à l'autocorrélation spatiale positive et son niveau de ressemblance avec ses voisins. Les indices locaux permettent de mettre en exergue les associations locales des valeurs. Le modèle local d'association spatiale LISA a été privilégié pour analyser les agrégats. Plusieurs associations sont possibles avec ce modèle.

- L'association « non significative ou Not significant » dans cette association, la valeur de l'individu et les valeurs de ses voisins sont proches de la moyenne de l'échantillon total (Oliveau, 2010).
- L'association « plus-plus ou high-high) qui signifie que l'individu a une valeur forte dans un voisinage qui lui ressemble fortement.
- L'association « moins-moins ou low-low » dans laquelle l'individu étudié a une valeur faible dans un voisinage dissemblable.
- Dans le cas d'une association « plus-moins ou high-low », la variable étudiée présente une valeur forte dans un voisinage qui ne lui ressemble pas.
- Pour ce qui est du « moins-plus ou low-high » l'individu a une valeur faible dans un voisinage à valeur forte mais qui ne lui ressemble pas.

Ces cinq types d'associations permettent d'avoir une autre lecture de l'autocorrélation spatiale. Mais cette fois-ci au niveau local. Il peut y avoir le regroupement des villages en fonction de leurs valeurs propres et à celles de leurs voisinages. Dans la cartographie LISA on note une prédominance des villages dont les valeurs et les valeurs de leurs voisins sont proches de la moyenne de l'échantillon total. Le nombre de ces villages varie de 20 à 29 villages selon les indicateurs de biodiversité (Figure 46). Ce qui signifie que ces villages ont des valeurs non significatives donc pas d'agrégat.

Mais néanmoins on remarque dans la Figure 46 A, qu'il y a une concentration de valeurs fortes représentée par trois villages en forte-forte qui constituent un agrégat d'indicateur de diversité spécifique. Ce sont les villages de Koula, de Bounghosso et de Koloni dans le vieux bassin cotonnier. Nous avons aussi pour cet indicateur une association de faible-faible avec le village de Woroni qui a une faible valeur dans un voisinage qui ne lui ressemble pas.

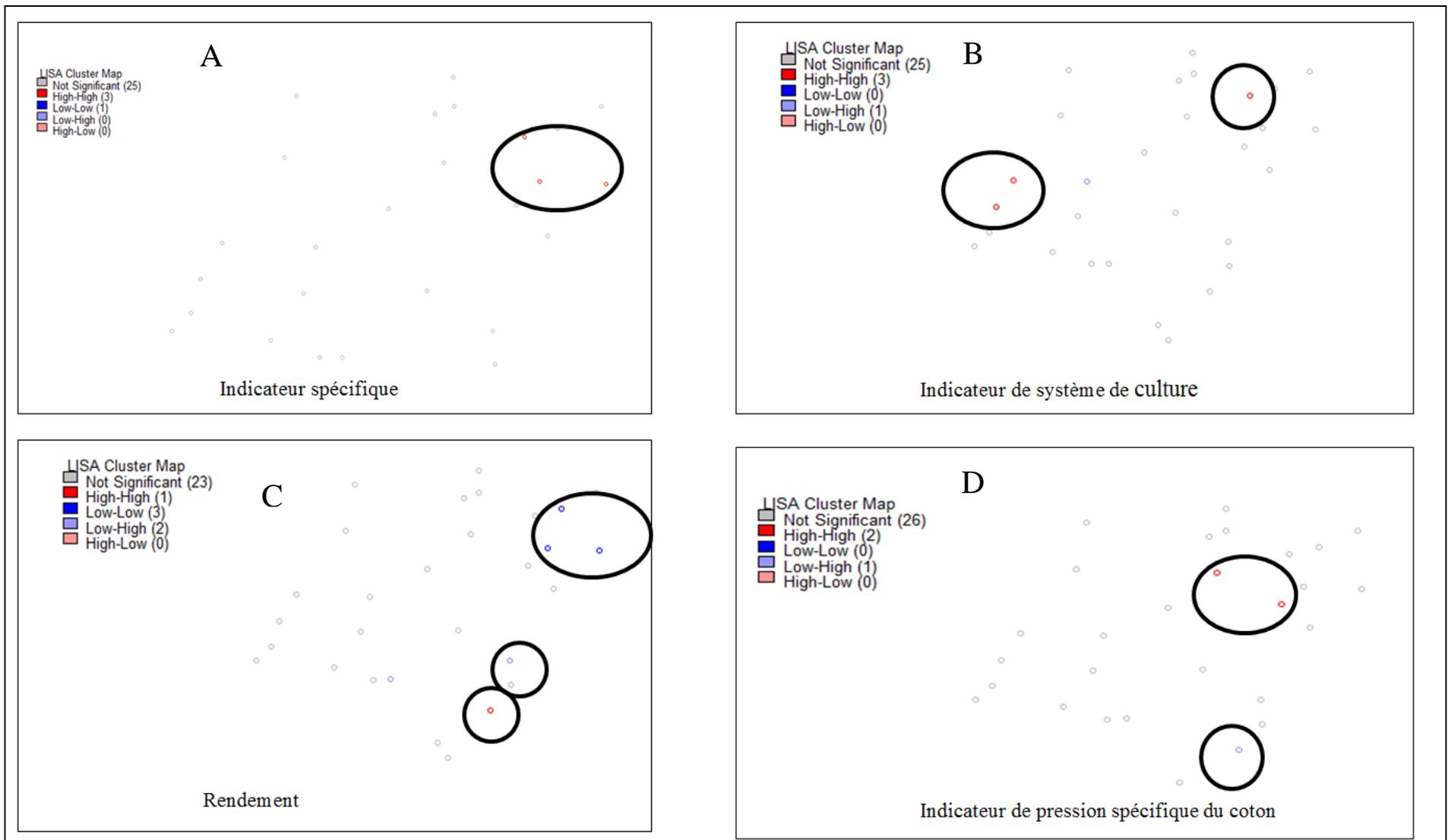
Dans la Figure 46 B sur l'indicateur de système de culture, nous avons aussi une association de valeurs forte-forte dans trois villages dont Vokoro et Satiguila dans la zone hétérogène en équilibre et Bounghosso dans le vieux bassin cotonnier. Ces trois villages ont des valeurs d'indicateur de système de culture forte dans un voisinage à forte valeur pour cet indicateur. Ce qui signifie que ces villages ont un système de culture diversifié dans un environnement à système de culture diversifié.

Pour ce qui est du rendement, la Figure 46 C, montre une association en Bleu de valeurs faible-faible. Ces villages (Diora, Koula et Koloni dans le vieux bassin cotonnier) ont un faible rendement avec des voisins à faibles rendements. On note un agrégat de deux villages (Finkolo zanso et Ziékorodougou dans la zone hétérogène en équilibre) à faibles rendements dans un voisinage à fort rendement.

Avec l'indicateur de pression spécifique du coton, nous voyons dans la Figure 46 D, un agrégat de valeurs forte-forte. Nous avons les villages de Koula et Doukougnonan dans le vieux bassin cotonnier avec de forte pression de coton dans un voisinage à forte pression de coton aussi. Le village de Woroni à faible pression de coton est dans un voisinage à forte pression. Ce village est dans une association de faible-forte.

Dans la Figure 46 E consacré à l'indicateur de pression spécifique de Maïs, on observe deux agrégats. Un premier agrégat avec trois villages (Kamona, Benguéne et Boungosso dans le vieux bassin) à faible pression de maïs dans un voisinage qui a aussi une faible pression de cette culture. Un deuxième agrégat de six villages dans la zone d'extension du Sud à forte pression de maïs ont des voisins à forte pression d'où l'association de forte-forte.

Enfin dans la Figure 46 F, nous avons trois agrégats. Une première association de forte valeur dans un voisinage à forte valeur tel est cas du village de Koloni dans le vieux bassin. Une seconde association de valeur faible-forte de quatre villages de la zone d'extension du Sud (Winkala, Woroni, Kambéréké et Nafégué) avec une faible pression de sorgho dans un voisinage de forte pression de sorgho. Et une troisième association de faible-forte où nous avons le village de Berthéla et de Ngarasso dans le vieux bassin cotonnier avec une faible pression de sorgho avec des voisins à fortes pression de Sorgho.



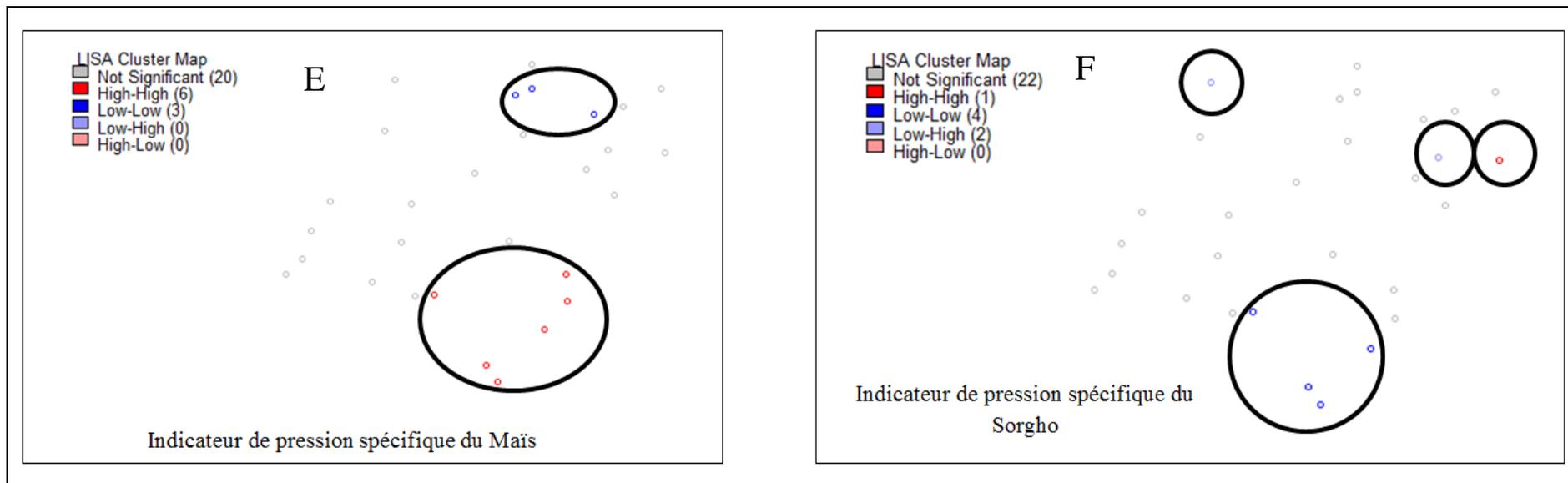


Figure 46 : Cartographie des indicateurs locaux d'association spatiale

8.6. La spatialisation des systèmes de culture

Les systèmes de cultures sont définis comme une parcelle ou un ensemble de parcelles traitées de façon homogène avec des rotations culturales et des itinéraires techniques identiques ou comparables. Au total sept systèmes de culture (SC) ont été identifiés dans les 30 villages. D'une exploitation à l'autre, le nombre de SC varie et aucun exploitant ne met en œuvre les sept types de SC (Tableau 72).

Tableau 72 : Les systèmes de culture (SC) à l'échelle de l'exploitation

SC	Espèces cultivées	Cycle de la rotation	Itinéraire technique	Nombre de Parcelle
SC1	Coton/Maïs	Biennale	Fo+cco+urée+herbicide+insecticide sur le coton, cce+urée sur le maïs	238
SC2	Coton/Maïs et Sorgho ou Mil	Triennale	Fo+cco+urée+herbicide+insecticide sur le coton, cce+urée sur le maïs	498
SC3	Sorgho/Mil et Arachide ou Niébé	Triennale	Apport d'une faible quantité de FO, sur le mil	89
SC4	Céréaliculture pure	Triennale	cce+urée sur le maïs	425
SC5	Arachide-Fonio Niébé-soja	Biennale	Pas d'apport de fertilisant	145
SC6	Riz	Monoculture	Faible apport de fertilisant	57
SC7	Maïs, mil, sorgho et légumineuses.	Triennale	cce+urée sur le maïs	347

8.6.1. Le Système de Culture 1 : Coton/maïs

C'est le système de culture le plus utilisé par les cotonculteurs avec le coton en tête de rotation. La stratégie adoptée par la Compagnie Malienne de Développement des Textiles qui structure la filière coton dans cette zone est de ne donner des fertilisants qu'à ceux qui cultivent le coton. Les paysans cultivent le maïs à la suite du coton pour mieux valoriser cette fertilisation.

Le maïs étant une culture exigeante en fertilisants, bénéficie des arrières effets du coton. Ces deux cultures principales reçoivent une bonne fertilisation minérale et occupent une place de choix au sein des exploitations agricoles. En plus, le coton est la culture qui reçoit en premier lieu la fumure organique et minérale. Ce système était beaucoup plus visible dans le vieux bassin cotonnier mais de plus en plus toutes les autres régions agricoles l'ont adopté surtout quand la culture du coton traversait une période de crise.

Actuellement les villages, qui mettent plus en œuvre ce système de culture sont localisés dans la zone d'hétérogène en équilibre (zone de Sikasso et Bougouni) et dans la zone d'extension du Sud (Kadiolo). La majeure partie de ces villages ont entre 24 et 55 parcelles cultivées sous ce système. Dans le vieux bassin cotonnier, les villages de Benguénié, Kamona, Boungosso et N'garasso ont entre 11 et 23 parcelles de SC1 (Figure 47).

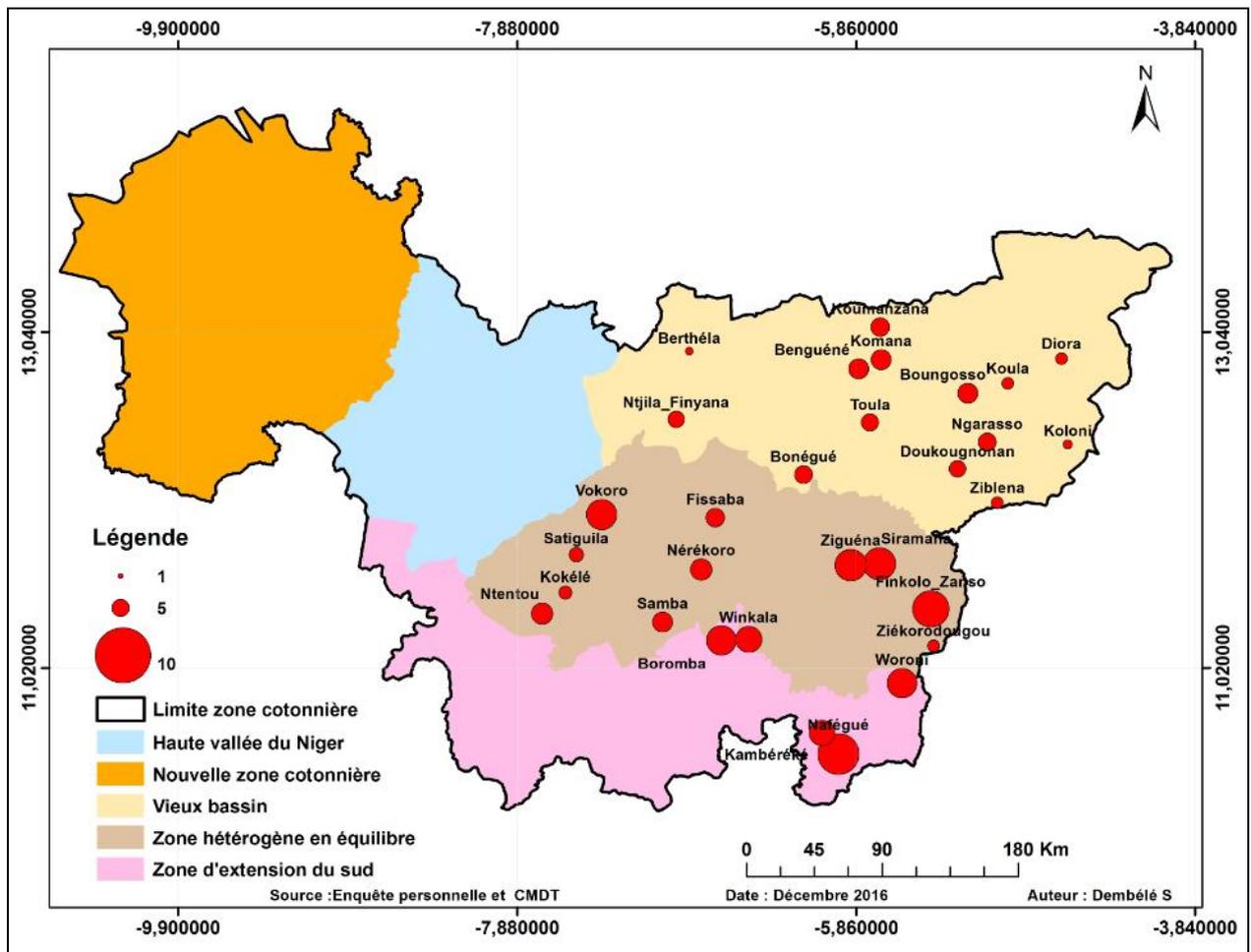


Figure 47 : Cartographie de Système de Culture1 (SC1) Coton/Maïs

8.6.2. Le Système de Culture 2 : Coton/Maïs et Sorgho ou mil

Le système de culture de type (SC2) est basé sur une rotation triennale Coton/Maïs/Mil et/ou Sorgho. C'est le système de culture le plus dominant dans la zone cotonnière comme atteste notre enquête dans 500 parcelles qui étaient sous ce système (Figure 48). Les villages du vieux bassin sont les plus représentatifs de ce système avec des villages qui cultivent entre 24 et 55 parcelles. En allant vers le sud, les zones où la céréaliculture traditionnelle (Sorgho/Mil) est peu pratiquée, on retrouve des villages avec moins de 10 parcelles sous ce système.

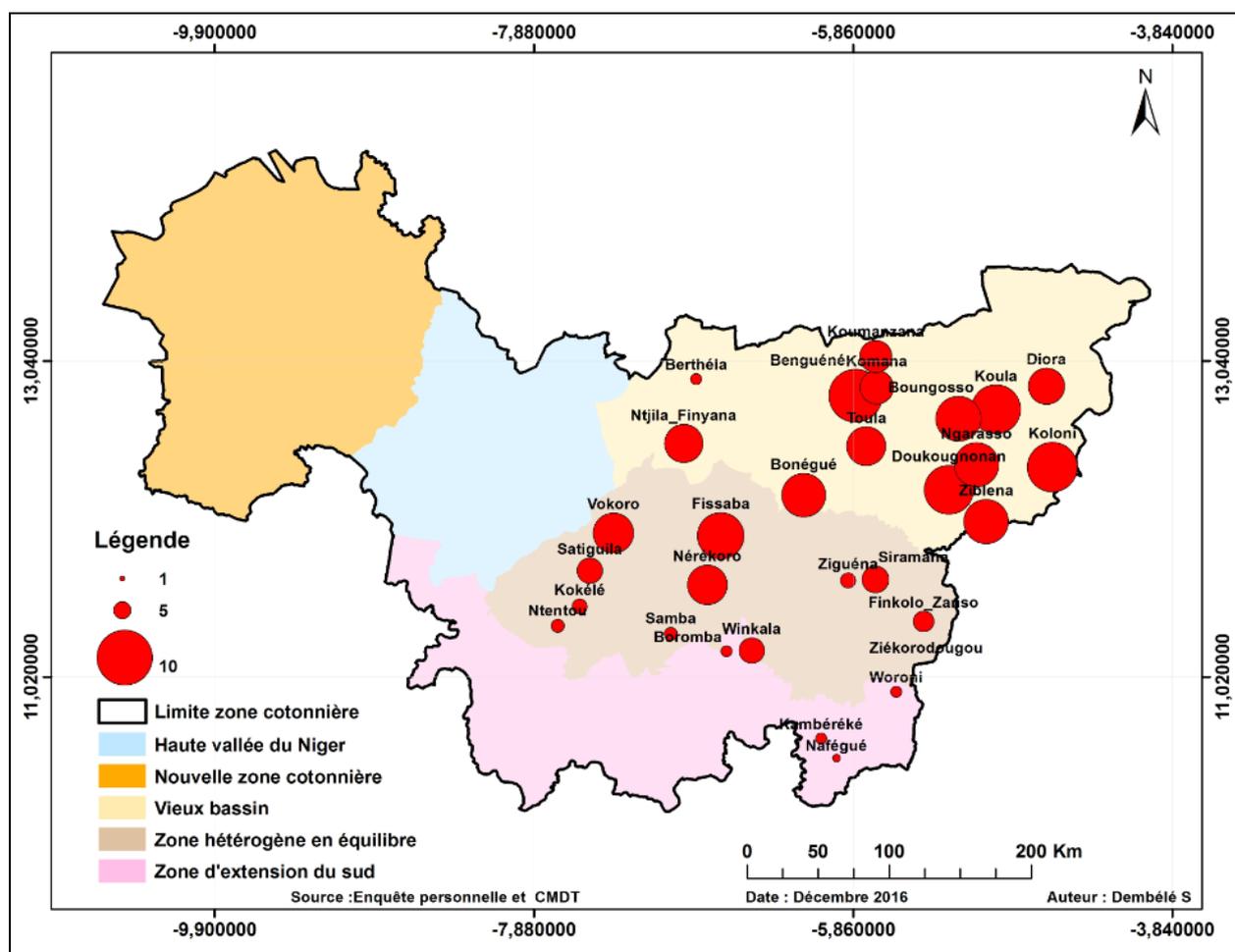


Figure 48 : Cartographie de Système de Culture2 (SC2) Coton/Maïs et Sorgho ou Mil

8.6.3. Le Système de Culture 3 : Céréales Mil/Sorgho et légumineuses

Ce système de culture est localisé sur des sols de moins bonnes qualités à texture fondamentalement sableuse. Il est basé sur une rotation triennale Mil/Sorgho/arachide ou (Wandzou, Niébé et rarement le Fonio). Dans les zones agro écologiques où la pluviométrie est comprise entre 600 et 800 mm d'eau par an, c'est le mil qui est en tête de rotation suivi du sorgho. Par contre, les régions agricoles situées au sud de cette zone mettent le sorgho en tête de la rotation. 80% des exploitations, qui pratiquent ce système de culture mettant le sorgho à la tête de leurs rotations sont situées dans les zones pluvieuses où les sols sont fertiles. Les parcelles en Mil ou Sorgho ne sont pas fertilisées avec la fumure minérale (Figure 49).

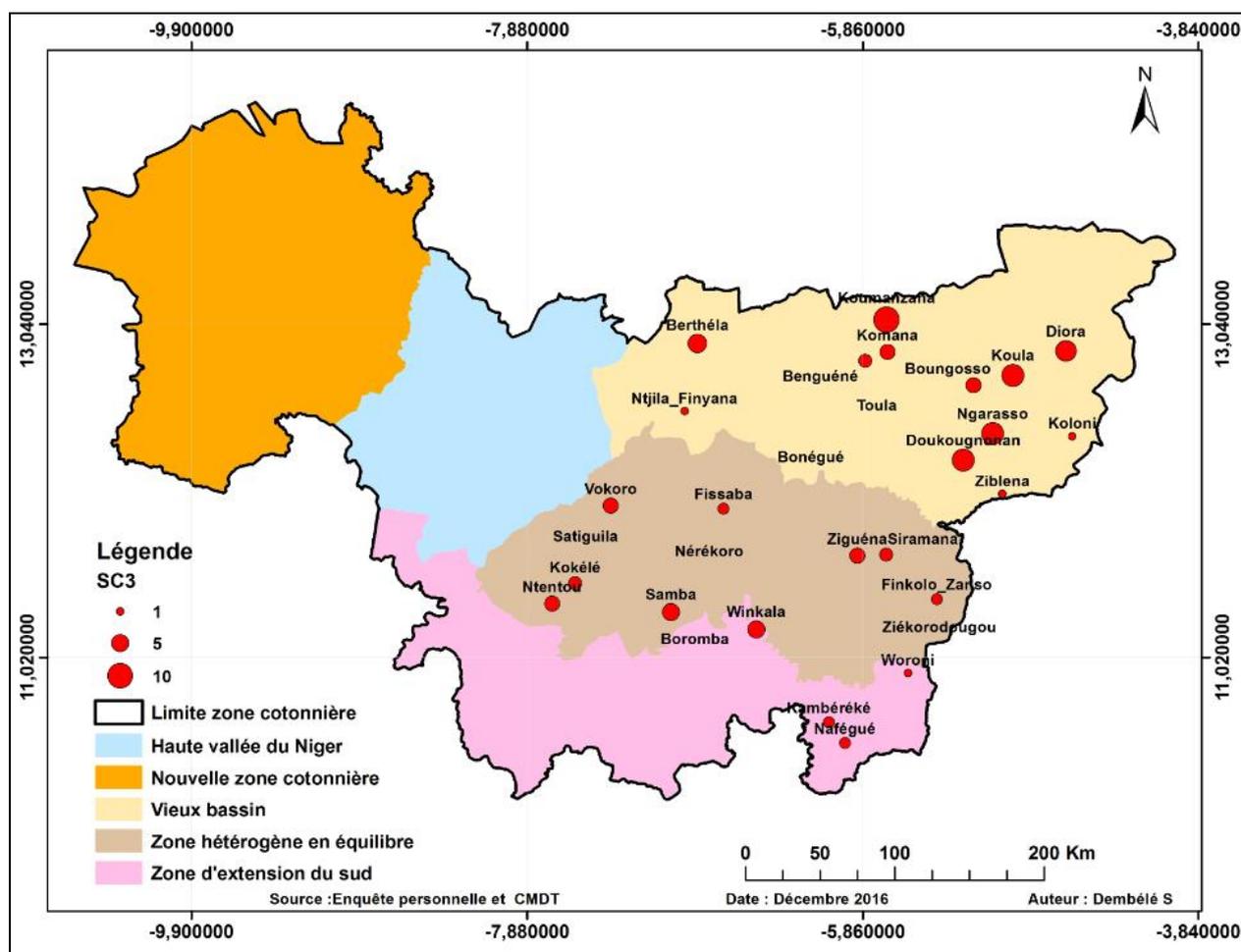


Figure 49 : Cartographie de Système de Culture3 (SC3) Mil/Sorgho/arachide ou (Niébé et rarement le Soja)

8.6.4. Le Système de Culture 4 : Céréaliculture pure Mil/Sorgho/Maïs

Ce système est très proche du précédent ; les itinéraires techniques sont semblables. Il est basé sur une rotation triennale Maïs/Sorgho et/ou Mil. C'est le second système de culture le plus répandu dans la zone cotonnière actuellement avec plus de 400 parcelles. Les exploitants ont tendance maintenant à intervertir ce système, qui mettait par le passé en tête de rotation le Sorgho ou le Mil. Dans beaucoup d'exploitations après le SC1 (coton/maïs), ils intègrent en rotation triennale le Sorgho et/ou le mil en quadriennal. Les villages les plus représentatifs de ce système sont localisés dans le vieux bassin cotonnier avec un nombre de parcelles allant de 26 à 56 parcelles (Figure 50).

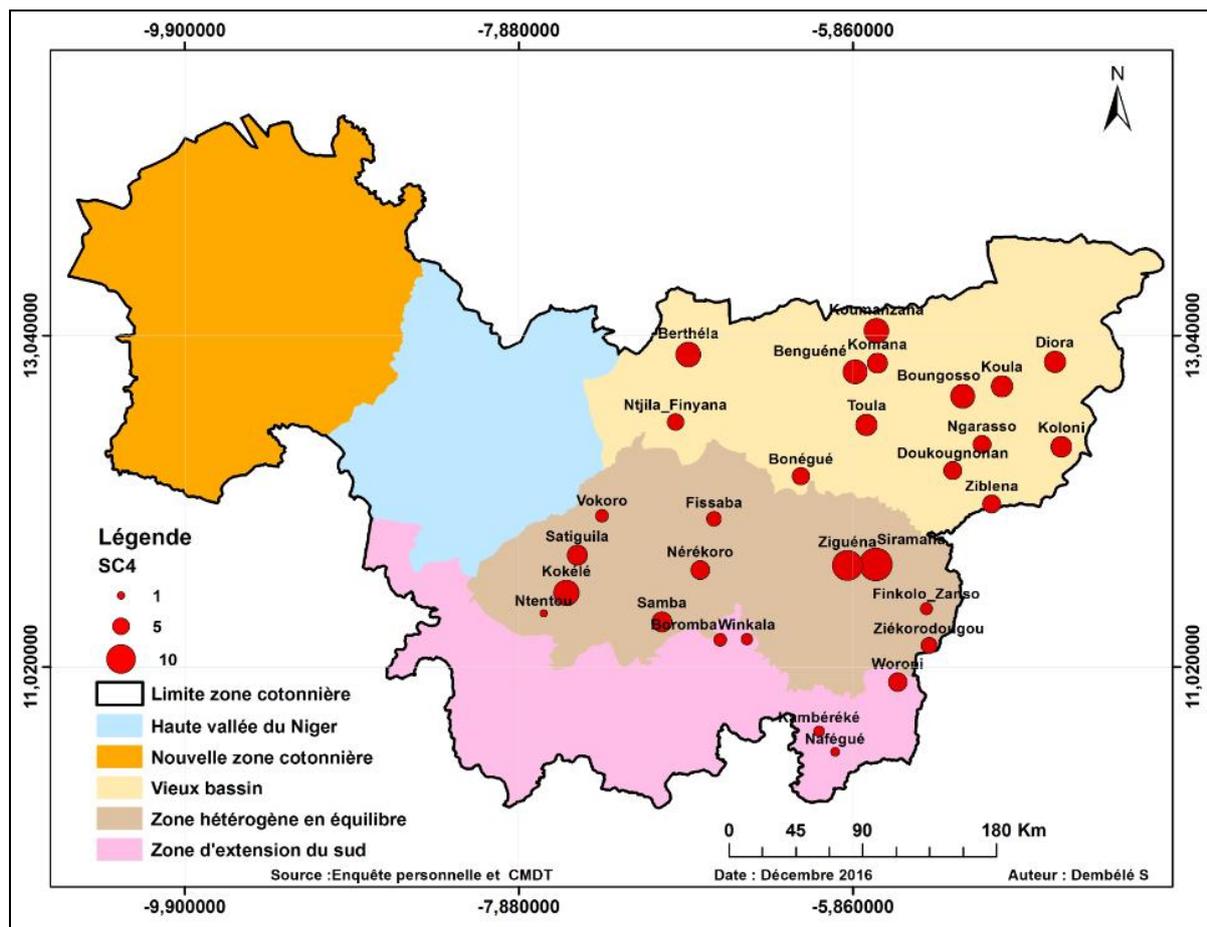


Figure 50 : Cartographie de Système de Culture4 (SC4) Céréaliculture pure Mil/Sorgho et souvent Maïs

8.6.5. Le Système de Culture 5 : Légumineuses (Arachide, Niébé ou Soja)

Tout comme le SC3, ce système de culture est localisé sur des sols de faible qualité à texture fondamentalement sableuse. Ce système basé sur la monoculture est soit en association. L'arachide est souvent avec le Poids de terre ou accessoirement au niébé. Il est surtout caractérisé par la diversité des espèces, qui le compose. Hormis les trois précédentes cultures citées, on y retrouve : le fonio, le sésame, le Soja, etc. Ce système est présent un peu partout dans la zone cotonnière du Mali avec des proportions différentes d'une zone à l'autre. Mais le nombre de parcelles reste relativement faible, les villages qui pratiquent plus ce système ont moins de 20 parcelles sous ce système et d'autres moins de 2 parcelles (Figure 51).

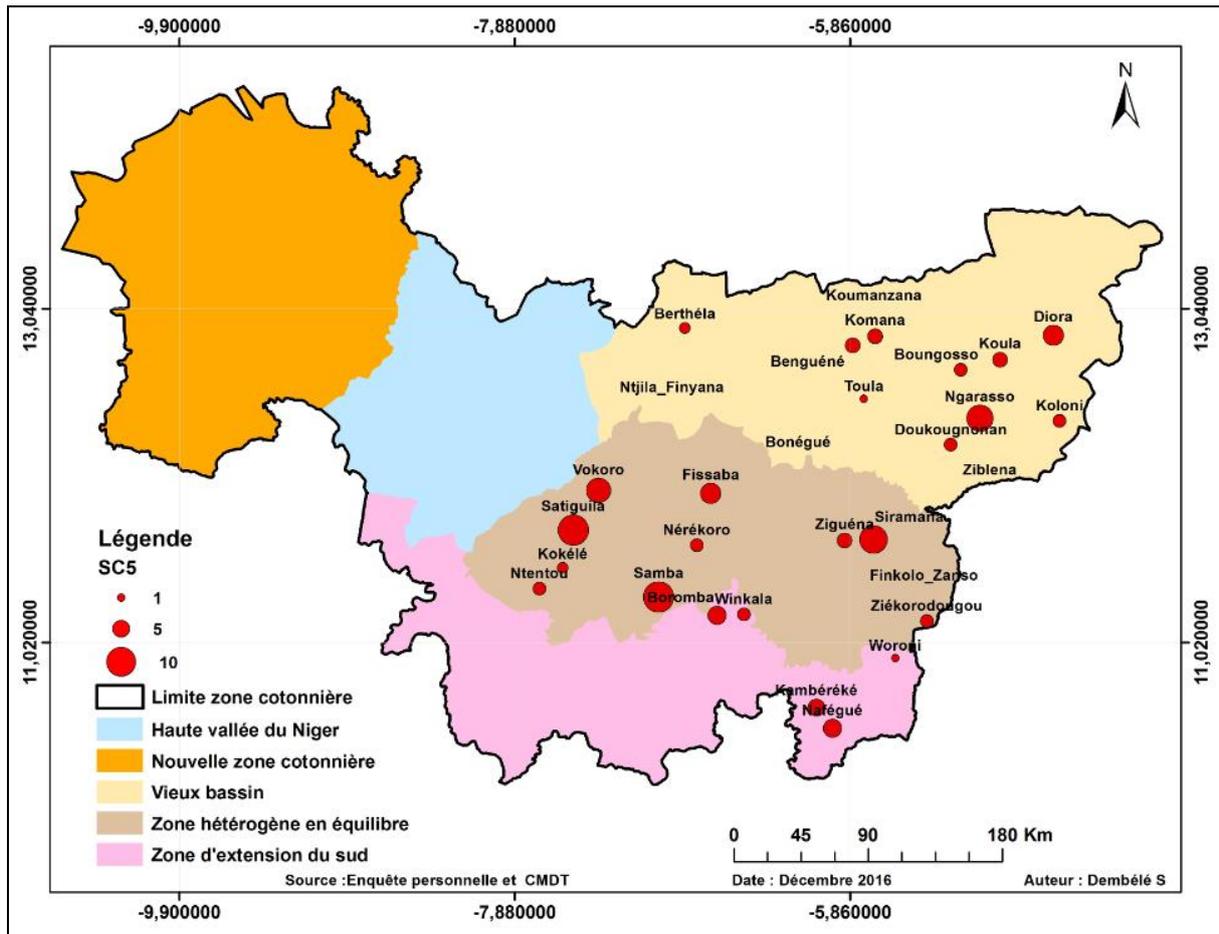


Figure 51 : Cartographie de Système de Culture5 (SC5) Légumineuses : Arachide, Niébé ou Soja

8.6.6. Le Système de Culture 6 : Riz

Ce système est présent dans tous les villages où on trouve un bas-fond. Cependant, rares sont les agriculteurs qui ont accès à ces bas-fonds. L'importance de ce système est fonction de la géomorphologie du territoire villageois : présence de bas-fonds plus ou moins large et inondable pendant la saison des pluies. C'est une culture secondaire, dont la présence contribue à la diversification de la production (Figure 52). Il est très souvent en monoculture ou accessoirement associé à l'arachide dans les bas-fonds. La culture du riz est assurée par des femmes ou des hommes âgés dont la participation aux travaux agricoles collectifs est moindre voire inexistante.

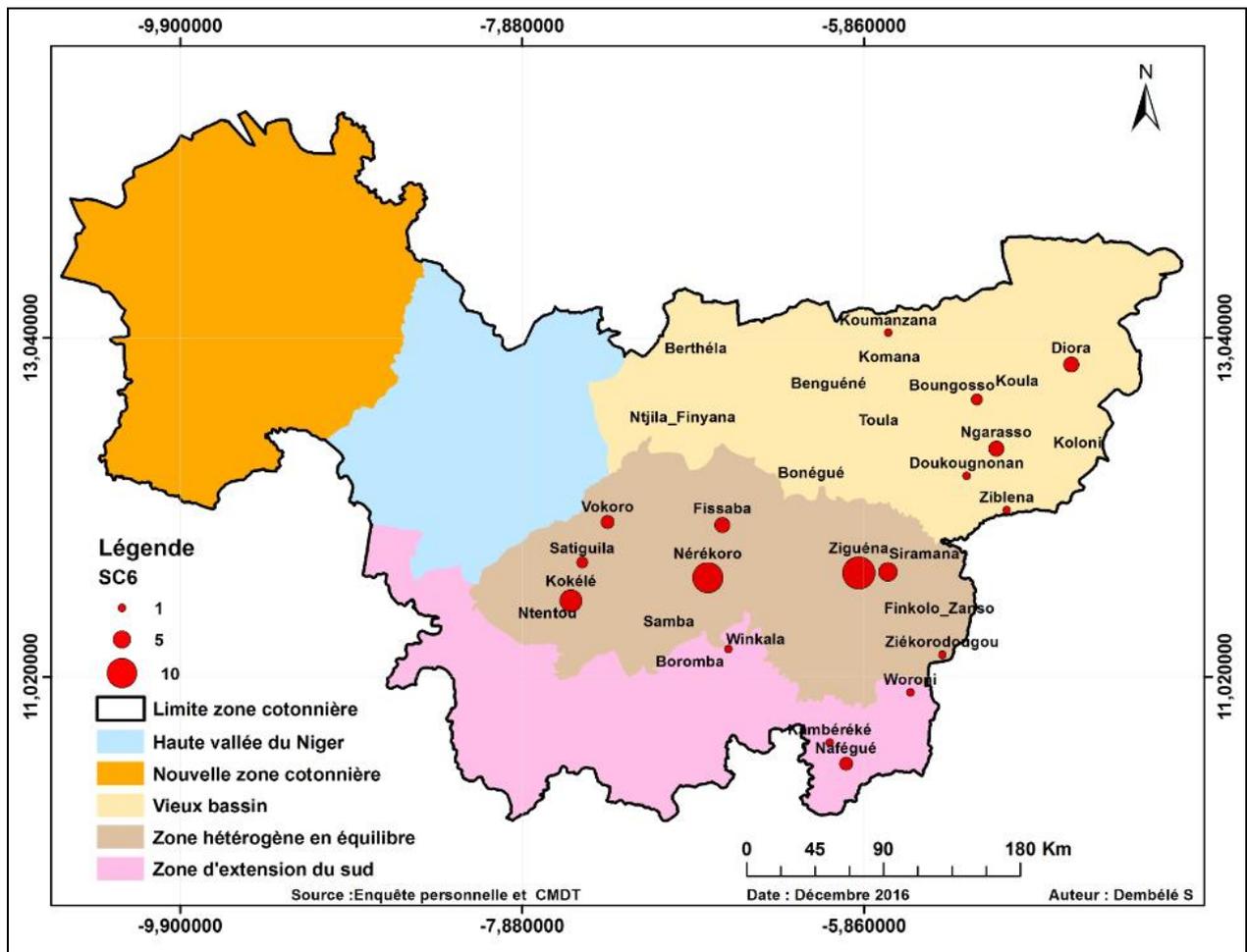


Figure 52 : Cartographie de Système de Culture⁶ (SC6) Riziculture

8.6.7. Le Système de Culture 7 : Maïs, Mil, Sorgho et légumineuses

A l'exception du coton on y retrouve toutes les espèces cultivées par les paysans : mil, sorgho, niébé, Wandzou, maïs, et arachide. Ce système est visible dans toute la zone cotonnière mais à des proportions différentes (Figure 53)

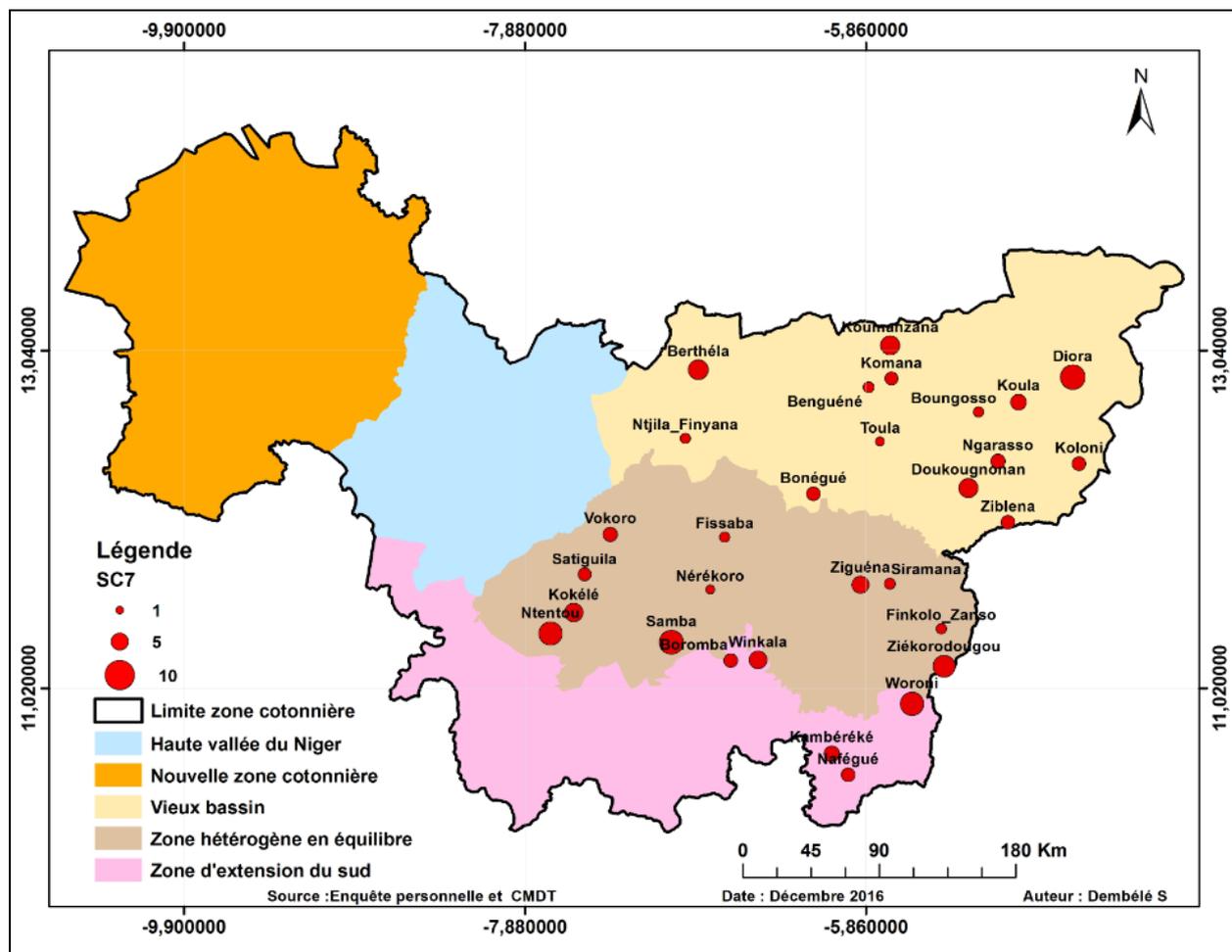


Figure 53 : Cartographie de Système de Culture 7 (SC7) Maïs, Arachide, Sorgho, Niébé

8.6.8. Synthèse de systèmes de culture

A la suite des analyses des différents systèmes de cultures, nous avons réalisé une synthèse cartographique de ces SC pour une analyse de leurs répartitions géographiques. En superposant les sept systèmes de cultures sur une même carte, nous avons une vue d'ensemble de la répartition spatiale de tous les systèmes. On remarque que la majeure partie des SC1 basés sur le coton et le maïs sont localisés dans la zone d'extension du Sud centrée sur Kadiolo et dans la zone hétérogène en équilibre cette dernière est centrée sur Sikasso et Bougouni. Dans ces deux zones les conditions naturelles sont propices à l'intensification de la culture du coton. Le maïs est la première culture qui a profité de cette situation car il lui succède dans la rotation pour profiter de l'arrière-effet des engrais apportés sur le coton (Soumaré, 2008).

Quant au SC2 qui associe au binôme Coton/Maïs, le sorgho ou le mil, il reste visible sur les trois zones agro écologiques. En plus des deux zones citées ci-dessus, on retrouve le SC2 dans le vieux bassin cotonnier. Cette situation est dû au fait que deux céréales mil/sorgho sont très cultivées selon les agrosystèmes. Pour les zones très arrosées, le sorgho est associé au maïs, par contre on retrouve beaucoup plus le mil dans le vieux bassin cotonnier au Nord de la zone cotonnière (Figure 54).

Pour ce qui est du système de culture 3 (SC3) composé des céréales traditionnelles (Mil, Sorgho) et légumineuses on le retrouve principalement dans les zones agro écologiques où la pluviométrie est comprise entre 800 et 600 mm d'eau par an. Mais tout comme le SC2, ce système de culture reste visible sur l'ensemble des zones, c'est le mil qui est en tête de rotation suivi du sorgho. On associe à ces céréales traditionnelles les légumineuses telles que le Niébé et le Wandzou.

Le système de culture 4 (SC4) sur la céréaliculture pure est basé sur une rotation triennale Maïs/Sorgho et/ou Mil. Ce système est très proche du système précédent SC3 bien qu'il soit parmi les systèmes de cultures les plus pratiqués de la zone, il n'est pas très perceptible sur la carte. Il est dissimulé par les autres systèmes.

En dehors des systèmes de culture précédemment énumérés, les trois derniers systèmes sont très peu perceptibles sur la carte. Tout comme le SC4, les trois derniers systèmes de cultures restent aussi dissimulés par les autres systèmes de cultures.

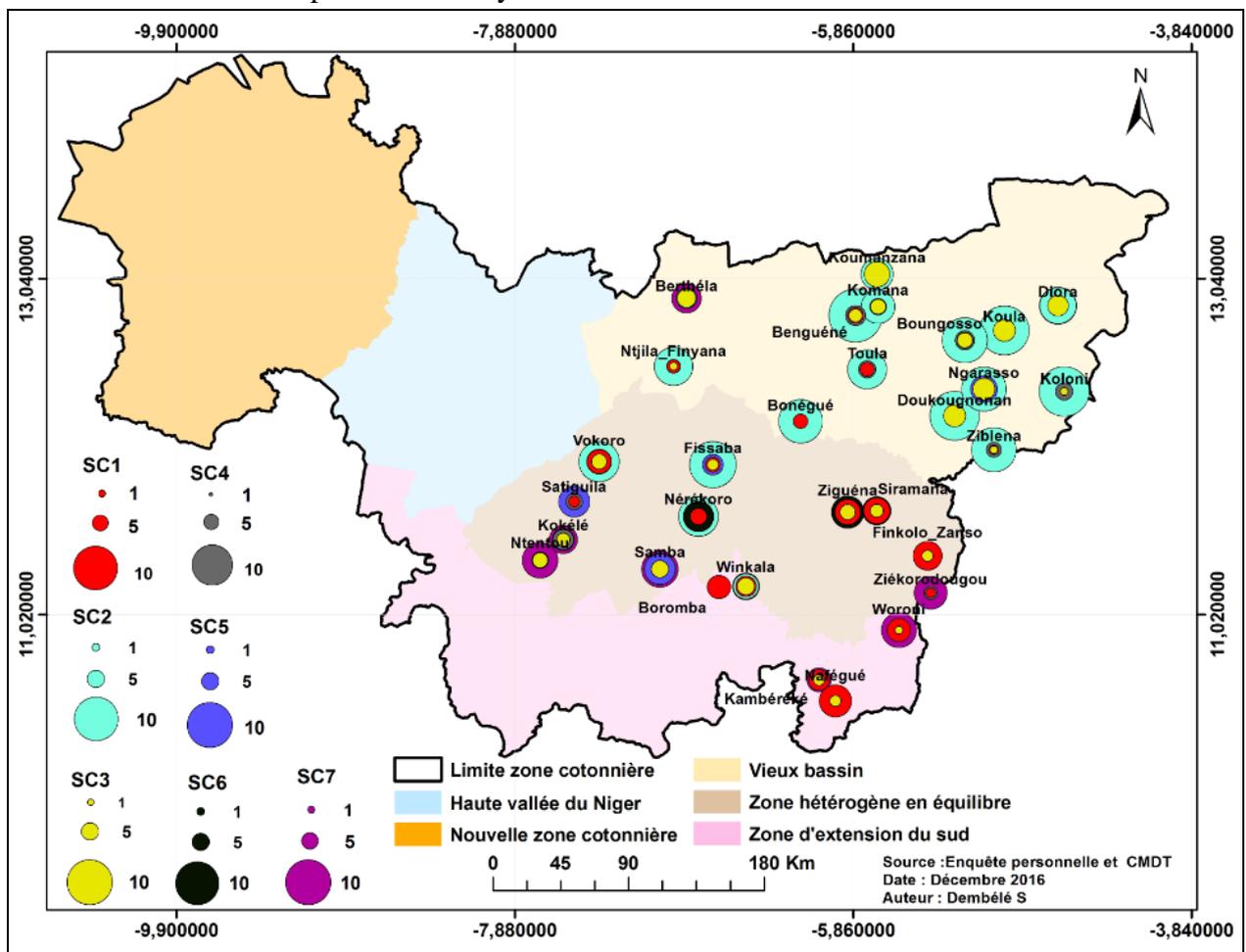


Figure 54 : Synthèse des systèmes de cultures

Synthèse du chapitre VIII

Ce chapitre qui traite du modèle d'explication de la biodiversité s'appuyait sur l'hypothèse qu'il existe une relation entre les différents niveaux de diversité. La diversité observée à une échelle supérieure est la résultante de la somme de diversité des niveaux inférieurs qui la compose.

Pour vérifier cette hypothèse, nous nous baser sur l'approche méthodologique composée des éléments suivants : un état de l'art sur la question et notre angle d'attaque, une analyse en composante principale pour déceler les variables les plus discriminantes, à la suite de cette ACP nous avons réalisé une classification Ascendante hiérarchique pour faire une typologie des exploitations en fonction des variables discriminantes. L'autocorrélation spatiale a permis de déceler des poches d'agrégats.

Au total, 11 variables caractéristiques de la biodiversité faisaient l'objet d'une ACP pour capté les variables discriminantes. Sur ces variables, seule la pluviométrie n'a pas été retenue. Nous avons puis décelé 10 variables discriminantes. Avec ces dix variables, nous avons effectué une typologie des exploitations. Quatre types d'exploitations ont été identifiés. La première classe concentre 84% des exploitations et est caractérisée par une diversité proche de la moyenne, les exploitations de 16 membres dont la moitié participe travaux d'exploitation. La seconde classe est caractérisée par des exploitations avec une diversité spécifique et de système de culture supérieure à la moyenne. Une population relativement nombreuse et des rendements supérieurs à celles de la classe1. Quant à la troisième classe, elles sont un rendement moyen supérieur à 2 000kg, une diversité moyenne et une population d'environ 21 personnes avec 11 actives. Et la quatrième et dernière classe n'a pas beaucoup d'exploitation, mais ses exploitation sont caractéristiques de grandes exploitations avec une superficie de plus de 36 ha, une population de 27 personnes et une production relativement élevée.

Au niveau spatial et global, on constate une autocorrélation positive avec les six indicateurs même si la valeur est plus forte pour les indicateurs de diversité spécifique, les indicateurs de pression spécifique du Maïs, et les indicateurs de pression spécifique du Sorgho. Au niveau local, certains agrégats ce sont dégager avec des associations Forte-forte qui signifient les villages ont une valeur d'indicateur forte dans un voisinage à forte valeur. Faible-forte où les villages à faibles valeurs d'indicateur dans un voisinage à forte valeur ou encore faible-faible qui signifie que les agrégats de villages ont une valeur faible avec des villages voisins à faibles valeurs d'indicateurs.

CHAPITRE IX : SERVICES ECOSYSTEMIQUES DE LA BIODIVERSITE AGRICOLE

Le concept de « service écosystémique » (SE) est devenu le modèle incontournable du lien entre le fonctionnement des écosystèmes et le bien-être humain (Fisher, 2009, Serpantié, 2012 op cité). Aujourd'hui, l'approche par service écosystémique est devenue l'angle d'attaque le plus utilisé pour appréhender la biodiversité, bien qu'elle offre une vision de la biodiversité nécessairement tronquée. Elle est particulièrement privilégiée lorsqu'il s'agit de réaliser des évaluations économiques (Colon, 2009).

L'émergence de la thématique des services rendus par les écosystèmes est une caractéristique forte de la problématique environnementale de ces dernières années. Mais pourtant la genèse de ce concept date des années 1970. En effet (Méral, 2012) dans son article « *Le concept de service écosystémique en économie : origine et tendances Récentes* » identifiait trois grandes périodes dans l'historique de ce concept : une période d'émergence, qui commence au début des années 1970 concomitamment à celle de la problématique environnementale au niveau international ; puis, à partir de 1997, une période dite de médiatisation qui débute par la parution de l'article de (Costanza, 1997) la publication de l'évaluation monétaire des écosystèmes globaux et se termine par la publication des travaux du Millennium Ecosystem Assessment ; enfin, ce que nous appelons « le temps de la politique », favorisé par une tendance à la mise à l'agenda politique qui semble se dessiner à partir du milieu des années 2000.

Pour rappel, un service écosystémique est un service fourni par la nature qui améliore ou maintient le bien-être humain (Daily, 1997). Les différentes classifications de ces services ont été proposées par (Costanza, 1997, De Groot, 2002, Millennium Ecosystem Assessment MEA, 2005). Nous retiendrons ici celle proposée par le MEA qui distingue deux grands groupes de services : ceux indirectement utilisés par les êtres humains (les services d'entretien) et les services directement utilisés par l'homme qui se déclinent en trois sous-groupes (les services d'approvisionnement, les services de régulation et les services culturels) **Figure 55.**

9.1. Les services d'entretien

Ces services sont de ceux qui sont indirectement utilisés par l'homme mais qui conditionnent le bon fonctionnement des écosystèmes, à court terme mais également dans leur capacité d'adaptation à long terme : capacité de recyclage des nutriments, pédogenèse (formation des sols à partir de la roche mère), importance de la production primaire comme premier maillon des chaînes alimentaires, résistance à l'invasion par des espèces étrangères, etc.

9.2. Les services d’approvisionnement (ou de prélèvement)

Ce sont ceux qui conduisent à des biens « appropriables » (aliments, matériaux et fibres), que ces biens sont autoconsommés, troqués ou mis en marché (Tableau 73);

9.3. Les services de régulation

Ces services permettent de moduler dans un sens favorable à l’homme des phénomènes comme le climat, l’occurrence et l’ampleur des pathologies (humaines mais aussi animales et végétales) ou différents aspects du cycle de l’eau (crues, étiages, qualité physico-chimique), ou à protéger d’événements catastrophiques (cyclones, tsunamis, pluies diluviennes) ; contrairement aux services d’approvisionnement, ces services de régulation sont généralement non appropriables et ont plutôt un statut de biens publics ;

9.4. Les services culturels

Ces services sont notamment l’utilisation des écosystèmes à des fins récréatives, esthétiques et spirituelles (par exemple la nature comme source de création artistique ou de réconfort) ou éducative.

On distingue ainsi ce que fournissent les écosystèmes de par leurs fonctions des bienfaits qu’en retire l’être humain. Par exemple, la fourniture de denrées alimentaires (service d’approvisionnement dans le MEA international) n’est pas un service directement rendu par les écosystèmes, la majeure partie des denrées étant aujourd’hui produites par l’activité agricole. Les écosystèmes ne fournissent que des supports à l’agriculture (surfaces cultivables, espèces animales et végétales) ; seuls les produits de la chasse, de la pêche et de la cueillette fournissent des denrées directement produites par les écosystèmes. La plupart des bienfaits fournis par les écosystèmes sont indirects.

Pour mesurer l’importance de ces services, diverses méthodes sont utilisées, certaines sont adaptées à la mesure d’un certain nombre de services, telle est le cas des indicateurs pour rendre compte du bon fonctionnement des écosystèmes (services d’entretien et services de régulation) par exemple l’indicateur du paysage écologique net, la fragmentation du paysage, l’hétérogénéité du paysage, etc.

Les services d’approvisionnement peuvent être suivis directement à partir des quantités de biens issus des écosystèmes. Cette estimation est aisée pour les produits mis en marché, plus difficile pour les produits d’autoconsommation ou de troc, qui peuvent représenter parfois une part substantielle de ces produits (Chevassus-au-Louis, 2009).

Enfin, les services culturels sont le plus souvent approchés à travers la fréquentation des écosystèmes sous ses différentes formes (tourisme, chasse et pêche, sports de nature, visites pédagogiques).

Notre analyse des services écosystémiques porte spécifiquement sur les services d’approvisionnement car nous n’avons pas d’information dans notre base de données sur les autres services notamment les services d’entretien, les services de régulation et les services

culturels. Il s'agit surtout d'une analyse du niveau de sécurité alimentaire de l'exploitation agricole issue des services d'approvisionnement.

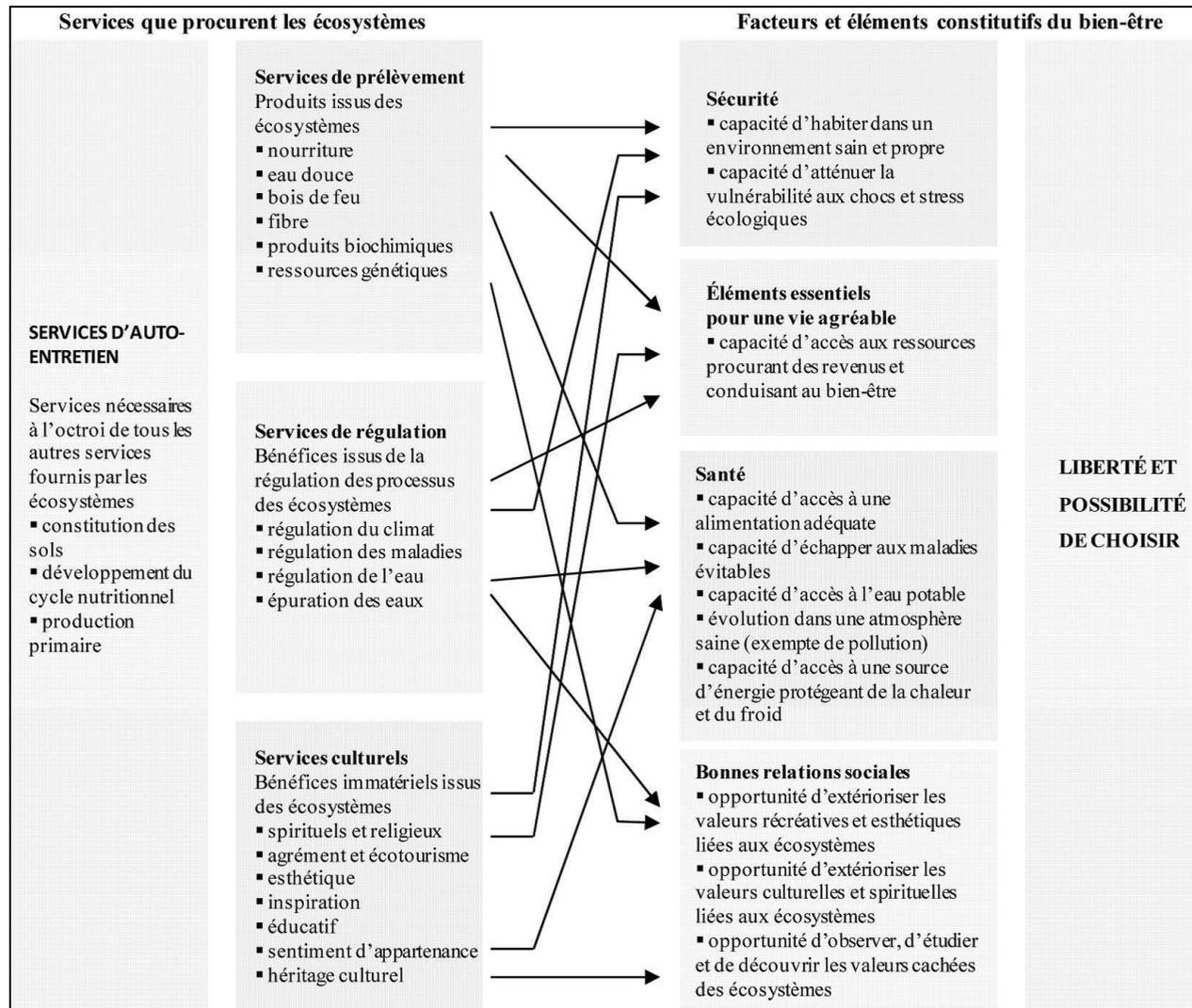


Figure 55 : Les bénéfices tirés des écosystèmes et leurs liens avec le bien-être de l'homme (schéma adapté du Millennium Ecosystem Assessment [2003, p. 5] Méral P 2012).

Tableau 73 : Biens et services fournis par les écosystèmes

Ecosystème	Biens	Services
Agro-écosystèmes	1. Cultures alimentaires	1. Maintien des fonctions de bassin versant
	2. Cultures de Fibres végétales	2. Fournir des habitats pour les oiseaux, les pollinisateurs, les organismes du sol importants pour l'agriculture
	3. Ressources génétique agricoles	3. Séquestration du carbone atmosphérique
Ecosystème Forestiers	1. Bois de construction	1. Baisse de polluants atmosphérique et émission d'oxygène
	2. Bois de chauffe	2. Renouvellement des substances nutritives
	3. Eau potable et irrigation	3. Maintien d'une gamme de fonctions hydrologique (infiltration, purification, régulation des régimes hydrologiques, stabilité du sol)
	4. Fourrage	4. Séquestration de carbone atmosphérique
	5. Produits forestiers non ligneux	5. Atténuation des variations climatiques et leurs effets
	6. Aliments (Miels, Champignons, fruits et autres plantes, gibier)	6. Régénération du Sol
	7. Ressources génétiques	7. Fourniture de l'habitat pour l'homme et pour la vie sauvage
Zones humides	1. Eau potable et irrigation	1. Régulation du flux (Contrôle des débits et du volume)
	2. Poison	2. Dilution et élimination des déchets
	3. Hydroélectricité	3. Renouvellement des substances nutritives
	4. Ressources génétique	4. Fourniture de l'habitat aquatique
		5. Contribution à la valeur esthétique et services récréatifs
Ecosystèmes des prairies	1. Bétail (alimentaires, gibier et cuir)	1. Maintien d'une gamme de fonctions hydrologique (infiltration, purification, régulation des régimes hydrologiques, stabilité du sol)
	2. Eau potable et irrigation	2. Renouvellement des substances nutritives
	3. Ressources génétiques	3. Régénération du Sol
		4. Séquestration de carbone atmosphérique

Source : Adapté de world resource Institute (2000) Caron, 2010 op cité

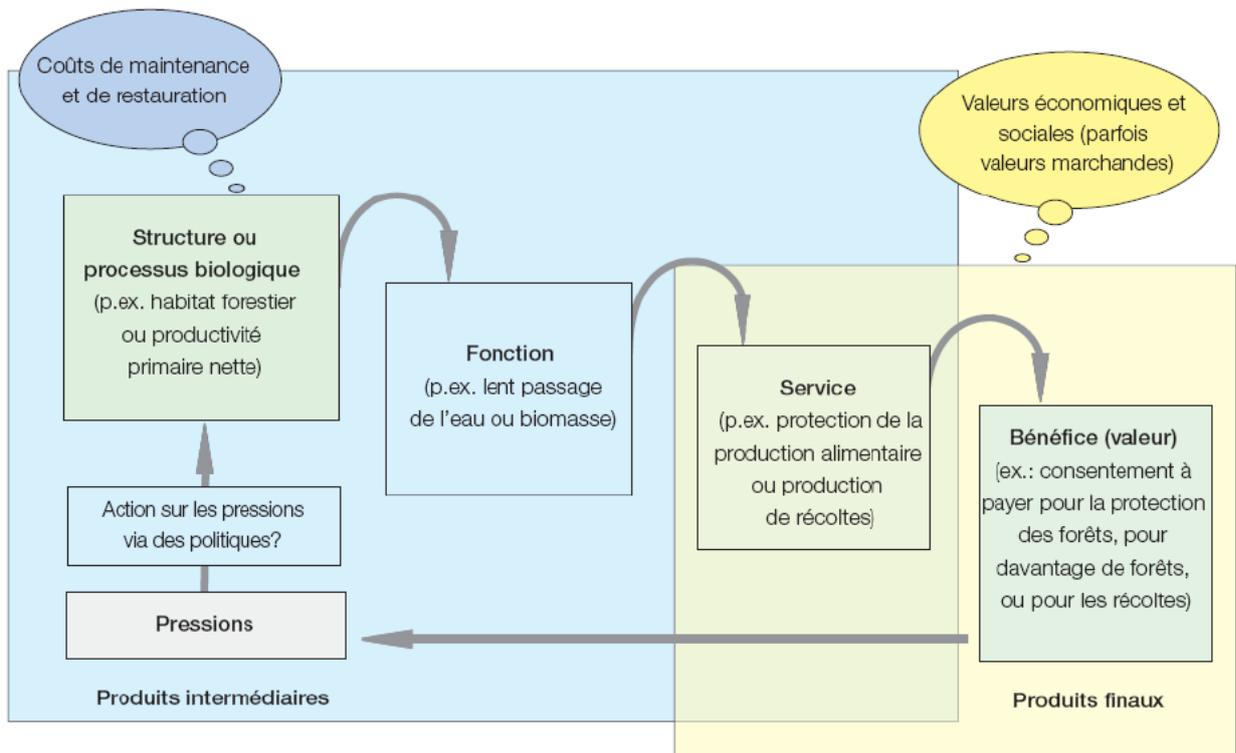


Figure 56 : Lien entre la biodiversité et la production des services par les écosystèmes

Source : Commission européenne, 2008

9.5. Méthodologie

9.5.1. Analyse du niveau de sécurité alimentaire

Ces analyses concernent vingt-cinq villages. Une enquête basée sur un échantillonnage aléatoire stratifié a été réalisée dans ces villages. Il a porté sur un ensemble de variables caractéristiques des exploitations agricoles en zones cotonnières. Ce sont des variables sur la taille (population, surfaces cultivées, actifs agricoles, production agricole...etc). Les données ont été directement saisies dans une base de données Access. L'analyse a consisté à l'écriture de requêtes pour extraire les informations de la base afin de pouvoir calculer les variables telles que : La quantité de céréale, estimations des rendements denrées alimentaires, la quantité de céréales par personnes, superficie cultivée et superficie cultivée par personne (Tableau 74). Ces variables ont été misent en relation avec les niveaux de diversité des exploitations à l'aide des méthodes de régression.

9.5.2. Régression linéaire

La régression est une méthode statistique visant à analyser la relation (association) entre une variable dépendante particulière et une ou plusieurs variables indépendantes ou explicatives. En général, les modèles de régression sont construits dans le but d'expliquer (ou prédire, selon la perspective de l'analyse) la variance d'un phénomène (variable dépendante) à l'aide d'une combinaison de facteurs explicatifs (variables indépendantes) selon (Fayçal, 2012). Un modèle de régression linéaire simple ne contient qu'une seule variable explicative. Nous avons réalisé une régression linéaire entre les indicateurs et les variables de sécurité alimentaire pour appréhender la relation entre la diversité des exploitations et leur bien être socio humain. Les résultats des analyses de régression sont interprétés à l'aide de deux paramètres : le seuil de signification qui détermine la validité statistique de l'analyse (il doit être inférieur ou égal à 5% soit 0,05) et le coefficient de détermination R^2 .

9.6. Etat de la sécurité alimentaire dans la zone cotonnière du Mali

La sécurité alimentaire se définit comme l'accès de toute personne, en tout temps, à une nourriture Suffisante pour une vie active (Banque Mondiale, 1986 in CILSS, 2002). Assurer la sécurité alimentaire, est la première finalité des exploitations agricoles familiales de la zone cotonnière du Mali. Nous avons évalué la sécurité alimentaire de la zone cotonnière en deux échelles différentes. L'échelle des villages pour avoir une vue d'ensemble du niveau de sécurité et l'échelle des exploitations pour une analyse plus fine. Cette démarche est motivée par le fait qu'une analyse au niveau globale peut cacher des cas spécifiques.

9.6.1. La disponibilité céréalière à l'échelle des villages

La disponibilité céréalière est l'existence en quantité suffisante des produits alimentaires de base, essentiellement de production interne dans le cas qui nous concerne. Les besoins en alimentation dans les villages de la zone cotonnière sont comblés par des céréales comme le maïs, le mil et sorgho. Toutes fois certains tubercules tels que la patate et l'igname, ou des produits oléagineux viennent en complément des céréales pour assurer la sécurité alimentaire. La quantité de céréale produit par les exploitations dans les villages de la zone cotonnière est importante. En 2015, nos villages d'échantillons ont produits plus de 3 200 000 kg ou 3 200 tonne de céréales. Dans ce total, le vieux bassin cotonnier à une production de 1 447 269 kg soit 44%. La zone hétérogène en équilibre avec 31% produit 1 019 667 kg. Le reste des 25% proviennent de la zone d'extension du Sud.

Les productions les plus élevées ont été enregistré dans les villages de Woroni, de Finkolo zanso, de Ziékorodougou et de Koumanzana avec respectivement 490 513, 196 625, 182 870 et 179 394 kg. Par contre, les productions les plus faibles sont à l'actives des villages de Ntjila_Finyana, de Diora, de Ntentou et de Berthéla avec respectivement 62 037, 65 216, 75 000, 83 185kg de céréales (Figure 57). Il faut noter qu'on a une forte disparité entre les villages confirmé par l'Ecartype de 82 050 kg.

Dans les différents villages, nous constatons que la population totale varie entre 193 personnes à 479 personnes. La proportion des actifs est significative dans cette population. En d'autres termes les ressources humaines pour l'exécution des travaux de champs sont considérables et peuvent expliquer le fort rendement alimentaire (Tableau 74). Ce Tableau 74 explique mieux la part de terres cultivées par personne et celle cultivées par actif à l'hectare/personne. Nous voyons que la moyenne des superficies cultivées par personne est autour de 0,5 ha. La valeur minimale est de 0,34 ha contre une maximale de 0,90 ha. L'écart entre les exploitations est faible avec un Ecartype de 0,12ha.

En observant les résultats d'indicateur de sécurité alimentaire étudié notamment la quantité de céréale par personne et par an, on constate que la majorité des différents villages sont au-dessus du seuil de subsistance. La quantité de céréale disponible par personne (adultes et enfants compris) va de 249,14 Kg à 1211,14 Kg (Figure 58). Avec un seuil de sous-alimentation de 250 kg/tête/an, 99% des villages sont au-dessus de ce seuil de sous-alimentation contre 1% qui est légèrement en dessous de 250 Kg(le seuil de sous-alimentation). C'est le village de Ntjila Finyana dans le vieux bassin cotonnier. Ces résultats montrent en générale une forte disponibilité alimentaire.

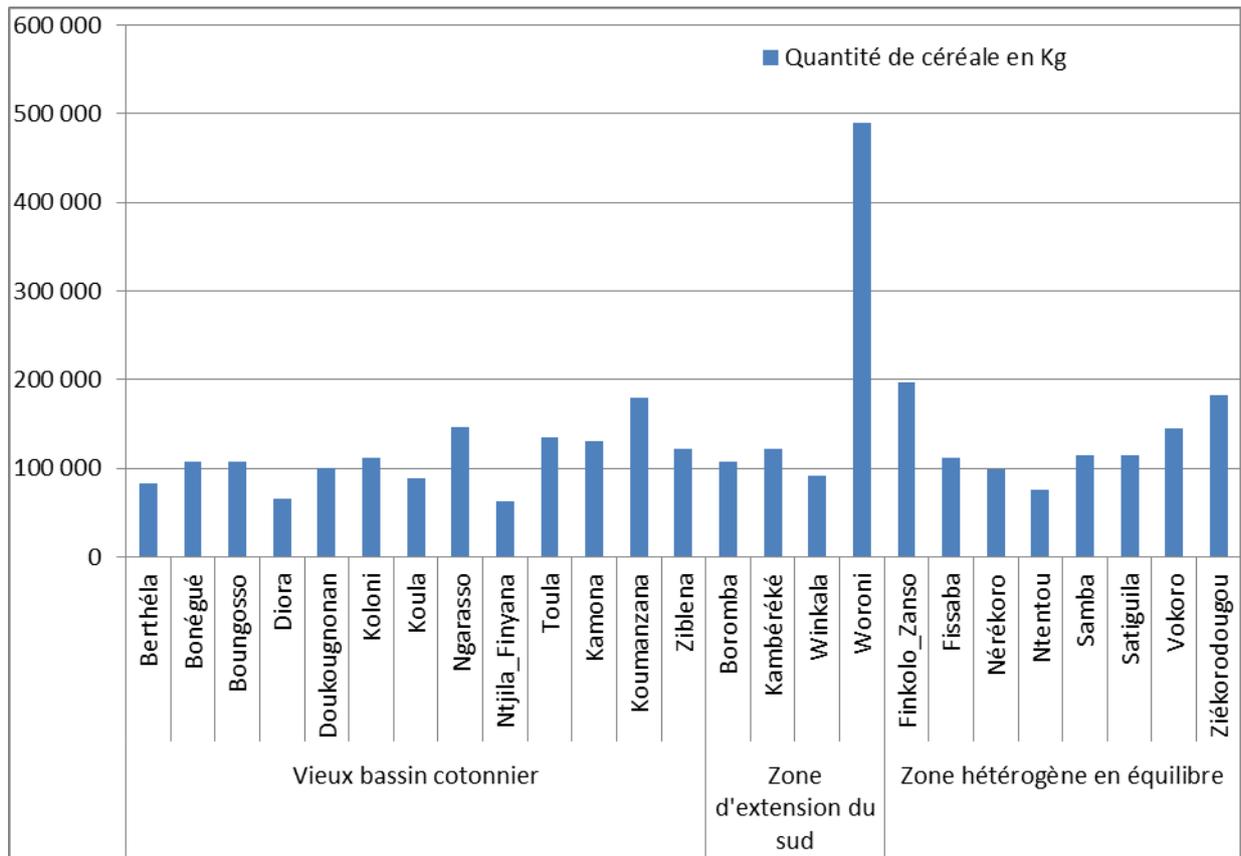


Figure 57 : Quantité de céréales produites en Kg

Tableau 74 : Quelques variables caractéristiques de la sécurité alimentaire.

VILLAGE	Population totale	Superficie totale	Quantité de céréale kg/ha	rendements moyen denrées alimentaires kg/ha	Quantité de céréales par personne kg	Surface cultivée par personne ha/personne	Surface cultivée par Actif ha/personne
Berthéla	319	116,215	83 185	716	261	0,36	1,31
Bonégué	344	176	107 900	613	314	0,51	3,45
Boromba	279	149	107 825	724	386	0,53	3,55
Boungosso	395	197,25	119 925	608	304	0,50	1,10
Diora	193	137	65 216	476	338	0,71	1,38
Doukougnonan	399	164	99 787	608	250	0,41	1,09
Finkolo_Zanso	401	183	196 625	1074	490	0,46	3,00
Fissaba	323	222,75	111 250	499	344	0,69	5,71
Kambéréké	371	157,75	121 977	773	329	0,43	3,59
Koloni	278	190,5	111 821	587	402	0,69	1,98
Kamona	373	144,99	130 450	900	350	0,39	1,21
Koula	261	162,55	88 116	542	338	0,62	1,64
Koumanzana	405	205,45	179 394	873	443	0,51	2,48
Nérékoro	321	235,75	99 150	421	309	0,73	5,75
Ngarasso	359	207,75	146 155	704	407	0,58	1,60
Ntentou	206	185	75 000	405	364	0,90	7,40
Ntjila_Finyana	249	151,4	62 037	410	249	0,61	4,73
Samba	313	175,1	114 010	651	364	0,56	6,25
Satiguila	290	150	114 770	765	396	0,52	5,00
Toula	374	208,05	134 740	648	360	0,56	2,39
Vokoro	479	267,5	145 170	543	303	0,56	5,25

Winkala	313	157,25	91 411	581	292	0,50	2,71
Woroni	405	243,25	490 513	2016	1211	0,60	3,58

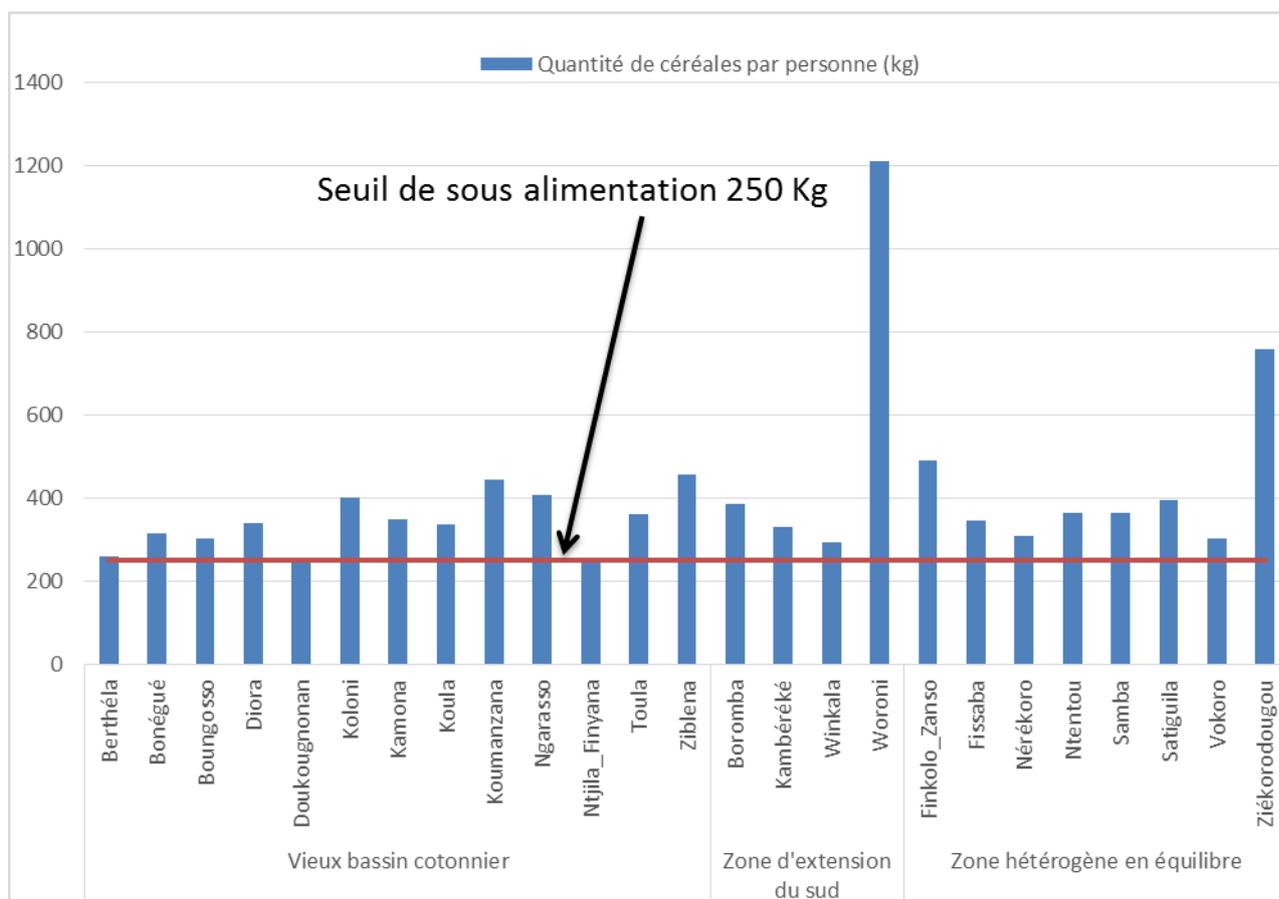


Figure 58 : Quantité de céréale par personne et par an

9.6.2. La disponibilité céréalière à l'échelle des exploitations

Si à l'échelle du village 99% sont au-dessus du seuil de sous-alimentaire, cette proportion cache des poches d'exploitations déficitaires. En effet, c'est dans seulement un village qu'on retrouve 100% des exploitations excédentaires (Figure 59 et Figure 60). On dénombre 163 exploitations qui sont en dessous du seuil de sous-alimentation soit 36% des exploitations totales (**Tableau 75**).

La plupart des exploitations agricoles déficitaires sont dans le vieux bassin cotonnier, soit 97 exploitations sur les 163 déficitaires. Et ces exploitations sont localisées dans les villages situés dans la partie nord de cette zone où les conditions pluviométriques et édaphiques ne sont pas bonnes. On retrouve dans cette situation les villages comme Kamona, Koumanzana, Koula et Toula. La majorité des exploitations de la zone hétérogène en équilibre sont autosuffisants voir excédentaire. Sur les 144 exploitations de la zone, 99 exploitations sont excédentaires soit 69% contre 31% déficitaires qui totalisent 45 exploitations. Quant aux exploitations de la zone d'extension du Sud, sur les 72 que compte cette zone, 48 sont excédentaires soit 67%. Par contre, 24 exploitations sont en situation d'insécurité alimentaire.

Globalement on se rend compte que 36% des exploitations agricoles sont en situations d'insécurité alimentaires. Même si à l'échelle village on a seulement 1 village qui est en dessous de seuil de sous-alimentation.

Tableau 75 : Classification des exploitations selon le niveau de sécurité alimentaire

Zonage	Villages	Exploitation excédentaire	Proportion Exploitation excédentaire	Exploitation déficitaire	Proportion Déficitaire Exploitation déficitaire
Vieux bassin cotonnier	Berthéla	5	28	13	72
	Bonégué	6	33	12	67
	Boungosso	8	44	10	56
	Diora	9	50	9	50
	Doukougnonan	9	50	9	50
	Koloni	11	61	7	39
	Kamona	11	61	7	39
	Koula	11	61	7	39
	Koumanzana	12	67	6	33
	Ngarasso	12	67	6	33
	Ntjila_Finyana	13	72	5	28
	Toula	13	72	5	28
	Ziblena	17	94	1	6
Zone d'extension du sud	Boromba	7	39	11	61
	Kambéréké	11	61	7	39
	Winkala	15	83	3	17
	Woroni	18	100	0	0
Zone hétérogène en équilibre	Finkolo_Zanso	10	56	8	44
	Fissaba	10	56	8	44
	Nérékoro	12	67	6	33
	Ntentou	12	67	6	33
	Samba	13	72	5	28
	Satiguila	13	72	5	28
	Vokoro	14	78	4	22
Ziékorodougou	15	83	3	17	

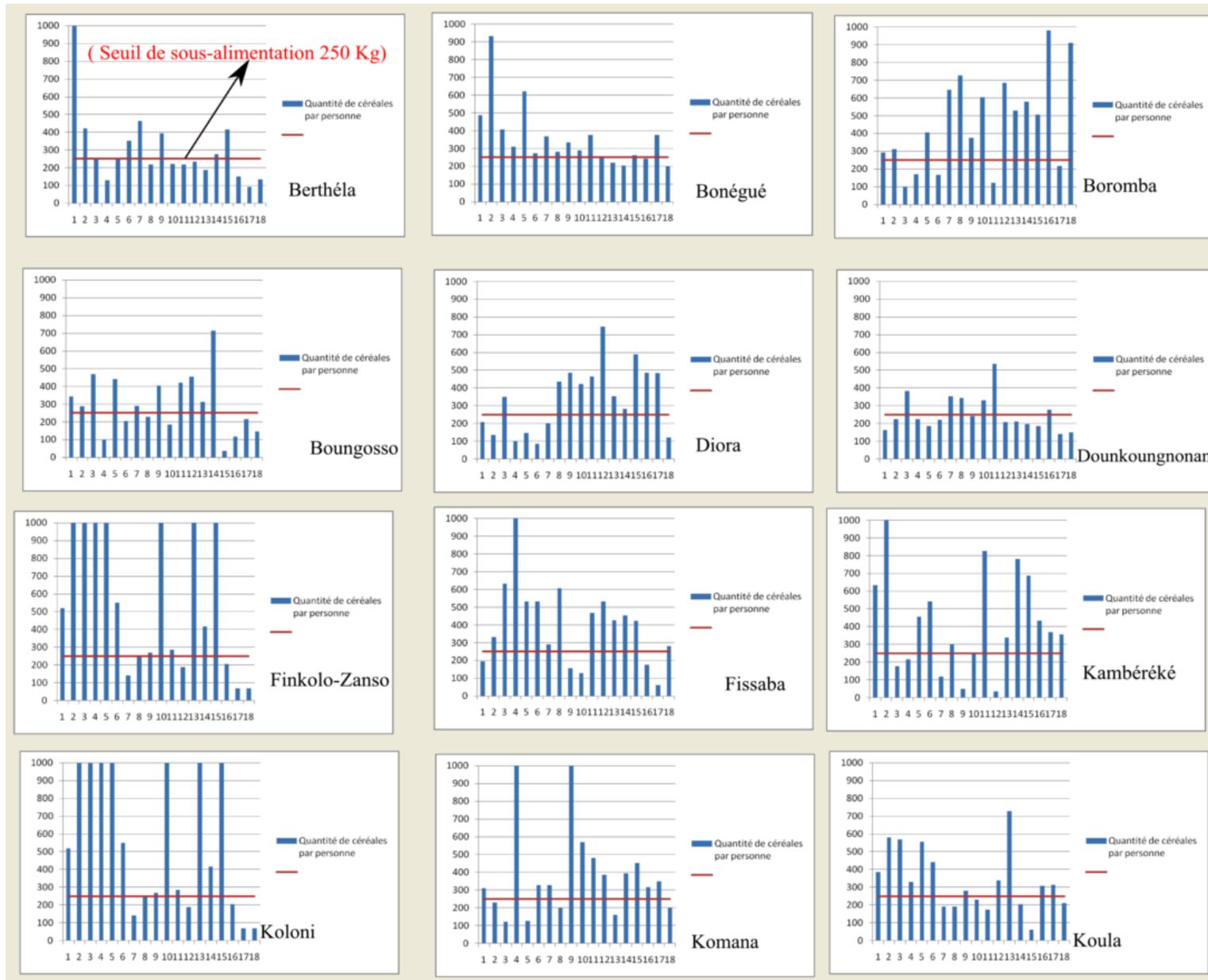


Figure 59: Seuil de sous-alimentation des exploitations

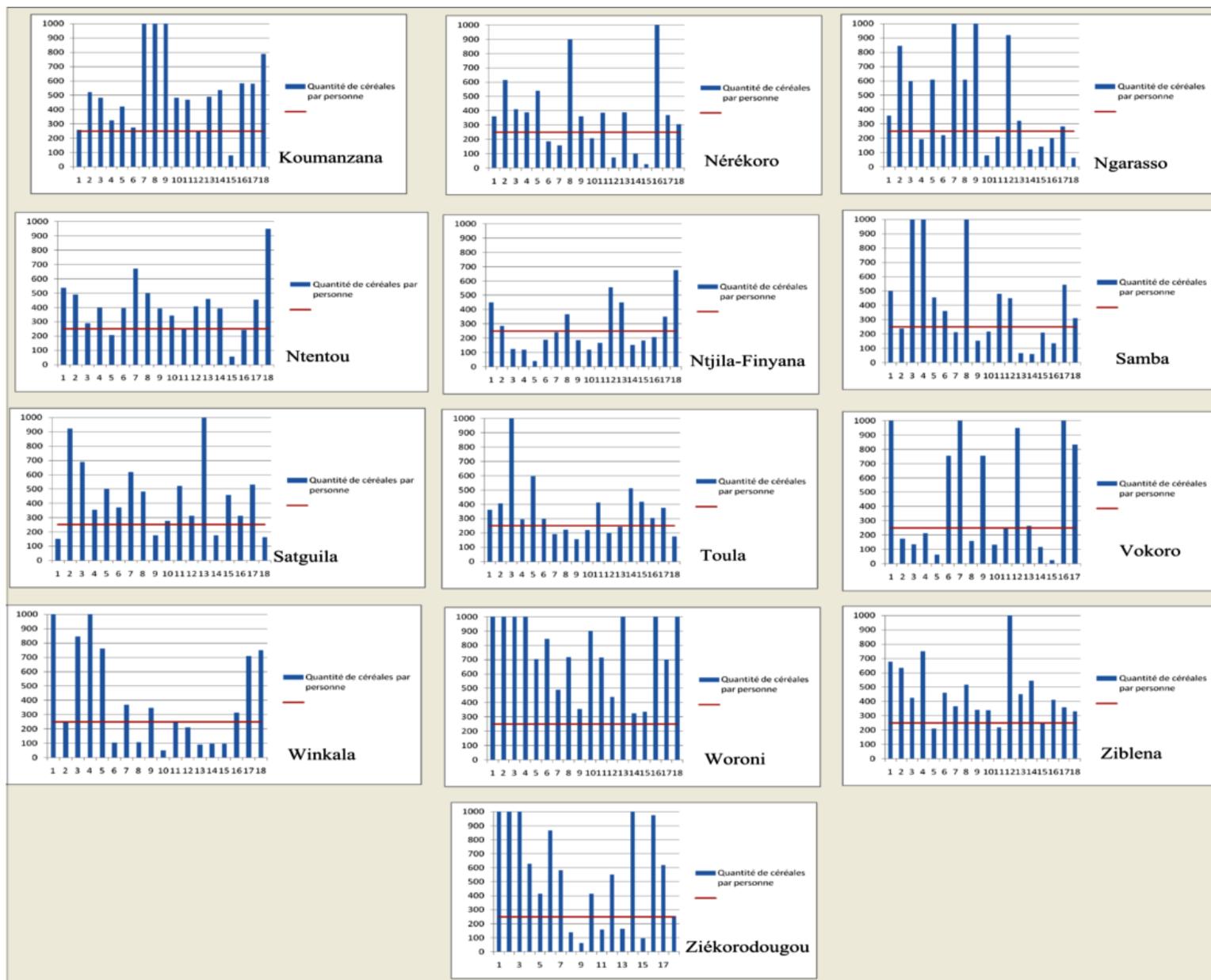


Figure 60 : Seuil de sous-alimentation des exploitations suite

9.7. L'impact de la diversité spécifique sur le niveau de sécurité alimentaire

Pour rappel, l'indicateur de diversité spécifique est le rapport entre le nombre d'espèces cultivé dans une exploitation et le nombre total d'espèce cultivé dans son village. Cet indicateur rend compte de la diversité spécifique de chaque unité de production. Cet indicateur a été croisé avec les autres variables pour analyser leurs relations. Le modèle de régression simple des indicateurs de diversité spécifique avec les variables comme : la superficie, la surface cultivée par personne, quantité de céréale et la quantité de céréales par personne.

Les résultats de cette régression nous montre un seuil de validité statistique significatif pour la superficie et surface cultivée par personne mais un très faible coefficient de détermination avec respectivement 0,12 et 0,04 (Tableau 76). Cela veut dire que la superficie et la surface cultivée par personne n'expliquent que 12 et 4% de la variabilité de la diversité spécifique. Pour la quantité de céréale et quantité de céréales par personne, les coefficients de déterminations sont très faibles et les seuils de significations sont au-delà de 0,05. Ce qui signifie que la corrélation n'est pas significative.

Tableau 76 Relation entre indicateur de diversité spécifique et les variables de sécurité alimentaire

Variable	Indicateur de diversité spécifique		
	Equation	R ²	Seuil de signification
Superficie	0,009 x 0,387	0,12	0,000
Surface cultivée par personne	0,050 x 0,446	0,04	0,000
Quantité de céréale	1,571 x 0,469	0,007	0,083
Quantité de céréales par personne	6,529 x 0,477	0,001	0,609

9.8. L'impact de la diversité des systèmes de culture sur la sécurité alimentaire

La relation entre la diversité des systèmes de culture (SC), et la sécurité alimentaire a été étudié à travers une régression linéaire. Quatre modèles statistiques ont été établis et les résultats (Tableau 77) révèlent l'absence totale de relation entre SC et les quatre variables étudiées d'où les R² de 0,07 ; 0,03 ; 0,04 et 0,02 respectivement pour la superficie, la surface cultivée par personne, la quantité de céréale et la quantité de céréales par personne. Ces résultats signifient que moins de 8% de la variabilité de SC est expliqué par ces variables. Même si le seuil de validité statistique est très significatif. Cela veut dire que la diversité des systèmes de culture des exploitations n'explique en rien leurs niveaux de sécurité alimentaire.

Tableau 77 : relation entre diversité des systèmes de culture et la sécurité alimentaire

Variables	Indicateur de diversité des systèmes de culture		
	Equation	R2	Seuil de signification
Superficie	0,008 x 0,383	0,07	0,000
Surface cultivée par personne	0,053 x 0,428	0,03	0,000
Quantité de céréale	4,060 x 0,435	0,04	0,000
Quantité de céréales par personne	3,775 x 0,446	0,02	0,008

9.9. Relation entre rendement moyen des denrées alimentaires et les autres variables

Les résultats d'analyse des régressions montrent que le rendement moyen des denrées alimentaires à une relation très faible avec la superficie et la superficie cultivée par personne. Les coefficients de déterminations sont très faibles entre 0,000 et 0,006. Les seuils de validité statistique ne sont pas significatifs car ils sont au-delà du seuil de 0,05. Ces résultats montrent que la variabilité du rendement n'est pas due à l'augmentation des superficies (Tableau 78). Par contre la relation est significative entre la quantité de céréale et quantité de céréales par personne. Le rendement, la quantité de céréale et la quantité de céréale par personne sont liés. Même si les corrélations ne sont pas très fortes avec des R² de 0,27 et 0,34. Les seuils sont très significatifs. Dans les deux cas il est de 0,000. L'augmentation de rendement se traduit par une augmentation de la quantité de céréale et de la quantité de céréale par personne. Les exploitations sont autosuffisantes.

Tableau 78 : Relation entre rendement moyen des denrées alimentaires et les autres variables

Variable	Rendement moyen des denrées alimentaires		
	Equation	R ²	Seuil de signification
Superficie	-2,047 x 1017,335	0,000	0,65
Surface cultivée par personne	-69,616x 1045,460	0,006	0,11
Quantité de céréale	0,039 x 708,961	0,34	0,000
Quantité de céréales par personne	0,492 x 752,458	0,27	0,000

9.10. La stabilité du rendement et son impact sur le bien être des exploitations

9.10.1. Pour le Coton

Il est difficile de mesurer l'impact de la stabilité du rendement de coton sur la sécurité alimentaire. A l'issue du croisement entre indicateur de stabilité de rendement du coton avec les autres variables (Tableau 79). Nous constatons une absence totale de corrélation avec les variables superficie et superficie cultivée par personne. Les coefficients de déterminations sont très faibles (0,007 et 0,000) et ceux-ci conjugué aux tests de validité statistique non significatifs (0,69 et 0,98). La stabilité du rendement n'est pas expliquée par l'augmentation ou la diminution des superficies.

Mais on remarque une relation positive avec la quantité de céréale, la quantité de céréale par personne et le rendement des denrées alimentaires. Les R^2 de ces trois variables sont significatifs avec respectivement 0,32 ; 0,48 et 0,41 pour la quantité de céréale, quantité de céréale par personne et rendement moyen des denrées. Ces trois variables expliquent entre 32 à 48% la variabilité de la stabilité du rendement de coton. Cette situation peut s'expliquer par le fait que les conditions (pluviométriques, édaphiques...etc.) qui favorisent la stabilité du coton augmentent aussi le rendement des denrées alimentaires et la quantité de céréale.

Tableau 79 : Relation entre l'indicateur de stabilité du rendement du coton et la sécurité alimentaire

Variable	Indicateur stabilité rend coton		
	Equation	R^2	Seuil de signification
Superficie	-1,513 x 836,650	0,007	0,69
Surface cultivée par personne	-21,260 x 582,209	0,000	0,98
Quantité de céréale	0,005 x -114,535	0,32	0,003
Quantité de céréales par personne	2,054 x -454,633	0,48	0,000
Rendement moyen denrées	1,282 x -710,708	0,41	0,001

9.10.2. Pour le Maïs

Tout comme les autres tests de régression, les résultats de nos analyses de corrélation n'ont pas dégagés de corrélation entre la stabilité du rendement du Maïs et les superficies. Les seuils de validité statistique ne sont pas significatifs de 0,71 à 0,76. Et les coefficients de détermination sont très faibles 0,0004 à 0,006 (

Tableau 80).

Nous avons des coefficients de détermination de 0,59 à 0,39 et des seuils de signification très bons entre l'indicateur de stabilité de rendement du Maïs et les variables telles que : la quantité de céréale, quantité de céréale par personne et rendement moyen denrées alimentaires. Ceux qui signifient qu'il y'a une bonne relation entre ces variables. La stabilité du rendement du Maïs contribue au bien être des exploitations agricoles familiales par l'augmentation de la quantité de céréale.

Tableau 80 : Relation entre l'indicateur de stabilité du rendement du Maïs et les variables de sécurité alimentaire

Variable	Indicateur stabilité rend Maïs		
	Equation	R^2	Seuil de signification
Superficie	-1,038 x 311,138	0,004	0,76
Surface cultivée par personne	264,627 x -57,395	0,006	0,71
Quantité de céréale	0,005 x -545,335	0,39	0,001
Quantité de céréales par personne	2,047 x -891,898	0,59	0,000
Rendement moyen denrées	1,188 x -1058,150	0,45	0,000

9.11. Impact de la pression spécifique sur la sécurité alimentaire

Il n'existe pas de relation entre indicateur de pression spécifique du Maïs, la surface cultivée par personne et la superficie. Les coefficients de détermination pour ces deux variables sont très faibles 0,07 pour la superficie et 0,008 pour la surface cultivée par personne. On note que les seuils ne sont pas significatifs d'où des valeurs supérieurs à 0,05 (Tableau 81).

A part ces deux variables, il existe une relation significative entre l'indicateur de pression spécifique du Maïs et les autres variables. Notamment la quantité de céréale, la quantité de céréale par personne et le rendement moyen des denrées alimentaires. Son coefficient de détermination est forte avec Rendement soit 0,612. Ce qui signifie que les exploitations qui font du maïs ont un meilleur rendement des denrées alimentaires. Dans la même logique ces exploitations ont des quantités suffisantes de céréales et de céréale par personne. Les R^2 pour ces deux variables sont compris entre 0,241 et 0,493 et les seuils de signification ont des valeurs proches de 0.

Tableau 81 : Relation entre l'indicateur pression spécifique du Maïs et les variables de sécurité alimentaire

Variables	Indicateur pression spécifique du Maïs		
	Equation	R^2	Seuil de signification
Superficie	-0,001 x 0,378	0,070	0,220
Surface cultivée par personne	-0,069 x 0,257	0,008	0,667
Quantité de céréale	9,081 x 0,089	0,241	0,013
Quantité de céréales par personne	0,000 x - 0,001	0,493	0,000
Rendement moyen denrées	0,000 x 0-,107	0,612	0,000

9.12. Synthèse du chapitre IX

L'usage de la nature à travers l'agriculture conduit à la production de services d'approvisionnement notamment la nourriture mais aussi de services de régulation et de services culturels (MA 2005). De façon générale, l'agriculture est dépendante de services fournis par la biodiversité. Mettre en relation les services fournis par la nature, particulièrement la fourniture de l'alimentation et le niveau de diversité des exploitations agricoles pour analyser son apport aux à ces exploitations tel était l'objectif assigné à ce chapitre.

L'approche consistait dans un premier temps à analyser le service d'approvisionnement fournis par les écosystèmes naturels à travers le niveau de sécurité alimentaire. Elle a été analysée à deux échelles : village et exploitation. Pour la première échelle, nous avons constaté un niveau de sécurité très élevé où seulement un seul village est un peu en dessous du seuil de sous-alimentation. Les autres villages sont au-dessus du seuil de sous-alimentation et voir excédentaires. Quant aux exploitations, 163 d'entre elles sont en situation d'insécurité alimentaire. La quantité de céréale par personne et par an est en dessous de 250 kg.

En mettant en relation ces niveaux de sécurités alimentaires et les indicateurs de biodiversité, on se rend compte que : Il n'y a pas de relation entre la diversité spécifique et les variables de sécurité alimentaire. Le coefficient de détermination est très faible avec toutes les variables toutes les variables. Le même constat est fait pour la diversité des systèmes de cultures avec les mêmes variables que la précédente analyse.

Quant à la stabilité du rendement et son impact sur le bien être des exploitations, la stabilité du rendement de coton et du maïs ont une corrélation significative avec la quantité de céréale, la quantité de céréale par personne et le rendement moyen des denrées alimentaire. Le coefficient de détermination atteint souvent 0,612 et le seuil de signification statistique à 0,000. Ce qui signifie que la stabilité du rendement de ces deux spéculations à un impact sur la quantité de céréale et la quantité de céréale par personne.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Les préoccupations concernant la biodiversité, malgré son ancienneté, émergent véritablement sur le devant des scènes politiques nationales et internationales d'où des sommets et conférences (la convention sur la diversité biologique en 1992, le sommet de Johannesburg en 2002 et l'année internationale de la biodiversité en 2010). La biodiversité est essentielle pour le bien-être des êtres humains. La problématique de la diversité biologique qui, à elle seule, justifie amplement l'émergence en 1992 du concept de développement durable sous la pression des protectionnistes de la nature. Il y'avait donc une urgence de préserver la biodiversité pour les services écosystémiques qu'il rend à l'homme à travers l'agriculture. L'agriculture qui nourrit l'humanité depuis des millions d'années est le fruit de la biodiversité.

La nécessité de suivre les variations de l'état de la biodiversité agricole est devenue un impératif compte tenu des perturbations du climat et des pressions humaines de plus en plus fortes sur les ressources naturelles. Ces pressions risquent de provoquer la disparition de certaines espèces et des milliers de variétés si des actions de conservation et de gestion ne sont pas rationalisées. Donc la question de son évaluation de la biodiversité s'est posé. Pour préserver la biodiversité il faut disposer des outils nécessaires car il est impensable d'évaluer ou de caractériser exhaustivement la biodiversité. La biodiversité se situe à plusieurs échelles : espèces, la communauté et écosystème. Elle peut s'observer selon une certaine échelle : parcelle, exploitation agricole, village, régions agricoles ou paysage.

Pour évaluer la biodiversité, il existe de nombreuses méthodes : certaines procèdes par des mesures directes sur places tandis que d'autres par procèdes par des mesures indirectes. Dans le cadre de cette thèse nous avons fait le choix de caractériser la biodiversité agricoles par des indicateurs agri-environnementaux recueillis directement sur le terrain et des indicateurs paysagers. Nous avons mis en place des indicateurs agri-environnementaux adaptés au contexte africain. Et pour les indicateurs paysagers, ils sont mesurés indirectement car basés sur l'information spatiale dérivée des images satellitaires.

Dans les exploitations agricoles du Mali Sud, il existe une grande diversité au niveau spécifique et au niveau des systèmes de culture. La majorité des exploitations dans les villages cultive plus de la moitié des espèces culturales présentes dans leurs villages respectifs ce qui leur permettent de répartir les risques économiques et environnementaux entre ces différentes spéculations. De façon générale, les valeurs moyennes de l'indicateur de diversités spécifiques les plus élevées c'est-à-dire les valeurs supérieures à 0,50 sont enregistrées dans les villages où la moyenne pluviométrique est inférieure à 1000 mm d'eau (Bonégué, Bounghosso, Diora, Doukougnonan, Fissaba, Koloni, Koula, Nérékoro, Toula, Vokoro et Ziblena) soit 90% de la zone. Par contre, dans les zones où la pluviométrie dépasse cette valeur, ces villages ont une diversité spécifique faible. Ce qui s'explique par le fait que les risques environnementaux sont moindres, donc les exploitants concentrent leurs efforts sur

quelques espèces en générale deux ou trois en plus de la principale culture de rente qu'est le coton. L'analyse des systèmes de culture révèle un total de sept SC.

L'indicateur de pression spécifique indique une répartition géographique des pressions des différentes espèces culturales. En effet dans les villages où le coton est en tête de rotation, il exerce une forte pression sur les autres espèces. Dans ces villages, la surface en coton est beaucoup plus importante que pour les autres espèces. Le même constat est fait pour le maïs. La pression de ces deux espèces est forte dans les villages situés au Sud de la zone cotonnière et devient moindre en remontant vers le Nord. Par contre pour le Mil et le Sorgho, la pression est forte dans les villages du Nord et diminue vers le Sud. Seul l'arachide n'exerce pas de pression sur les autres espèces en général pour la simple raison que cette culture est secondaire dans tous les villages de l'échantillon. Elle est pratiquée pour la diversification et les résidus constituent de fourrage pour l'élevage.

Pour la plupart des spéculations, les rendements sont au-dessus de la moyenne nationale. Sur les trente villages de notre échantillon, au moins vingt-deux (22) ont des rendements moyens au-dessus de la moyenne nationale en 2015 pour ce qui est du coton. La productivité du maïs est beaucoup plus élevée que celle du coton, rares sont les villages où le rendement moyen est en dessous de 1 000 kg/ha. Ce rendement à dépasser 1 500 kg/ha dans vingt-trois villages et atteint plus de 3 000 kg/ha dans le village de Siramana.

L'analyse paysagère révèle une très grande diversité des types de paysages dans la zone cotonnière du Mali-Sud. Un total de onze (11) unités de paysages ont été identifiées par la télédétection à travers les images Landsat. Ces unités paysagères vont des formations forestières denses à claires (forêts galeries, prairies hygrophiles et forêts claires) en passant par des zones savaniques (savanes boisées, savanes arborées et savanes arbustives) en découlant sur les zones agricoles (cultures et jachères récentes ainsi que l'agriculture inondée). On note aussi la présence des zones rocheuses et d'habitation. Les indicateurs de diversités paysagers montrent aussi un niveau de diversité important dans toutes les régions agricoles. Les valeurs des indices d'agrégation sont faibles dans toutes les régions agricoles. Un faible niveau d'agrégation de la végétation met en évidence une organisation plutôt éparse de la végétation. Ce qui se traduit dans la pratique par un couvert assez ouvert dans l'ensemble.

Ces résultats justifient la première hypothèse sur la présence d'une grande diversité au sein de l'exploitation agricole familiale.

Nous avons remarqué qu'il y'a une diversité importante aussi bien à l'échelle de l'exploitation qu'à celle du paysage en passant par le niveau village. Nous pensons qu'il existe une relation entre les différents niveaux de diversité. La diversité au niveau village est la somme des diversités des exploitations agricoles qui le composent. Et le même lien existe entre diversité le village et les régions agricoles d'une part et entre les régions agricoles et la zone cotonnière. Mais il fallait surtout vérifier cette relation à travers des analyses statistiques. C'est dans ces ordres d'idées que nous avons procéder à une analyse en composante principale dans le but d'avoir des variables les plus à mène d'expliquer la variabilité des

exploitations agricoles. C'est ainsi que nous avons puis déceler 10 variables discriminantes dont nous nous sommes servis plutard pour faire une typologie des exploitations.

La classification ascendante hiérarchique a permis de faire une typologie des exploitations. Elles ont été regroupées au regard des variables discriminantes en quatre grands types de classes. Le critère de classification était la proximité à travers la distance euclidienne. Certains villages sont proches mais ils sont dans des classes différentes.

Nous avons aussi vérifié au niveau spatial si les villages se ressemblent du point de vue de la diversité. Cette analyse a été faite au niveau global à l'aide de l'indice d'autocorrélation de Moran et au niveau local par les indicateurs locaux d'association spatiale (LISA). Les résultats de ces analyses montrent que spatialement les villages les plus proches ont tendances à avoir une diversité similaires d'où l'autocorrélation positive avec tous les indicateurs au niveau global. Le LISA montre des associations fortes entre certains villages. Ces villages ont une diversité importante dans un voisinage diversifié. Ces résultats montrent dans l'ensemble une relation entre les villages

Enfin nous avons mis en relation les services fournis par la nature, particulièrement la fourniture de l'alimentation et le niveau de diversité des exploitations agricoles pour analyser son apport aux à ces exploitations. Globalement la régression montre une absence de relation entre le bien être des exploitations et leurs diversités. Autrement dit la diversité n'est pas synonyme de bien-être.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

1. AEE, 1998. « Guidelines for Data Collection and Processing. » EU State of the Environment Report, Annex 3.
2. ALEXANDRE F, GENIN A., (2012) « Géographie de la végétation terrestre : modèles hérités, perspectives, concepts et méthodes » Livre édité par Collection U Armand COLIN 295 p
3. ANSELIN, L., 1995 « Local indicators of spatial association – LISA », Geographical Analysis, Vol. 27, n°2, pp. 93-115.
4. ANSELIN L., 1999 « Spatial econometrics ». 32 p. (http://www.csiss.org/learning_r.pdf).
5. BA A., 2011 « Exploitation du cheptel bovin dans la zone cotonnière au Mali-Sud » Thèse de Doctorat de Montpellier SupAgro, Pages 170
6. BA T, Seck D., 2012 « *Dynamique de L'Occupation des sols, cartographie des CLPA, des zones de pêche et mise en place d'un système d'information géographique.* » Centre de Suivi Ecologique et USAID/COMFISH Project, Sénégal, University of Rhodes Island, Narragansett RI, 66 pp.
7. BACO M. N., 2007 « Gestion locale de la diversité cultivée au nord bénin: éléments pour une politique publique de conservation de l'agrobiodiversité de l'igname (dioscoréale Sepp) » thèse de l'université d'Orléans, 406 p.
8. BACO M N ET AL. 2007 « Les savoirs paysans traditionnels conservent-ils encore l'agrobiodiversité au Bénin ? » Article scientifique, 10 p
9. BAKAYOKO K., 2013 « l'importance et l'avenir du coton en Afrique de l'ouest: cas du Mali » Thèse de doctorat en sciences économique de l'Université de Grenoble.
10. BAIZE D., RODDIER, S. 1998 « Les typologies pédologiques fines comme outils d'extrapolation spatiale. Application à une cartographie pédo-géochimique en Avallonnais (France) ». In: Congrès mondial de science du sol. CD-ROM (p. 9 p.). Presented at 16. Congrès mondial de science du sol, Montpellier, FRA (1998-08-20 - 1998-08-26). Wageningen, NLD : AISS. <http://prodinra.inra.fr/record/138499>

11. BAZILE, D., SOUMARE M et DEMBELE J, (2003) « La biodiversité agricole en Afrique de l'Ouest : conserver l'agro-biodiversité pour la stabilité de la production agricole » Archives de documents de la FAO, Département de l'agriculture.
12. BALLO A, TRAORE S S, COULIBALY B, DIAKITE C H, DEMBELE S, DIAWARA M ET TRAORE A., 2016 « *Pressions Anthropiques Et Dynamique D'occupation Des Terres Dans Le Terroir De Ziguéna, Zone Cotonnière Du Mali* » European Scientific Journal February 2016 edition vol.12, No.5 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431
13. BARBAULT R. ET CHEVASSUS-AU-LOUIS B., 2004. Biodiversity and Global Change, Ministère des Affaires Etrangères, adpf, 237pages
14. BASSETT, T. J. 2002 « Le coton des paysans, Une révolution agricole Côte d'Ivoire 1980- 1999 » IRD, Paris, 292 pp.
15. BAZILE D et al., 2006 « Les paysans au cœur de la construction de règles collectives de gestion de l'agrobiodiversité. » Article scientifique 24 p
16. BAZILE D, DEMBELE S, SOUMARE M, DEMBELE D., 2008 « Utilisation de la diversité variétale du sorgho pour valoriser la diversité des sols au Mali. » Cahiers Agricultures vol. 17, n° 2, mars-avril 2008
17. BECKER-RESHEF, I. et al., 2010 Monitoring global croplands with coarse resolution Earth observations: The GLObal Agriculture Monitoring (GLAM) project. Remote Sensing, 2(6):1589-1609.
18. BERLINET A, DEVROYE L., 1989 « Statistique et analyse des données : Estimation d'une densité : un point sur la méthode du noyau » tome 14, no 1 (1989), p. 1-32
19. BERTHE et al., 1991 « Etat des ressources naturelles et potentialités de développement, Profil d'environnement Mali-Sud » KIT, Amsterdam (NL), 79p.
20. BIED-CHARRETON M.- 1969., « Géographie, terroirs et développement". In : "Les petits espaces ruraux, problèmes de méthode », ORSTOM, 178P., série Initiation Documentations techniques no 19, pp. 125-134.
21. BONNAL P, BONIN M ET AZNAR O., 2012 « Les évolutions inversées de la multifonctionnalité de l'agriculture et des services environnementaux », *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], Volume 12 numéro 3 | décembre 2012, mis en ligne le 15 décembre 2012, consulté le 24 novembre 2015. URL : <http://vertigo.revues.org/12882> ; DOI : 10.4000/vertigo.12882

22. BORD J P., 1997 « Le géographe et la carte. Point de vue et questionnement de la part d'un géographe cartographe », *Cybergeog : European Journal of Geography*[En ligne], Cartographie, Imagerie, SIG, document 17, mis en ligne le 20 mars 1997, consulté le 05 novembre 2016. URL : <http://cybergeog.revues.org/6470> ; DOI : 10.4000/cybergeog.6470

23. BOSMA R. H., MEURS C. B. H., BENGALY K., BERCKMOES W. M. L., 1992. « La productivité des ruminants dans les exploitations agricoles de la zone de Tominian ». DRSPR, IER, Sikasso, Mali, 99 p.

24. BOTEQUILHA L A. ET AHERN J., 2002. « *Applying landscape ecological concepts and metrics insustainable landscape planning, Landscape and Urban Planning* », 59:65-93.

25. BOUFFIER J, 2015 « Introduction à l'imagerie spatiale et à ses usages » Journée COTITA 2 juillet 2015

26. BOULET G., 1999 « Modélisation des changements d'échelle et prise en compte des hétérogénéités de surface et de leurs variabilité spatiale dans les interactions sol-végétation-atmosphère » thèse de doctorat de l'université de Grenoble I, 264 P

27. BOUMA, J., 2002 « Land quality indicators of sustainable land management across scales ». Elsevier, Agriculture, Ecosystems and Environment 88 (88), 129-136.

28. BOURG D., 2013 « Développement durable », in CASILLO I. avec BARBIER R., BLONDIAUX L., CHATEAURAYNAUD F., FOURNIAU J-M., LEFEBVRE R., NEVEU C. et SALLES D. (dir.), Dictionnaire critique et interdisciplinaire de la participation, Paris, GIS Démocratie et Participation, 2013, ISSN : 2268-5863. URL : <http://www.dicopart.fr/fr/dico/developpement-durable-0>.

29. BOULANGER, P.-M., 2004. Les indicateurs de développement durable : un défi scientifique, un enjeu démocratique. Les séminaires de l'IDDRI, n°12, 24p.

30. BOUTRY M., 2000. Construction d'indicateurs, Université Nancy 2, France, 33 pages.

31. BREUER C., 2009 « La géographie, ça sert, d'abord, à faire le Monde » Bulletin de la Société géographique de Liège, 52, 2009, P 49-52

32. BRIQUEL V et al., 2001 « La méthode IDEA (indicateurs de durabilité des exploitations agricoles) : une démarche pédagogique » Ingénieries N° 25 – p. 29 à 39 Mars 2001

33. BRUNET R.- 1979 – « Systèmes et approche systémique en géographie », Bulletin de l'association française des géographes (465), pp. 399-407.
34. BRUNET, ROGER, FERRAS, ROBERT, THERY, HERVE, 1992., « Les mots de la géographie ». Dictionnaire critique, Montpellier, Reclus – Documentation française, 518 p. Collection Dynamiques de territoire 3e édition
35. CADENE P., 2004 « Le Commentaire de cartes et de documents géographique » Edition BELIN ATOUTS, 323 p
36. CARL,G. & KUHN,I., 2008 « *Analyzing spatial ecological data using linear regression and wavelet analysis* ». Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 315-324.
37. CARLOZ R, COLLET C., 2011 « Analyse spatiale de l'information géographique » Presses polytechniques et universitaires romandes, pages 379
38. CARON A., 2010 « Evaluer la biodiversité : approche par les services écosystémiques » 14^{ème} édition de l'école d'été du SIFFE AgroParisTech-ENGREF : évaluation environnementale. Paris septembre 2010
39. CARTIER S., 2005« Terroirs en nuances », Strates [En ligne], 11 | 2004, mis en ligne le 14 janvier 2005, Consulté le 29 septembre 2016. URL : <http://strates.revues.org/396>
40. CASADO A., 2007 « *Etude de la structure et de la dynamique des paysages de montagne : Exemple du bassin versant de La Voireuze, affluent de l'Alagnon entre 1948 et 2000.* » Mémoire de Master 2 Géoenvironnement Université Blaise Pascal, pp51..
41. CASTELLA J-C., 2005 « Une méthode d'analyse multi-échelle des transitions agraires. Application aux zones de montagne dans le Nord du Viêt-nam », L'Espace géographique 2005/4 (Tome 34), p. 351-366. <http://www.cairn.info/revue-espace-geographique-2005-4-page-351.htm>
42. CEPIA., 2007 « Dimensions structurelles de la libéralisation pour l'agriculture et le développement rural » Programme RuralStruc Mali - Phase I Juillet 2007
43. CEPIA 2008 « Changements structurels des économies rurales dans la mondialisation » Programme RuralStruc Mali - Phase II DECEMBRE 2008
44. CERIGHELLI R., 1955 « Cultures tropicale. Tome 1 : Plantes vivrières », Librairie J.B. BAILLIERE et Fils, Paris, 635 p

45. CHANTAL BLANC-PAMARD, 2002 « Jeux d'échelles, territoires de recherche Exemples africains et malgaches », *Cybergeo : European Journal of Geography* [En ligne], Dossiers, Journée à l'EHESS (Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales). Echelles et territoires, Paris, France, 29 avril 2002, document 301, mis en ligne le 02 février 2005, consulté le 07 octobre 2014. URL : <http://cybergeo.revues.org/3184> ; DOI : 10.4000/cybergeo.3184
46. CHEVASSUS-AU-LOUIS et al., 2009 « Approche économique de la biodiversité et des services liés aux écosystèmes : Contribution à la décision publique » rapports et documents, Centre d'Analyse Stratégique, avril.
47. CIRAD., 1995 « Production et valorisation du maïs à l'échelon villageois en Afrique de l'Ouest » Actes du séminaire «Maïs prospère» 25-28 janvier 1994, Cotonou, Bénin
48. CIRAD., 2014 « L'Agriculture de Conservation pour l'intensification écologique Principes et contraintes à l'adoption dans les pays du Sud » glossaire agriculture de conservation. Page 10
49. CLIFF, A.D., ORD, K.J., (1969), « The Problem of Spatial Autocorrelation », in Scott, A.J., (ed.), *Papers in Regional Science, Volume 1, Studies in Regional Science*, Pion, Londres, pp. 25-55.
50. CMDT., 1995 « Maintien du potentiel productif et développement rural en zone CMDT ». Service Gestion Terroir, Division Défense et Restauration des Sols, Koutiala, Mali.
51. CUNTY C., 2004 « Système d'information Géographique et sécurité : une application pour la RATP » Thèse de Doctorat à l'Université de Paris I Panthéon-Sorbonne, 441 p. <http://tel.archives-ouvertes.fr/docs/00/04/78/09/PDF/tel-00008685.pdf>
52. CMDT, 2008 « Etude sur l'impact de la recherche sur les rendements de la culture du coton dans les zones Mali-Sud et la zone de Kita », Sidibé 2008.
53. CMDT, 2016 « Présentation du Groupe CMDT » Site de la CMDT https://www.cmdtmali.net/index.php?option=com_content&view=article&id=72&Itemid=68
54. CUNY P., SORG J.P., 2003. « Forêt et coton au sud du Mali: cas de la commune rurale de Sorobasso ». *Bois et Forêts des Tropiques*, N° 276 (2) 17-30.
55. COLON M, MATTERS DORF G, PAVAGEAU C., 2009 « La place de l'évaluation économique de la biodiversité et des services écosystémiques dans les processus de décision » Rapport de Travail version du 26 Février 2009

56. CONCHITA M. G. KEDOWIDE., 2010 « Modélisation géomatique par évaluation multicritère pour la prospection des sites d'agriculture urbaine à Ouagadougou », *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement* Volume 10 numéro 2 , mis en ligne le 30 septembre 2010, consulté le 03 septembre 2013. URL : <http://vertigo.revues.org/10368> ; DOI : 10.4000/vertigo.10368.
57. COULIBALY B, BALLO A, TRAORE S S, DIAKITE C H, DEMBELE S, DIAWARA M ET TRAORE A., 2016 « *Dynamiques sociales et gestion foncière en zone cotonnière du Mali* » *European Scientific Journal* April 2016 edition vol.12, No.11 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431
58. COUVET D, F. JIGUET, R. JULLIARD, H. LEVREL ET A. TEYSSÉDRE, 2007., « Indicateurs et observatoires de biodiversité » MNHN, UMR 5173, 55 rue Buffon, 75005 Paris, France
59. CRDI, 2005. « Conservation et utilisation durable de la biodiversité agricole » guide de référence, 286 p
60. COSTANZA, R., D'ARGE, R., DE GROOT, R., FARBER, S., GRASSO, M., HANNON, B., LIMBURG, K., NAEEM, S., O'NEILL, R.V., PARUELO, J., RASKIN, P., VAN DEN BELT, M., 1997. « The Value of the world's ecosystem services ». *Nature* 387, 253-260. COUVET D., TEYSSÉDRE A., 2010. *Ecologie et biodiversité*, Edition Belin, France, 336 pages.
61. COUVET D., « Agence française pour la biodiversité », *Encyclopædia Universalis* [en ligne], consulté le . URL : <http://www.universalis.fr/encyclopedie/agence-francaise-pour-la-biodiversite/>
62. DAILY, G. C. 1997. « Nature's Services. Societal dependence on natural ecosystems », Island Press, Washington, DC.
63. DALE, M.R.T., DIXON, P., FORTIN, M.J., LEGENDRE, P., MYERS, D.E. & ROSENBERG, M.S., 2002 « *Conceptual and mathematical relationships among methods for spatial analysis* ». *Ecography*, 558-577.
64. DAUPHINE, A. 1984, "Espace terrestre et espace géographique" in A. Bailly et al. (dir.), *Les concepts de la géographie humaine*, Paris, Masson.
65. DE BLOMAC F., 2008 « Comment je suis devenu Géomaticien : un métier entre géographie et l'informatique » Editions le Cavalier Bleu, 220p
66. DE NONI et al., 2001 « Terres d'altitude, terres de risques : la lutte contre l'érosion dans les Andes équatoriennes » Editions de IRD, collection latitudes 23, Paris 2001

67. DEL VILLAR et al 2006 « Facteurs de performance et de compétitivité des exploitations cotonnières au Brésil, aux États-Unis et au Mali » Cahiers Agricultures vol. 15, n° 1, janvier-février 2006
68. DELEGLISE C., 2011 « Hétérogénéité spatiale des composantes spécifiques et fonctionnelles des communautés prairiales subalpines dans un contexte de déprise pastorale » Thèse de Doctorat de l'université de Grenoble, P 291.
69. DEMANGEON A., 1907 « Dictionnaire de la géographie », Paris, Armand Colin. DOI : [10.2307/198598](https://doi.org/10.2307/198598)
70. DEMBELE S , SOUMARE M ET GAILLARD D 2016., « *Spatial Structure Of Agricultural Biodiversity In Southern Mali* » European Scientific Journal February 2016 edition vol.12, No.6 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431 URL:<http://dx.doi.org/10.19044/esj.2016.v12n6p383>
71. DEMBELE S., 2009 « *Evaluation de l'état des ressources terrestres au niveau local: Application au cercle de Tominian.* » Mémoire de maîtrise en géographie université de Bamak, Faculté des Lettres, Langues et Sciences Humaines, pages 63
72. DEMBELE S., 2012 « *Structuration spatiale de la biodiversité agricole dans la zone cotonnière du Mali* » Mémoire de Master 2 à l'Université de Caen Basse Normandie, P 100
73. DIATTA I., 2007 « Impact des fluctuations pluviométriques sur la production agricole dans la région de Thionck- Essyl en Basse Casamance » Université Cheikh Anta Diop de Dakar -Certificat d'aptitude à l'enseignement moyen (CAEM) 2007 http://www.memoireonline.com/07/08/1185/m_impact-fluctuations-pluviometriques-production-agricole-thionck-essyl2.html
74. DIALLO, A. S. 2011. « An Analysis of the Recent Evolution of Mali's Maize Subsector. College of Agriculture and Natural Resources-Department of Agricultural, Food, and Resource Economics, Michigan State University ». Master of Science in Agricultural Economics.
75. DIARRA J., (2004) « Etude de la stabilité des rendements du maïs et du sorgho en champs paysans dans le village de Kaniko (Koutiala) ».Mémoire de fin d'étude l'IPR/IFRA de Katibougou, Page 16
76. DJONDANG K, GAFSI M 2002 « Caractérisation des exploitations agricoles en zone soudanienne du Tchad Contribution pour la recherche-action-développement » Acte du colloque, 27-31 mai 2002, Garoua, Cameroun. P 9

77. DJOUARA H., BELIERES J.F. AND KEBE D., 2006 « Les exploitations agricoles familiales de la zone cotonnière du Mali face à la baisse des prix du coton graine ». Cahiers Agricultures, 15, 64-71.
78. DORMANN,C.F., 2007 « *Effects of incorporating spatial autocorrelation into the analysis of species distribution data* ». Global Ecology and Biogeography, 129-138.
79. DNSI., 1979. « Recensement Général de la Population – 1976 ». Résultats définitifs – Volume III Répertoire des villages. Ministère du Plan, Bamako, Mali, 166p.
80. DNSI., 1985 « Rapport de l'enquête agricole 1982 – 1983 ». Ministère du Plan, Bamako, Mali, 115 p.
81. DNSI., 1987 « Annuaire Statistique du Mali – 1984 » Ministère du Plan, Bamako, Mali, 170 p.
82. DNSI., 1988. « Annuaire Statistique du Mali – 1985 ». Ministère du Plan, Bamako, Mali, 246 p.
83. DNSI., 1989. « Annuaire Statistique du Mali – 1986 ». Ministère du Plan, Bamako, Mali, 247 p.
84. DNSI., 1991. « Annuaire Statistique du Mali – 1990 ». Ministère du Plan, Bamako, Mali, 198 p.
85. DNSI., 1992. « Recensement Général de la Population – 1987 ». Résultats définitifs – Ensemble du Pays - Tome 2 : Répertoire des villages. Ministère du Plan, Bamako, Mali, 384p.
86. DNSI., 1994. « Annuaire Statistique du Mali – 1992 ». Primature, Commissariat au Plan, Bamako, Mali, 187 p.
87. DNSI., 1995. « Annuaire Statistique du Mali – 1993 ». Primature, Commissariat au Plan, Bamako, Mali, 178p.
88. DNSI., 1997. « Annuaire Statistique du Mali – 1995 ». Primature, Commissariat au Plan, Bamako, Mali, 197 p.
89. DNSI., 1999. « Annuaire Statistique du Mali – 1996 ». Ministère de l'Economie, du Plan et de l'Intégration, Bamako, Mali, 147p.
90. DNSI., 2001a. « Annuaire Statistique du Mali – 1997 ». Ministère de l'Economie et des Finances, Bamako, Mali, 163 p.

91. DNSI., 2001b. « Annuaire Statistique du Mali – 1998 ». Ministère de l'Economie et des Finances, Bamako, Mali, 162 p.
92. DNSI., 2001c. « Annuaire Statistique du Mali – 1999 ». Ministère de l'Economie et des Finances, Bamako, Mali, 184 p.
93. DNSI., 2001d. « Annuaire Statistique du Mali – 2000 ». Ministère de l'Economie et des Finances, Bamako, Mali, 121 p.
94. DNSI., 2001e. « Recensement Général de la Population – 1998 ». Résultats définitifs – Tome 4. Répertoire des villages. Ministère de l'Economie et des Finances, Bamako, Mali, 164p.
95. DNSI., 2002. « Annuaire Statistique du Mali – 2001 ». Ministère de l'Economie et des Finances, Bamako, Mali, 214 p.
96. DNSI., 2003. « Annuaire Statistique du Mali – 2002 ». Ministère Délégué chargé du Plan, Bamako, Mali, 110 p.
97. DNSI., 2004. « Annuaire Statistique du Mali – 2003 ». Ministère du Plan et de l'Aménagement du Territoire, Bamako, Mali, 139 p.
98. DNSI., 2005. « Annuaire Statistique du Mali – 2004 ». Ministère du Plan et de l'Aménagement du Territoire, Bamako, Mali, 118 p.
99. DNSI., 2006. « Annuaire Statistique du Mali – 2005 ». Ministère du Plan et de l'Aménagement du Territoire, Bamako, Mali, 148 p.
100. DNSI., 2007. « Annuaire Statistique du Mali – 2006 ». Ministère de l'Economie, de l'Industrie et du Commerce, Bamako, Mali, 104 p.
101. DNSI., 2008. « Annuaire Statistique du Mali – 2007 ». Ministère de l'Economie, de l'Industrie et du Commerce, Bamako, Mali, 99 p.
102. DNSI., 2010. « Annuaire Statistique du Mali – 2008 ». Ministère de l'Economie et des Finances, Bamako, Mali, 134 p.
103. DUFUMIER M.- 1985 – « Recherche-Développement », Compte-rendu des journées d'étude, 12-13 septembre 1984, Paris, IRAM.
104. DUFUMIER, M., 1994 « Conditions à promouvoir pour la viabilité des systèmes de production agricole en Afrique soudano sahélienne. In: Promotion de Systèmes agricoles durables dans les pays d'Afrique soudano sahélienne » (Ed. by M. Benoit-Cattin and J. Carlos deGrandi), pp. 249-267.

105. DUFUMIER, M., 1996 « Les projets de développement agricole, manuel d'expertise_ CTAKarthala », Paris. pp 254
106. DUFUMIER M., 2005 « Etude des systèmes agraires et typologie des systèmes de production agricole dans la région cotonnière du Mali » Document de projet PASE pages 83
107. DUPUY G., 2004 « Internet : une approche géographique à l'échelle mondiale », Flux, 2004/4 n° 58, p. 5-19.
108. DURAND MATHIEU, JEAN-BAPTISTE BAHERS ET HELENE BERAUD, « La mise en territoire de l'économie circulaire : comment mettre en œuvre la proximité dans la circulation des déchets? », Géocarrefour[En ligne], 91/3 | 2017, mis en ligne le 30 mai 2017, consulté le 29 mai 2018. URL : <http://journals.openedition.org/geocarrefour/10217> ; DOI : 10.4000/geocarrefour.10217
109. ENGREF., 2010 « *La place de l'évaluation économique de la biodiversité et des services écosystémiques dans les processus de décision* » Rapport du Travail du Groupe d'Elèves ENV2
110. EMPERAIRE L et al., 2010 « Innover, Transmettre : la diversité agricole en Amazonie Brésilienne » Publié dans ISDA 2010 Montpellier France.
111. FAHRNER J., 2008. Méthodologie d'élaboration référentielle de gestion de la biodiversité dans la construction et l'aménagement en milieu urbain, mémoire de master2 de l'université Montpellier II, 68 pages.
112. FALL A., 2011 « Etude sur la chaîne de valeur mil/sorgho au mali initiatives intégrées pour la croissance économique au Mali » l'Agence Américaine pour le Développement International. (iicem) contrat: edh-i-00-05-000
113. FANO ANDRIAMA HEFAZAFY, BIDAUD C, MERAL P, GEORGES SERPANTIE ET AURELIE TOILLIER, 2012 « L'introduction de la notion de service environnemental et écosystémique à Madagascar », Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement [En ligne], Volume 12 numéro 3 | décembre 2012, mis en ligne le 15 décembre 2012, consulté le 26 septembre 2014. URL : <http://vertigo.revues.org/12875> ; DOI : 10.4000/vertigo.12875
114. FAO., 2007 « L'économie mondiale du sorgho et du mil: faits, tendances et perspectives » Archives de document de la FAO Produit par: Département économique et social. <http://www.fao.org/docrep/w1808f/w1808f03.htm>

115. FAO., 2007 « Caractérisation des systèmes de production agricole au Sénégal » document de synthèse Avril 2007.
116. FAO., 2013 « Analyse des incitations et pénalisations pour l'arachide au Mali » suivi des politiques agricoles et alimentaires en Afrique. Pages 31
117. FAYÇAL Z., 2012 « études de la relation entre deux variables » Cours (9) de statistiques à distance, ISSEP Ksar-Said, 2011-2012, page 2
118. FORRIEZ M., 2010 « Caractérisation formelle des structures multi-échelles géographiques en relativité d'échelle Exemples en géographie physique, géographie urbaine, géohistoire et géographie du peuplement » Thèse de doctorat à l'Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse
119. FOTHERINGHAM, A. STEWART, WONG, DAVID W.S., 1991, « The modifiable areal unit problem in multivariate statistical analysis », *Environment and planning A*, Pion Ltd, vol. 23(7), p. 1025-1044
120. FELD, C. K ET AL 2009 « Indicators of biodiversity and ecosystem services: a synthesis across ecosystems and spatial scales » *Oikos* 118: 1862_1871, 2009
121. FUSILLER J L., (1994) « Afrique de l'Ouest et du centre : maïs ou sorgho ? » *Agriculture et développement* n° 2 - Mai 1994
122. GAILLARD D., 2004 « Gestion concertée du ruissellement érosif dans les espaces agricoles des plateaux de grande culture : analyse spatiale, approche socio-économique et mise en place d'une dynamique collective d'aménagement exemple de la seine Maritime » Thèse de Doctorat Université de Rouen.
123. GARREC J.P. et VAN HALUWYN, C. (2002), *Bio-surveillance végétale de la qualité de l'air*, Tec & Doc, 116 p.
124. GASPARIN A., 1848 « cours Complet d'Agriculture " 5 tomes - PARIS; 1850 - "Des Systèmes de culture ». *Journ. Pratique d'Agriculture*. PARIS.
125. GEARY, R.C., (1954), « The contiguity ratio and statistical mapping ». *The incorporated Statistician*, vol.5, n°3, pp.115–145
126. GEORGE P., 1974 « Dictionnaire de géographie », P.U.F., 451 p
127. GEORGES SERPANTIE, PHILIPPE MERAL ET CECILE BIDAUD, « Des bienfaits de la nature aux services écosystémiques », *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement [En ligne]*, Volume 12 numéro 3 | décembre 2012, mis

en ligne le 15 décembre 2012, consulté le 26 septembre 2014. URL : <http://vertigo.revues.org/12924> ; DOI : 10.4000/vertigo.12924

128. GERGEL S.E. & TURNER M.G. 2002. « Learning landscape ecology ». A practical guide to concepts and techniques. Springer, NY.
129. GERMAINE A M., 2007 « Évaluer la diversité des paysages de vallées. Réalisation d'une typologie en Basse-Normandie » *Norois*, 207 | 2008, 7-19.
130. GIGOU, J., 1995 « La dynamique de la matière organique et de l'azote dans les sols tropicaux des zones humides et très humides. In: Actes du séminaire "Fertilité du milieu et stratégies paysannes sous les tropiques humides" », pp. 194-206. Ministère de la coopération et CIRAD, Montpellier, France.
131. GIRARDIN P., GUICHARD L., BOCKSTALLER C., 2005. Indicateurs et tableaux de bord: guide pratique pour l'évaluation environnementale. Paris : Tec & Doc : Lavoisier, 32pages.
132. GIRARDIN P., CHRISTIAN B., 1997. Les indicateurs agro-écologiques, outils pour évaluer des systèmes de culture, Dossier : développement durable et recherches agronomiques, Volume 4, Numéro 6, Novembre - Décembre, 418-26 pages.
133. GRANDGIRARD, V., 1997 « Géomorphologie et gestion du patrimoine naturel. La mémoire de la Terre est notre mémoire ». *Geographica Helvetica* 1997 - Nr. 2
134. GRANDGIRARD, V. (1994) « Aperçu géomorphologique du canton de Fribourg. Fribourg », GReG, Institut de Géographie de l'Université de Fribourg.
135. GRASLAND C. (1991). « Espaces politiques et dynamiques démographiques en Europe ». thèse d'université Université de Paris I.
136. GRASLAND C., 1991, « Espaces politiques et dynamiques démographiques en Europe », Paris Université de Paris I, Thèse d'université, 460 p.
137. GRATALOUP, C, 2004, « Lieux d'histoire. Essai de géohistoire systématique », Paris, Reclus, 200 p. Espace modes d'emploi
138. GROS P., 2000 « Utilisation du modèle linéaire. Rappels de base – Méthodes de validation » Collection « documents océanographiques » de l'Institut Océanographique de Paris [Océanis 23(3) : 359 - 515, 1997]

139. GODRON M et JOLY H., 2008 « Dictionnaire du paysage » Éditions CILF
Conseil international de la langue française ISBN : 978-2-85-319- 302-3
140. GOMEZ L, al 2008 « Spatial aggregation: Data model and implementation »
Information Systems 34 (2009) 551–576
141. GONDARD, P., 1991 « Du paysage à la planification. Inventaire de
l'utilisation actuelle du sol et des formations végétales dans les Andes équatoriennes.
In: Dynamique des systèmes agraires, A travers champs géographes et
agronomes »(Ed. by C. Blanc-Pamard and A. Lericollais), pp. 269-288. IRD, Paris.
Collection Colloques et Séminaires 2ème édition.
142. GUERRA L., 2007 « Contribution à la connaissance des systèmes d'élevage
bovin » Université Farhat Abbas Setif - Ingénieur d'état en agronomie option
production animale 2007
143. HAINING R.P. (1990). Spatial Data Analysis in the Social and Environmental
Sciences. Cambridge : Cambridge University Press, 409 p.
144. HAGGETT, PETER, 1973, « L'analyse spatiale en géographie humaine »
Paris, Armand Colin, 390 p.
145. HAINING R.P. (2003). Spatial Data Analysis: Theory and Practice. Cambridge
: Cambridge University Press, 452 p.
146. HAKIZIMANA P, BANGIRINAMA F, HAVYARIMANA F,
HABONIMANA B et BOGAERT J (2011) « *Analyse de l'effet de la structure
spatiale des arbres sur la régénération naturelle de la forêt claire de Rumonge au
Burundi* » Bulletin scientifique de l'Institut national pour l'environnement et la
conservation de la nature 9:46-52
147. HAVARD M, ABAKAR O., 2001 « Bilan de la campagne agricole 2000-2001
dans les exploitations des terroirs de référence du PRASAC au Cameroun » Pôle
régional de recherche appliquée au développement des savanes d 'Afrique centrale.
Pages 34
148. HENIN S., GRAS R., MONNIER G., 1969 « Le profil cultural », Masson,
332 p.
149. HESS G.R., BARTEL R.A., LEIDNER A.K., ROSENFELD K.M., RUBINO
M.J., SNIDER S.B. & RICKETTS T.H. (2006). Effectiveness of Biodiversity
Indicators Varies with Extent, Grain, and Region. Biological Conservation, 132, 448-
457

150. HOUNTONDI Y C H., 2008 « Dynamique environnementale en zones sahélienne et soudanienne de l’Afrique de l’Ouest : Analyse des modifications et évaluation de la dégradation du couvert végétal. » Thèse de Doctorat à l’université de Liège 2008.
151. HUBERT B., LEPRUN J.-C., POULET A., 2009 « *Importance écologique des facteurs édaphiques dans la répartition spatiale de quelques Rongeurs au Sénégal* » *Mammalia*. Volume 41, Issue 1, Pages 35–60, ISSN (Online) 1864-1547, ISSN (Print) 0025-1461, DOI: <https://doi.org/10.1515/mamm.1977.41.1.35>,
152. IADES., 2013 « L’Exploitations Agricoles Familiales au Burkina Faso » Rapport provisoire juillet 2013
153. INSTAT, 2013 « le Mali en chiffres » décembre 2013
154. INSTAT, 2009. « 4ème Recensement Général de la Population et de l’Habitat (R.G.P.H) ». Résultats provisoires. Ministère de l’Economie et des Finances, Bureau Central du Recensement (BCR), Bamako, Mali, 2p. <http://instat.gov.ml/documentation/mali.pdf>
155. JOOST, S. 2008 « la dimension spatiale en écologie moléculaire Science de l’information géographique et conservation des ressources génétiques végétales et animales, 51–57.
156. JOUVE P., 1997 « Approche systémique des modes d’exploitation agricole du milieu rural. » Dossier D’Habilitation à Diriger des Recherches, Paris X.
157. JOUVE P., 2006 « La dimension spatiale des systèmes de culture : comparaison entre agriculture tempérée et agriculture tropicale » Article scientifique Cahiers Agricultures vol. 15, n° 3, mai-juin 2006. Page 255-260
158. JULIER B., 2010 « Diversité intra-spécifique et performance des cultures fourragères pérennes » *Le Sélectionneur Français* 2010 (61), 85 – 96
159. KEITA A., 2015. « Analyse des déterminants des stratégies d’adaptation des exploitations agricoles en zone cotonnière au Mali. Cas d’étude : Benguéne ». Master 2 Gestion Agricole et Territoires. CIHEAM (Centre International de Hautes études Agronomiques Méditerranéennes), Université Paul-Valéry Montpellier, France. P. 105
160. KOFFI K J et al., 2008 « Analyse de la distribution spatiale des Acanthacée en Afrique Centrale et comparaison avec les théories phytogéographiques de Robyns, White et Ndjele »

161. KOURESSY, M. *et al.*, 2003. « La dynamique des agroécosystèmes: un facteur explicatif de l'érosion variétale du sorgho ». In: R. PELTIER (Editor), Organisation spatiale et gestion des ressources et des territoires ruraux. 25-27 février 2003. CNEARC/CIRAD/ENGREF, UMR SAGERT, Montpellier (France). article Sciences & Nature Vol. 5 N° 2 : 101 - 110 (2008)
162. LACOSTE, YVES, 1976., « La géographie ça sert d'abord à faire la guerre », Paris, La Découverte, 214 p. réédition en 1985
163. LAMPIN-MAILLET C., 2009 « Caractérisation de la relation entre organisation spatiale d'un territoire et risque d'incendie : le cas des interfaces habitat-forêt du sud de la France » Thèse de Doctorat, Université Aix-Marseille
164. LAMPIN-MAILLET, C., BOUILLON, C., LONG-FOURNEL, M., MORGE, D., JAPPIOT, M. 2010. « Guide de cartographie et caractérisation des interfaces habitat-forêt ». Convention n°2008 11 9 071 U du ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer. 68 p
165. LANDAIS E., LHOSTE P., MILLEVILLE P., 1987. Points de vue sur la zootechnie et les systèmes d'élevage tropicaux. Cah. Sci. Hum. 23 (3-4) : 421-437.
166. LANDAIS E., BONNEMAIRE J., 1996. La zootechnie, art ou science ? Entre nature et société, l'histoire exemplaire d'une discipline finalisée. [Le Courrier de l'environnement n°27, août 1996.](#)
167. LAURENT C., REMY J., 2000 “ L'exploitation agricole en perspective” Courrier de l'environnement de INRA n°41, Octobre 2000. P 18.
168. LAVIGNE-DELVILLE P., WYBRECHT B., 2002. Le diagnostic local des activités paysannes *in* Mémonto de l'agronome. CIRAD. Ed Quae, 2002. 1690 p.
169. Le DREZEN Y., 2008 « Dynamique des paysages de la vallée de Yamé depuis 4000 ans : contribution à la compréhension d'un géosystème soudano-sahélien (ounjougo , pays dogon au Mali) » Thèse de doctorat de l'université de Caen basse Normandie, pages 418
170. LE FEON V., 2010 « Insectes pollinisateurs dans les paysages agricoles : approche pluri-échelle du rôle des habitats semi-naturels, des pratiques agricoles et des cultures entomophiles » Thèse de doctorat à l'Université de Rennes 1
171. LEVEQUE C., 2008. La biodiversité au quotidien : Le développement durable à l'épreuve des faits, éditions IRD, Paris, 286 pages.

172. LEVEQUE C., MOUNOLOU J. C., 2008. Biodiversité : Dynamique biologique et conservation, éditions Dunod, Paris, 259 pages.
173. LEVREL H., 2007. Institut Français de la Biodiversité, France, 96 pages.
174. LEVREL H., 2006. Biodiversité et développement durable : quels indicateurs ? thèse du Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris, 406 pages.
175. LEVREL H., 2007. Quels indicateurs pour la biodiversité ? Les cahiers de l'IFB. 83 pages.
176. LEVY, JACQUES, LUSSAULT, MICHEL, 2003., « Dictionnaire de la géographie et de l'espace des sociétés », Paris, Belin, 1034 p.
177. LUGINBÜHL Y., 2009 « Note de synthèse sur les indicateurs de paysage » SINP LADYSS, décembre 2009
178. LHOSTE Ph., 2001. L'étude et le diagnostic des systèmes d'élevage. Atelier de formation des agronomes SCV Madagascar, 13-23 Mars 2001. 32 p.
179. MACARY, F., VERNIER, F. et al., (2005) « Indicateurs environnementaux pour le zonage de risque potentiel de transferts de pesticides à l'échelle de bassins versants : méthodologies pour un changement d'échelle », édition Groupe Français des Pesticides, 8 p.
180. MACARY F., al 2006 « Méthode d'estimation d'un risque potentiel spatialisé de la contamination des eaux de surface par les intrants agricoles à différentes échelles spatiales : Application sur les coteaux de Gascogne » archives ouvertes 2006, P20
181. MACARY F., al 2007 « Méthode de changement d'échelle pour l'estimation du potentiel de contamination des eaux de surface par l'azote » Ingénieurs N°46 P.35 à 49 juin 2006
182. MARESCA B ET AL., 2001 « Évaluation des services rendus par les écosystèmes en France : Les enseignements d'une application du Millennium Ecosystem Assessment au territoire français » revue développement durable et territoires vol2 n°3 (décembre 2001).
183. MALTE-BRUN C., 1810 « Précis de la géographie universelle ». Sa publication, composée de 6 volumes.
184. MAMA, V.J. et OULOUKOI, J., 2003 « Évaluation de la précision des traitements analogiques des images satellitaires dans l'étude de la dynamique de l'occupation du sol. Télédétection », vol. 3, n° 5, p. 429–441.

185. MATHIAN H., PIRON M. (2001). « Échelles géographiques et méthodes statistiques multi dimensionnelles ». In Sanders L. (dir.), *Modèles en analyse spatiale*. Paris : Hermes Lavoisier, coll. « Information géographique et aménagement du territoire », p. 61-104.
186. MAS APARISI A., DIALLO F., BALIE J., 2013. « Analyse des incitations et pénalisations pour le maïs au Mali » Série notes techniques, SPAAA, FAO, Rome.
187. MCGARIGAL K et MARKS B., 1994 «Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure » Forest Science Department, Oregon State University, Corvallis, OR 97331 (503) 750-7287, P 141
188. MCGARIGAL K. & MARKS B.J. 1995. « Fragstats: spatial analysis program for quantifying landscape structure ». In. USDA Forest Service, Pacific Northwest Research Station, Portland, OR.
189. MCGARIGAL K., CUSHMAN S., NEEL M., ENE E., 2002. « *FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps. Computer software program produced by the authors at the* » University of Massachusetts, Amherst
190. MEA., 2005. *Ecosystem and Human Well-Being: synthesis*, Island Press, 137p.
191. MEATEU., (2001) « Stratégie nationale en matière de diversité biologique ». Tome I et Tome II.
192. MERAL P, 2012., « Le concept de service écosystémique en économie : origine et tendances récentes », *Natures Sciences Sociétés* 2012/1 (Vol. 20), p. 3-15.
193. MESSER, J.J., LINTHURST, R.A., OVERTON, W.S., 1991. An EPA program for monitoring ecological status and trends. *Environmental Monitoring and Assessment* 17, 67–78
194. MONTAGNE Roger., 1950. « La notion d'exploitation agricole et son évolution ». In: *Bulletin de la Société française d'économie rurale*. Volume 2 N°3, 1950. Compte rendu des réunions de travail des 3 et 4 novembre 1950. pp. 66-70.
195. MORENCY C., 2006 « Étude de méthodes d'analyse spatiale et illustration à l'aide de microdonnées urbaines de la Grande Région de Montréal » *les Cahiers Scientifiques du Transport* N° 49/2006 - Pages 77-102

196. MORLON P., SIGAUT F., 2008. « La troublante histoire de la jachère. Pratiques des cultivateurs, concepts de lettrés et enjeux sociaux. Quae, Versailles / Educagri, Dijon, 325 p.
197. MORLON P, BENOIT M., 1990 « Etude méthodologique d'un parcellaire d'exploitation agricole en tant que système » Elsevier/INRA agronomie (1990) 6, 499-508.
198. DZIOCK, F., HENLE K., FOECKLER F., FOLLNER K., SCHOLZ M., 2006. Biological indicator systems in floodplains a review. *International Review of Hydrobiology* 91, 271–291.
199. NICHOLAS M. SHORT., 1982, « Eastern Regional Remote Sensing Applications Center (U.S.), United States. National Aeronautics and Space Administration ». Scientific and Technical Information Branch, Goddard Space Flight Center
200. NIEMI, G.J., MCDONALD, M.E., 2004. Application of ecological indicators. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* 35, 89–111.
201. NGUYEN-HUU T, AUGER P., 2007 « Applications de méthodes d'agrégation de variables à l'analyse de modèles spatiaux de dynamique des populations » 2007 International Conference in Honor of Claude Lobry Page 16
202. NOTTALE, L, SCHNEIDER J, 1984, « Fractals and Non-Standard Analysis, *J. Math. Phys.*, 25, 1296.
203. NOTTALE, L, 1989, « Fractals and the quantum theory of space-time », *Int. J. Mod. Phys. A* 4, p. 5047-5117
204. NOTTALE, L., 1992, « The theory of scale relativity », *Int. J. Mod. Phys. A* 7, 4899-4936 [http://luth.obspm.fr/_luthier/nottale/arIJMP2.pdf].
205. NOTTALE, L., 1993, « *Fractal space-time and microphysics. Toward a theory of scale relativity*, » Singapour, World scientific, XIV-338 p.
206. NOTTALE, L., 1994, « Scale relativity, fractal space-time, and quantum mechanics », *Chaos, Solitons & Fractals*, n°4, p. 361-388.
207. NOTTALE, L., 1997, « Scale relativity » in *Scale invariance and beyond*, EDP Sciences Springer, p. 249-261
208. NOTTALE, L., 1998, *La relativité dans tous ses états. Au-delà de l'espace-temps*, Paris, Hachette, 320 p.

209. NOTTALE, L., 2001A, « Relativité d'échelle. Structure de la théorie », in *Objets d'échelles, Revue de synthèse*, n°1, T.122, p. 11-25
210. NOTTALE, L., 2001B, « Relativité d'échelle et morphogenèse », in *Objets d'échelles, Revue de synthèse*, n°1, T.122, p. 93-116
211. NOTTALE, L., 2002A, « Relativité d'échelle, non différentiabilité et espace-temps fractal », in Abry, P., Goncalves, P. et Lévy-Véhel, J., *Traité IC2*, volume n°2, « Lois d'échelle, fractales et ondelettes », Chapitre 7, Hermès Lavoisier, 234 p.
212. NOUBISSI P K., 2009 « La pratique du suivi évaluation dans les projets de développement au Cameroun » Mémoire de Master en Développement et Management de projets à l'Université Senghor d'Alexandre
213. NYABYENDA P., 2006 « les plantes cultivées en régions tropicales d'altitude d'Afrique : cultures industrielles et d'exportation cultures fruitières et cultures maraichères » Edition presses agronomiques de Gembloux Pages 241
214. OCDE., 1993. « Corps central d'indicateurs de l'OCDE pour les examens des performances environnementales, Monographie sur l'environnement », n° 83, Paris, France.
215. OCDE., 2001a. « Indicateurs environnementaux pour l'agriculture : Méthodes et résultats » Volume 3, 426 pages.
216. OCDE., 2001b. « Réunion d'experts de l'OCDE sur les indicateurs de biodiversité agricole, 5-8 novembre, Zurich », SUISSE, 35 pages.
217. OCDE., 2006. « Atlas de l'intégration Régionale en Afrique de l'Ouest, série économie, le coton, CEDEAO-CSAO » OCDE, 20p.
218. OCDE., 2008. « La performance environnementale de l'agriculture dans les pays de L'OCDE depuis 1990 », 33 pages.
219. OLIVEAU S., 2010 « Autocorrélation spatiale : les leçons du changement d'échelle » l'espace géographique 1/2010 (vol.39), p.51-64
220. ONEMA (2013), « *Bio-indication, des outils pour évaluer l'état écologique des milieux* » synthèse des contributions scientifiques apportées à Paris aux journées des 19 et 20 avril 2011
221. OPENSHAW S., 1981 « Le Problème de l'agrégation spatiale en géographie » L'Espace géographique, no 1, p. 15-24

222. ORAIN O., 2006 « La géographie française face à la notion d'échelle. Une approche par les significations et les contenus épistémologiques », Manuscrit auteur, publié dans *Echelles et temporalités en géographie, seconde partie*, Robic (Marie-Claire) (Ed.) (2004) 2-24
223. OSTY P.L., 1978. L'exploitation agricole vue comme un système. BTZ. 326 : 43-49. *In durabilité In BERBER M., 2007. Élaboration du modèle Dexi-SH : modèle d'évaluation multicritère ex ante de la durabilité agro-écologique.*
224. OSS, 2013 « la surveillance environnementale dans le CICUM-Sahara » synthèse régionale (Algérie, Burkina, Kenya, Mali, Niger, Sénégal et Tunisie).
225. OUOBA A P., 2013 « Changements climatiques, dynamique de la végétation et perception paysanne dans le Sahel burkinabè » Thèse de Doctorat à l'Université de Ouagadougou Burkina Faso, page 305
226. PAPY F., 2008 « Le système de culture : un concept riche de sens pour penser le futur » Article scientifique cahiers Agricultures vol. 17, n° 3, mai-juin 2008. Page 263-269
227. PANIGRAPHY, S., MANJUNATH, K. R. & RAY, S. S., 2005 « Deriving cropping system performance indices using remote sensing data and GIS ». *International Journal for Remote Sensing*, (12), 2595-2606.
228. PEETERS A et al 2004 ., « les indicateurs de biodiversité pour les prairies : un outil d'évaluation de la durabilité des systèmes d'élevages » *Fourrages* (2004) 178, 217-232
229. PEETERS, A., JANSSENS, F., 1995. Agriculture et nature Concilier la biodiversité et une production agricole performante en prairie : est-ce possible ?, *Annales de Gembloux*, 127-147 pages.
230. PETIT M., 2006 « L'exploitation agricole familiale : leçons actuelles de débats anciens » *Cahiers Agricultures* vol.15, n°6 Novembre-Décembre 2006.
231. PETIT M., 2015 « Evolution de l'agriculture et caractère familial des exploitations agricoles » *Economie rurale* N°106, 1975. Population et travail agricoles(fin) pp. 45-55.
232. PENELON P., 1970 « Vocabulaire de Géographie Agraire », Tours, 692 p.
233. PERRY,J.N., LIEBHOLD,A.M., ROSENBERG,M.S., DUNGAN,J., MIRITI,M., JAKOMULSKA,A. & CITRON-POUSTY,S., 2002 « *Illustrations and*

guidelines for selecting statistical methods for quantifying spatial pattern in ecological data ». *Ecography*, 578-600

234. PINTAUD J.C., 2008 « Modèle de domestication et structure de l'agrobiodiversité du palmier dattier Phoenix dactylifera L. » collection Colloques et séminaires Paris, 2010
235. PIRON, M., 1990, « Structuration de l'information à plusieurs niveaux et analyse des données : application aux données d'une enquête socio-économique à Ouagadougou (Burkina Faso) », Paris, Université de Paris VI, Thèse d'université, 265 p.
236. PIRON M., 1992 « Analyse statistique d'un système d'échelles » Document de travail n°4 du réseau d'amélioration des outils de connaissance pour la gestion urbaine dans les pays en développement, p215
237. PIRON M., 1993 « Changer d'échelle : une méthode pour l'analyse des systèmes d'échelles » *L'Espace géographique*, 1993, no 2. Page 19
238. PUMAIN D 2004., « Jeux d'échelles, ou quand la quantité change la qualité », *Cybergeo : European Journal of Geography* [En ligne], Editoriaux, mis en ligne le 12 décembre 2004, consulté le 14 septembre 2014. URL : <http://cybergeo.revues.org/592>.
239. RACINE J.-B, RAFFESTIN C, RUFFY V « Échelle et action, contributions à une interprétation du mécanisme de l'échelle dans la pratique de la géographie. » *Geographica Helvetica*, 1980, vol. 35, no. 5, p. 87-94 Available at: <http://archive-ouverte.unige.ch/unige:4319> Disclaimer: layout of this document may differ from the published version.
240. RAPPORT DU GOUVERNEMENT DU MALI, MAI., 2008 « Table ronde des bailleurs de fonds du mali orientations stratégiques et priorités d'investissement pour un développement agricole efficient et une croissance accélérée » Pages 54
241. RAYMOND R., 2008 « Les dynamiques paysagères. Retours d'expériences et de réflexions » Atelier transfrontalier franco-anglais du 27 au 29 Mai 2008.
242. REMPEL, R.S., ANDISON, D.W., HANNON, S.J., 2004. Guiding principles for developing an indicator and monitoring framework. *Forestry Chronicle* 80, 82–90.
243. RGPH, (2009). 4ème Recensement Général de la Population et de l'Habitat, INSAT-Mali, Résultats Définitifs Tome 0: *Répertoire des villages*, pp 318.

244. RICHARD J-F., 1972 et 1973 —« Problèmes de Géographie du paysage. Essai de définition théorique de la géographie du paysage ». ORSTOM - Adiopodoumé, Avril 1972,98
245. RIMBERT S., 1990 « *Carto-graphies*. Paris, Éditions Hermès (Coll. « Traité des nouvelles technologies », Série Géographie assistée par ordinateur), 176 p., préface de A. Moles.
246. ROCA P.J.- 1985 - "Les agrosystèmes de la région de Désarmes : adaptation et blocages de la société agraire", Thèse, Université de Bordeaux III, 489 p.
247. ROCA P J., « différentes approches des systèmes agraires »
248. ROBIC Marie-Claire, 2004, « Un système multi-scalaire, ses espaces de référence et ses mondes. L'Atlas Vidal-Lablache », *Cybergeo : Revue européenne de géographie*, n° 265. DOI : 10.4000/cybergeo.3944 Vallaux
249. ROBIC Marie-Claire, 2004« Note sur la notion d'échelle dans la géographie française de la fin du XIXe siècle et du début du XXe siècle », *Cybergeo : European Journal of Geography* [En ligne], Dossiers, Journée à l'EHESS (Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales). Echelles et territoires, Paris, France, 29 avril 2002, document 264, mis en ligne le 24 mars 2004, consulté le 26 juin 2014. URL : <http://cybergeo.revues.org/3961> ; DOI : 10.4000/cybergeo.3961
250. ROOSE É., 1984 « Causes et facteurs de l'érosion hydrique sous climat tropical : conséquences pour les méthodes antiérosives ». *Machinisme et Agriculture Tropicale*, vol. 87, pp 4-18.
251. ROULIER F., « Une méthode pour agréger les localisations cognitives : les moyennes sur listes chaînées de points », *Cybergeo : European Journal of Geography* [En ligne], Cartographie, Imagerie, SIG, document 476, mis en ligne le 24 novembre 2009, consulté le 14 septembre 2014. URL : <http://cybergeo.revues.org/22763> ; DOI : 10.4000/cybergeo.22763
252. ROZENBLAT C. (1989) « Différenciations spatiales et sociales dans un espace urbain: les quartiers de Paris ». *L'Espace géographique*, no 3, pp 264-272.
253. SAAS Y., 2012 « Modèles statistiques spatialement explicites de données de comptage : analyse bibliographique et comparaison de différentes approches » Mémoire de Master 2 Mathématiques et Applications Spécialité Statistique Université de Strasbourg, pp 80.
254. SALAZAR E., 2011 « Représentation et analyse spatiale de la conflictualité au Québec » Mémoire de Master, Université de Laval, pp 80.

255. SALLES J.M., 2010 « Evaluer la biodiversité et les services écosystémiques : pourquoi, comment et avec quel résultat » EDP Sciences/ Nature, Sciences et sociétés 2010/4 - Vol. 18 pages 414 à 423
256. SAMAKE A et al., 2013. Systèmes d'activités et performances des exploitations agricoles familiales dans les cercles de Yanfolila et Bankass (Mali). 2013. <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00822017>
257. SANDERS L. (1989) « L'Analyse des données appliquée à la Géographie » Montpellier: GIP RECLUS, coll. ((Alidade)), pp 26
258. SANDERS, J., OUENDEBA, B., 2010. « Sorghum and Millet in Mali, in INTSORMIL, USAID. 2010. Transfer of Sorghum, Millet Production, Processing and Marketing Technologies in Mali », Quarterly Report.
259. SANOGO K., (2011) « identification et validation d'indicateurs pour l'évaluation de la biodiversité agricole en zone cotonnière du mali : Etude de cas dans les villages de Kanian, Kaniko et Siramana » Mémoire de DEA pp 35
260. SARR M A., « *Cartographie des changements de l'occupation du sol entre 1990 et 2002 dans le nord du Sénégal (Ferlo) à partir des images Landsat* », Cybergeog : European Journal of Geography [En ligne], Environnement, Nature, Paysage, document 472, mis en ligne le 07 octobre 2009, consulté le 19 juin 2016. URL : <http://cybergeog.revues.org/22707> ; DOI : 10.4000/cybergeog.22707
261. SEBI., 2010 « Streamlining European 2010 biodiversity indicators », France, 133 pages.
262. SEBILLOTTE M., 1991 « La Jachère : Eléments pour une théorie » Paris
263. SEBILLOTTE, M., 1991 « La jachère Eléments pour une théorie. In: Dynamique des systèmes agraires, A travers champs géographes et agronomes (Ed. by C. Blanc-Pamard and A. Lericollais » pp. 175-229. IRD, Paris. Collection Colloques et Séminaires 2ème édition.
264. SEBILLOTTE, M. 2001 « Des recherches en partenariat "pour" et "sur" le développement régional à l'Inra » Economie Rurale(261), 50-53.
265. SERPANTIE G, MERAL P ET BIDAUD C, 2012., « Des bienfaits de la nature aux services écosystémiques », Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement [En ligne], Volume 12 numéro 3 | décembre 2012, mis en ligne le 15 décembre 2012, consulté le 24 novembre 2015. URL : <http://vertigo.revues.org/12924> ; DOI : 10.4000/vertigo.12924

266. SERPANTIE G, OUATTARA B., 2001 « Fertilité et jachères en Afrique de l'Ouest » John Libbey Eurotext, Paris © 2001, pp. 21-83
267. SIE M., 1992 « Analyse de la diversité génétique des variétés traditionnelles de riz (*oryza sativa* L et *glaberrima* Steud.) du Burkina Faso » Mémoire de DEA à la Faculté des sciences et techniques de Montpellier.
268. SIMALIS V., 2006 « Guide technique de démarche paysagère : aide à l'étude d'impact et au projet » tome 2 Novembre 2006
269. SIMPSON, E. H. 1949 « Measurement of diversity », *Nature* 163 688.
270. SISSOKO K., DEBRAH S., 1989. « Evaluation des différentes sources de revenus des petits exploitants en zone semi-aride au Mali, étude de cas » Projet sectoriel de l'élevage au Mali, USAID, Bamako, Mali.
271. SPAGGIARI J et al., 2010 « Mise au point d'une méthode d'identification des continuités écologiques dans le Grand Sud de la Nouvelle-Calédonie » Synthèse bibliographique et proposition d'une démarche Nouméa, octobre 2010. Page 99
272. SOUMARE M., 2008 « Dynamique et durabilité des systèmes agraires à base de coton au Mali » thèse de doctorat en géographie humaine, économique et régionale université de Paris X Nanterre. Page 373
273. SOUMARE M, BAZILE D, VAKSMANN M, KOURESSY M, DIALLO K, DIAKITE C H, 2008 « Diversité agro écosystémique et devenir des céréales traditionnelles au sud du Mali » *Cahiers Agricultures* vol. 17, n° 2, mars-avril 2008.
274. SOURISSEAU J F., 2014 « Agricultures familiales et mondes à venir » Edition Quae 2014
275. TEXIER P.H., 2009. « Quel avenir pour le coton des pays africains de la zone franc? Grain de sel », N° 45, pp 9-10.
276. SULTAN, B. JANICOT, S. 2004 « La variabilité climatique en Afrique de l'Ouest aux échelles saisonnière et intra-saisonnière : mise en place de la mousson et variabilité intra-saisonnière de la convection ». Note de recherche. *Sécheresse* 2004; 15(4): 321-30.
277. THOMAS I., 1983. « Amélioration du découpage géographique des agglomérations urbaines : Proposition d'une méthode simple d'agrégation ». In: *Espace géographique*. Tome 12 n°3, 1983. pp. 207-214.

278. TURNHOUT, E., HISSCHEMOLLER, M., EIJSACKERS, H., 2007. Ecological indicators: between the two fires of science and policy. *Ecological Indicators* 7, 215–228.
279. TOURE, A.S., 1992 « Ecologie et production primaire des pâturages au Moyen-Bani-Niger, Mali » Thèse de doctorat, Université Laval, Québec. pp 250
280. TONNEAU J.P., PERRET S., LOYAT J., 2009 « Indicateurs de performance » Document de travail, Montpellier, CIRAD, p. 8
281. TRICART J, « La géomorphologie et la notion d'échelle », *Revue de Géomorphologie dynamique*, 1952, V, n°5, p. 213-218.
282. VANNIER C, 2012, « Analyse spatiale de structures paysagères en contexte agricole bocager », *Cybergeo : European Journal of Geography* [En ligne], Environnement, Nature, Paysage, document 607, mis en ligne le 17 mai 2012, consulté le 26 juin 2014. URL : <http://cybergeo.revues.org/25354> ; DOI : 10.4000/cybergeo.25354
283. VERDIER N., 2004 « L'échelle dans quelques sciences sociales » French National Centre for Scientific Research, pages 40
284. VERNIER, F., TURPIN, N., BIOTEAU, T., (2001) « Méthode de mise en place d'une base de données spatialisée et de cartographie sur un bassin versant agricole » guide méthodologique et CD-ROM, 68 p.
285. VILAIN L. et al., 2003 « La méthode IDEA – guide d'utilisation, deuxième édition enrichie et élargie à l'arboriculture, au maraîchage et à l'horticulture », Editions Educagri, 151 p.
286. VILAIN L., 2008. La méthode IDEA. Guide d'utilisation. Troisième édition actualisé. Editions educagri, Dijon, France, 184 pages.
287. VINTROU E., 2012 « cartographie et caractérisation des systèmes agricoles au mali par télédétection a moyenne résolution spatiale » thèse de doctorat de l'Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement (AgroParisTech) pages 204.
288. VINTROU, E., Y. PITARCH, A. BEGUE, and M. TEISSEIRE, 2012b. Recherche de motifs et cartographie des surfaces agricoles: des relevés terrain aux données satellitaires (application au Mali). *Revue Internationale de Géomatique*. In press.

289. VISSAC B., HENTGEN A.- 1980 - "Eléments pour une problématique de recherche sur les systèmes agraires et le développement", INRA (S.A.D.), Paris.
290. VOLLE M., 1978 « L'analyse des données. In: Economie et statistique, n°96, Janvier 1978 ». pp. 3-23; http://www.persee.fr/doc/estat_0336-1454_1978_num_96_1_3094
291. WELTZIEN E., 2014 « Le sorgho en Afrique : opportunités et priorités de recherche ». Institut international de recherches sur les cultures des zones tropicales semi-arides, Mali. Commandée par le CTA. Pages 7
292. WU S., 2011 « Modélisation du comportement des géomatériaux: apport des méthodes numérique de changement d'échelle » thèse de doctorat à l'université d'Orléans, p161
293. YAÏVES FERLAND 2000, « Les défis théoriques posés à la cartographie mènent à la cognition », Cybergeog : European Journal of Geography [En ligne], Dossiers, Colloque "30 ans de sémiologie graphique", document 148, mis en ligne le 17 novembre 2000, consulté le 26 juin 2014. URL : <http://cybergeog.revues.org/499> ; DOI : 10.4000/cybergeog.499
294. YOSSI H et DEMBELE F « Dynamique de la végétation post-culturale en zone soudanienne du Mali, évolution de la composition floristique et de la strate ligneuse »
295. ZAHM F, GIRARDIN P, MOUCHET C, VIAUX P, VILAIN L., 2005 « De l'évaluation de la durabilité des exploitations agricoles à partir de la méthode IDEA à la caractérisation de la durabilité de la « ferme européenne » à partir d'IDERICA. Pour un programme de recherche pour accompagner les objectifs d'une agriculture européenne «revisitée» par les enjeux d'un développement territorial durable. » Colloque international Indicateurs Territoriaux du Développement Durable, 2et 3 décembre 2005, Aix en Provence
296. ZAHM F., 2003 « Méthodes de diagnostic des exploitations agricoles et indicateurs : panorama et cas particuliers appliqués à l'évaluation des pratiques phytosanitaires » Ingénieries N°33 – P13 à 34 Mars 2003
297. ZUMBIEHL M. S., 1996. Les indicateurs outils et méthodes: le cas d'interaction populations-forêts, Ecole Polytechnique. pp 74.

Webographie

298. http://fr.wikipedia.org/wiki/Minianka_%28people%29 consulté le 03 septembre 2013 à 14h30min

299. http://www.planete-burkina.com/ethnies_burkina_faso.php consulté le 03 septembre 2013 à 14h34min
300. http://sig2011.esrifrance.fr/cepam_mmgd.aspx consulté le 23 octobre 2013 à 11h30 min
301. <http://louez-mon-cerveau.com/Chapitre-2.html> consulté le 24 juin 2014 à 15h00 min
302. <http://www.hypergeo.eu/spip.php?article505#> Consulté le vendredi 23 Mai 2014 à 11h05
http://mots-agronomie.inra.fr/mots-agronomie.fr/index.php/Syst%C3%A8me_de_culture Consulté le Mardi 20 mai 2014 à 8h30
303. <http://cybergegeo.revues.org/> consulté de façon permanente
304. http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/spgeo_00462497_1983_num_12_3_3834 Consulté le lundi 15 septembre 2014 à 11h00
305. <http://rga.revues.org/1308> consulté le vendredi 26 septembre 2014 à 10h57
306. <http://vertigo.revues.org/12924> consulté le vendredi 26 septembre 2014 à 12h24
307. <http://geomorphologie.revues.org/338>
http://environnement.wallonie.be/publi/etatenv/paysage/P11_24.pdf
308. <http://www.hypergeo.eu> Consulté le vendredi 23 Mai 2014 à 11h05
309. http://mots-agronomie.inra.fr/mots-agronomie.fr/index.php/Syst%C3%A8me_de_culture Consulté le Mardi 20 mai 2014 à 8h30
310. <http://www.fao.org/docrep/v8180t/v8180T0z.htm#TopOfPage> Consulté le vendredi 04 novembre 2016 à 23h55.
311. <http://spss.espaceweb.usherbrooke.ca/pages/stat-inferentielles/regression-simple/procedure-spss.php> Consulté le mercredi 08 décembre 2016
312. <http://www.fao.org/ag/agp/agpc/doc/counprof/mali/malifr.htm> Consulté le mardi 24 Janvier 2017
313. https://help.xlstat.com/customer/fr/portal/articles/2062230-r%C3%A9gression-lin%C3%A9aire-simple-avec-xlstat?b_id=9283 consulté le 30 décembre 2016
314. <http://193.43.36.162/home.aspx?c=MLI&p=ke> Country stat consulté le 11 avril 2018
315. https://www.cmdtmali.net/index.php?option=com_content&view=article&id=72&Itemid=68 Consulté le 10 Avril 2018

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Relation entre les unités spatiales et les systèmes associés	12
Figure 2 : les différentes échelles spatiales entre parcelle, exploitation et terroir.....	13
Figure 3: Bassins de production du coton en Afrique	23
Figure 4 : Géomorphologie de la zone cotonnière du Mali.....	27
Figure 5 : Variations interannuelles de la pluviométrie des stations de Koutiala, Sikasso, Bougouni et San (Source : MALI-METEO 2016)	30
Figure 6 : Variations interannuelles de la température moyenne des stations de Koutiala, Sikasso et Bougouni (Source : MALI-METEO 2016).....	31
Figure 7 : Carte agroclimatique du Mali et de la zone cotonnière	32
Figure 8 : L'évolution de la population des zones cotonnières du Mali (Source : RGPH 1987, 1998 et 2009).....	34
Figure 9 : Présentation de la zone cotonnière du Mali	37
Figure 10 : Indice d'agrégation du paysage .Source : Jappiot, Phillibert-Caillat et al. (2003)	43
Figure 11 : Carte des scènes traitées	48
Figure 12 : Composition colorée R(4), V(3), B(2).....	49
Figure 13 : Image classifiée	51
Figure 14 : Galerie forestière à Ziguéna (à côté de Sikasso)	57
Figure 15 : Photo de la forêt claire dans le village de Nafégué (cercle de Kadiolo).....	58
Figure 16 : Photo de la savane arborée sur cuirasse à Nafégué (cercle de Kadiolo).....	59
Figure 17 : Savane boisée dans le village de Nafégué (cercle de Kadiolo)	60
Figure 18 : Photo de la savane arbustive à Benguéni (cercle de Bla).....	61
Figure 19 : Photo du champ de coton après la récolte à Ziguéna (cercle de Sikasso)	62
Figure 20 : Photo de la zone de culture irriguée à Ziguéna (cercle de Sikasso)	63
Figure 21 : Cours d'eau permanent à Ziguéna (cercle de Sikasso).....	63
Figure 22 : Mosaïque des scènes Landsat en composition colorée et diversité paysagère	67
Figure 23 : Carte des unités d'occupation du sol de la zone soudano sahélienne	69
Figure 24 : Carte des unités d'occupation du vieux bassin cotonnier.....	71
Figure 25 : Carte des unités d'occupation de la zone hétérogène en équilibre	73
Figure 26 : Carte des unités d'occupation de la zone d'extension du Sud.....	75
Figure 27 : Carte des unités d'occupation de la zone OHVN.....	77
Figure 28 : Carte des unités d'occupation de la nouvelle zone cotonnière.....	79
Figure 29 : Carte des unités d'occupation de la zone périurbaine 1	81
Figure 30 : Carte des unités d'occupation de la zone périurbaine 2	83
Figure 31 : Du concept aux indices (Lasarsfeld, 1958), <i>in</i> Boulanger (2004, <i>op cité</i>).	112
Figure 32: Photos d'atelier de validation des indicateurs	120
Figure 33 : Méthode de seuil.....	121
Figure 34 : méthodes de seuils et quelques exemples de résultats.....	122
Figure 35 : Echantillonnage avec Sampling Design Tools	124
Figure 36 : Cartographie des villages échantillons	125
Figure 37: Evolution du rendement du coton de 2013 à 2015	160
Figure 38 : Evolution du rendement du maïs de 2013 à 2015.....	163

Figure 39 : Evolution du rendement du Sorgho de 2013 à 2015.....	165
Figure 40 : Evolution du rendement du mil de 2013 à 2015.....	168
Figure 41 : Evolution du rendement d'arachide de 2013 à 2015.....	170
Figure 42 : Notre approche du changement d'échelle.....	187
Figure 43: Graphique des valeurs propres.....	193
Figure 44 : Diagramme des composantes.....	193
Figure 45 : L'indice de Moran.....	198
Figure 46 : Cartographie des indicateurs locaux d'association spatiale.....	202
Figure 47 : Cartographie de Système de Culture1 (SC1) Coton/Maïs.....	204
Figure 48 : Cartographie de Système de Culture2 (SC2) Coton/Maïs et Sorgho ou Mil.....	205
Figure 49 : Cartographie de Système de Culture3 (SC3) Mil/Sorgho/arachide ou (Niébé et rarement le Soja).....	206
Figure 50 : Cartographie de Système de Culture4 (SC4) Céréaliculture pure Mil/Sorgho et souvent Maïs.....	207
Figure 51 : Cartographie de Système de Culture5 (SC5) Légumineuses : Arachide, Niébé ou Soja.....	208
Figure 52 : Cartographie de Système de Culture6 (SC6) Riziculture.....	209
Figure 53 : Cartographie de Système de Culture7 (SC7) Maïs, Arachide, Sorgho, Niébé....	210
Figure 54 : Synthèse des systèmes de cultures.....	211
Figure 55 : Les bénéfices tirés des écosystèmes et leurs liens avec le bien-être de l'homme (schéma adapté du Millennium Ecosystem Assessment [2003, p. 5] Méral P 2012).	216
Figure 56 : Lien entre la biodiversité et la production des services par les écosystèmes	219
Figure 57 : Quantité de céréales produites en Kg.....	222
Figure 58 : Quantité de céréale par personne et par an.....	225
Figure 59: Seuil de sous-alimentation des exploitations.....	227
Figure 60 : Seuil de sous-alimentation des exploitations suite.....	228
Figure 61 : Zone Benkadi.....	298
Figure 62 : Zone Kita Nord Est.....	299
Figure 63 : Zone de Kangaba.....	300
Figure 64 : Zone de Sélingué.....	301
Figure 65 : Zone de Bla-Baraouéli.....	302
Figure 66 : Zone de Sikasso Est.....	303
Figure 67 : Procédure de combinaison des Bandes Landsat (ETM+) sous ERDAS IMAGINE.....	318
Figure 68 : Mosaique des images.....	319
Figure 69 : Procédure de création du fichier de signature spectrale sous Erdas.....	319
Figure 70 : Procédure de classification supervisée à partir du logiciel Erdas.....	320

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Indices de structure et de composition du paysage	44
Tableau 2 : Caractéristiques de chaque bande OLI.....	46
Tableau 3: Scènes téléchargées et traitées.....	47
Tableau 4 : Composition colorée avec les bandes de Landsat	49
Tableau 5 : précisions globales et indices de kappa.....	52
Tableau 6 : Confusion des classes.....	53
Tableau 7 : Synthèse de la diversité paysagère	65
Tableau 8 : Zone Nord Soudano-sahélienne	68
Tableau 9 : Vieux bassin cotonnier	70
Tableau 10 : Zone hétérogène en équilibre	72
Tableau 11 : Zone d'extension du sud	74
Tableau 12 : Zone de l'office de Haute vallée du Niger (OHVN).....	76
Tableau 13 : Nouvelle zone cotonnière.....	78
Tableau 14 : Périurbaine 1 centré sur Kangaba.....	80
Tableau 15 : zone périurbaine 2 centré sur Kalabancoro	82
Tableau 16 : Indicateur de composition du paysage	86
Tableau 17 : Indicateurs de composition au niveau des classes d'occupation de la zone nord soudano-sahélienne.	87
Tableau 18 : Indicateurs de composition au niveau des classes d'occupation du vieux bassin cotonnier.....	88
Tableau 19 : Indicateurs de composition au niveau des classes d'occupation de la zone hétérogène en équilibre	89
Tableau 20 : Indicateurs de composition au niveau des classes d'occupation de la zone d'extension du Sud.....	90
Tableau 21 : Indicateurs de composition au niveau des classes d'occupation de la zone haute vallée du Niger	91
Tableau 22 : Indicateurs de composition au niveau des classes d'occupation dans la nouvelle zone cotonnière	92
Tableau 23 : Indicateur de fragmentation du paysage.....	93
Tableau 24 : Zone Nord soudano sahélienne	93
Tableau 25 : Vieux bassin cotonnier	94
Tableau 26: Zone hétérogène en équilibre	95
Tableau 27: Zone d'extension du sud	96
Tableau 28: Zone Haute vallée du Niger.....	96
Tableau 29 : Nouvelle zone cotonnière.....	97
Tableau 30 : Indicateur d'agrégation du paysage	98
Tableau 31 : Indicateur d'agrégation de la zone Nord Soudano-sahélienne.....	99
Tableau 32 : Indicateur d'agrégation du vieux bassin cotonnier.....	99
Tableau 33: Indicateur d'agrégation de la zone hétérogène en équilibre.....	100
Tableau 34 : Agrégation de la zone d'extension du Sud	101
Tableau 35 : Agrégation zone de haute vallée du Niger	101
Tableau 36 : Agrégation de la nouvelle zone cotonnière	102

Tableau 37 : Indicateurs de la biodiversité agricole de la CDB	110
Tableau 38 : Les indicateurs d'état	114
Tableau 39 : Les indicateurs de pression	115
Tableau 40 : Les indicateurs de réponses	117
Tableau 41: Nombre de villages en fonction de la superficie de chaque région agricole	123
Tableau 42: La liste des villages échantillons	126
Tableau 43 : Indicateurs de diversité spécifiques à l'échelle des exploitations.....	133
Tableau 44 : Classes d'indicateur spécifique à l'échelle des exploitations agricoles.....	135
Tableau 45 : Les systèmes de rotation à l'échelle des exploitations	136
Tableau 46 : Indicateur de diversité des systèmes de culture à l'échelle de l'exploitation....	138
Tableau 47 : Classe d'indicateur de diversité des SC à l'échelle de l'exploitation	140
Tableau 48 : Indicateur de pression spécifique du coton	142
Tableau 49 : Indicateur de pression spécifique du Maïs	144
Tableau 50 : Indicateur de pression spécifique du Sorgho.....	146
Tableau 51 : Indicateur de pression spécifique du Mil	148
Tableau 52 : Indicateur de pression spécifique de l'arachide	150
Tableau 53 : Indicateur de pression spécifique 1 sur le coton	152
Tableau 54 : Indicateur de pression spécifique 1 du Maïs	153
Tableau 55 : Indicateur de pression spécifique 1 sur le Sorgho	155
Tableau 56: Indicateur de pression spécifique 1 sur le Mil.....	157
Tableau 57 : Indicateur de pression spécifique 1 d'arachide	158
Tableau 58 : Classe de rendement de coton	161
Tableau 59 : Classe de rendement de Maïs	164
Tableau 60 : Classe de Rendement de Sorgho	167
Tableau 61 : Classe de Rendement de Mil	169
Tableau 62 : Classe de Rendement d'arachide	172
Tableau 63 : Indicateur de stabilité du rendement de coton.....	174
Tableau 64 : Indicateur de stabilité du rendement de Maïs.....	176
Tableau 65 : Indicateur de stabilité du rendement de Sorgho	178
Tableau 66 : Indicateur de stabilité du rendement de Mil.....	179
Tableau 67 : Indicateur de stabilité du rendement d'arachide.....	180
Tableau 68 : Valeurs propres	192
Tableau 69 : Corrélations entre les variables et les facteurs	192
Tableau 70 : Résultats par classe.....	196
Tableau 71 : Barycentres des classes	196
Tableau 72 : Les systèmes de culture (SC) à l'échelle de l'exploitation	203
Tableau 73 : Biens et services fournis par les écosystèmes	217
Tableau 74 : Quelques variables caractéristiques de la sécurité alimentaire.	223
Tableau 75 : Classification des exploitations selon le niveau de sécurité alimentaire.....	226
Tableau 76 Relation entre indicateur de diversité spécifique et les variables de sécurité alimentaire	229
Tableau 77 : relation entre diversité des systèmes de culture et la sécurité alimentaire	230
Tableau 78 : Relation entre rendement moyen des denrées alimentaires et les autres variables	230

Tableau 79 : Relation entre l'indicateur de stabilité du rendement du coton et la sécurité alimentaire	231
Tableau 80 : Relation entre l'indicateur de stabilité du rendement du Maïs et les variables de sécurité alimentaire	231
Tableau 81 : Relation entre l'indicateur pression spécifique du Maïs et les variables de sécurité alimentaire	232
Tableau 82 : Pluviométrie et température à la station de Koutiala de 1981 à 2016.....	293
Tableau 83 : Pluviométrie et température à la station de Bougouni de 1981 à 2016.....	294
Tableau 84 : Pluviométrie et température à la station de Sikasso de 1981 à 2016	295
Tableau 85 : Pluviométrie à la station de Sikasso de 1981 à 2014	296
Tableau 86 : Estimation de la Pluviométrie dans les stations de San, Kita et Ségou.....	297
Tableau 87: Statistique d'occupation du sol de la zone de Kita Nord-Est.....	304
Tableau 88 : Statistique d'occupation du sol de la zone de Benkadi.....	304
Tableau 89 : Statistique d'occupation du sol de la zone de Sikasso Est.....	304
Tableau 90 : Statistique d'occupation du sol de la zone de Bla-Baraouéli.....	305
Tableau 91 : Caractéristiques des points observations à Nafégué	306
Tableau 92 : Caractéristiques des points observations à Ziguéna.....	308
Tableau 93 : Caractéristiques des points observations à Benguénié	309
Tableau 94 : Caractéristiques des points observations à Katabantankoto.....	311
Tableau 95 : Caractéristiques des points observations à Kokélé	312
Tableau 96 : Caractéristiques des points observations à Kafara	313

LISTE DE PUBLICATIONS ET COMMUNICATIONS

1. **Dembélé S**, Soumaré M, Diakité C H et Gaillard D 2018 « *Dynamique des paysages régionaux en zone cotonnière du Mali* » *Tropicultura* 2018, 36, 2,232-242
<http://www.tropicultura.org/content/v36n2.html>
2. **Dembélé S**, Soumaré M et Gaillard D 2016., « *Spatial Structure Of Agricultural Biodiversity In Southern Mali* » *European Scientific Journal* February 2016 Edition vol.12, No.6 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431
[URL:http://dx.doi.org/10.19044/esj.2016.v12n6p383](http://dx.doi.org/10.19044/esj.2016.v12n6p383)
3. Ballo A, Traoré S S, Coulibaly B, Diakité C H, **Dembélé S**, Diawara M et Traoré A., 2016 « *Pressions Anthropiques Et Dynamique D'occupation Des Terres Dans Le Terroir De Ziguéna, Zone Cotonnière Du Mali* » *European Scientific Journal* February 2016 edition vol.12, No.5 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431
[URL:http://dx.doi.org/10.19044/esj.2016.v12n5p90](http://dx.doi.org/10.19044/esj.2016.v12n5p90)
4. Coulibaly B, Ballo A, Traoré S S, Diakité C H, **Dembélé S**, Diawara M et Traoré A., 2016 « *Dynamiques sociales et gestion foncière en zone cotonnière du Mali* » *European Scientific Journal* March 2016
[URL:http://dx.doi.org/10.19044/esj.2016.v12n11p350](http://dx.doi.org/10.19044/esj.2016.v12n11p350)
5. Sanogo K, Soumaré M et **Dembélé S.**, 2018 « *Système d'indicateurs pour la caractérisation et le suivi de la biodiversité agricole en zone cotonnière du Mali* » en attente de publication

COMMUNICATIONS

1. **Dembélé S, Soumaré M, Diakité C H et Gaillard D** « *Dynamique des paysages régionaux en zone cotonnière du Mali* » Colloque international organisé par l'Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa en Côte d'Ivoire sur le thème « Conflits, dynamiques des paysages et sécurité alimentaire en Afrique subsaharienne » du 10 au 12 Mai 2017 à Daloa en Côte d'Ivoire.
2. **Dembélé S, Soumaré M et Gaillard D** « *structuration spatiale de la biodiversité agricole dans la zone cotonnière du Mali : Etude de cas dans les villages de Dampérakuy, Siou et Diou* » Colloque du Projet Gestion durable de la biodiversité agricole au Mali à Bamako

ANNEXES

Annexe 1 : Enquête des exploitations

Date de l'enquête : .../..... /..... Enquêteur..... Village:

.....Code village.....

Informations générales exploitations

Prénom et Nom du chef d'exploitation:

Prénom: N°UP

Sexe CE (1: Masculin, 2 : Féminin) Age :ans Ethnie :

.....

Activité principale du CE :et Activité (s) secondaire (s) du CE :

.....

Quel est le nombre de personnes dans l'exploitation :...../

Hommes...../Femmes...../Enfant...../

Nombre d'actifs	Hommes adultes (15 ans et +)	Femmes adultes 15 ans et +)	Enfants et ado (de 10 à 15 ans)	Enfants (de moins 10 ans)	Total
Quel est le nombre d'actifs familiaux travaillant sur l'exploitation à plein temps (y compris le CE)					
Quel est le nombre d'actifs familiaux travaillant sur l'exploitation à temps partiel ?					

Quelles sont les différents champs dont dispose votre exploitation ?

N°	Nom champ	Localisation		Superficie	Durée d'exploitation
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					

Annexe 2 : Fiche Champ

Village	
Numéro UP	
N° Champ	

Nom chef UP		
Nom Champ		
Enquêteur		

Année	Culture	Variété	Superficie (ha)	F_Organique (char)	Engrais	Herbicides	Nombre désherbage	Production	Unité de. Mesure*	Topo	Type Sol
2015											
2014											
2013											

* Si unité non universelle (charrette, tine), mettre son équivalent en kg

Annexe 3 : Fiche d'enquête Exhaustive PASE II

Date :/... /2014 Code enquêteur I____I N° *Exploitation agricole*
I__I__I__I__I__I

Code Village I__I__

Informations générales

Nom chef d'exploitation (CE) : Prénom CE :
.....

Sexe CE I__I (1: masculin, 2 : féminin) Age : _____ans Ethnie :
..... I__I 1.Bambara 2.Sarakolé 3.Malinké 4.Maure 5.Minianka
6.Sénoufo 7.Dogon 8.Peulh 9.Sonrhäï 10.Bozo 11.Somono 12.Bobo 13. Dafing 14.Mossi 15.
Kakolo, 20 Autres (Précisez).

Si la personne interrogée est différente du chef d'exploitation (CE) : Nom
..... Prénom :

Lien de parenté avec CE : Expliquez pourquoi cette personne répond
à la place du CE

Combien de ménages y a-t-il dans l'exploitation :

Activité principale du CE (qui apporte un revenu) : I__I et Activité (s)
secondaire (s) du CE (qui apporte un revenu) : I__I

Activités écrivez en toute lettre l'Activité puis codes 1= Agriculture (producteur, ouvrier agricole), 2=Elevage (éleveur, berger), 3=Pêche, 4= Exploitation forestière, apiculture, chasse (fabrication du charbon, coupe de bois, collecte/vente des produits forestiers karité et autres soumbala), 5= Transformation des produits agricoles (décorticage, moulin, séchage de viande/poisson, fabrication du beurre de karité, etc.) 6=Commerce (boutique, restauration, commerce des produits agricoles, petit commerce), 7=Artisanat (forgeron, teinturier, maçon, menuisier, etc.) 8=Services (coiffeur, griot, guérisseur, marabout, etc..) 9=Autre

Depuis combien de temps est-il chef d'exploitation : I__I (1= moins de 10 ans ; 2 = 10 à 20 ans ; 3 = plus de 20 ans).

Comment est-il devenu chef d'exploitation ? : Si autre précisez
.....

(1: Succession (décès ou remplacement du précédent chef d'exploitation); 2 :
Émancipation ou éclatement (création d'une nouvelle exploitation) 3 : Migration (arrivée,
colon) ; 4 : Autre)

Si la famille est arrivée par immigration :

Année d'arrivée au village : ; Village et cercle d'origine :
.....

Le CE ou d'autres membres de l'exploitation appartiennent-ils à des organisations?

Nom de l'organisation	Type *1	Objectifs de ces organisations *2	Observations

.....	I____I	I____I	

1 Type : Organisations de producteurs : Pour les **Organisations de producteurs** : 11. Association Villageoise, 12. Ton Villageois, 13. Coopérative, 14. GIE, 15. Autre Groupement, 16. Association de producteurs. 17. Groupement de femmes, 19. Autres Organisations de producteurs (préciser) ; **Pour les Comité de gestion** : 21 Comité de gestion de terroir, 22 Comité de gestion de l'eau, 23 Comité de gestion forêt, 24 Autre comité de gestion (précisez) ; **Caisse d'Epargne et de crédit** : 31 Kafo Djigenew, 32. Autre Caisse de crédit et épargne à préciser **Organisations traditionnelles** : 41 : Ton traditionnel, 42 : Groupe de travail, 43. Tontine

Pour les Syndicats : 51. syndicats agricoles, 52. Autres syndicats **Pour les autres** : 60 Associations diverses ; 70 ONG (précisez), 90 Autre

***2 Objectifs principal de ces organisations** : 1. défense des droits 2. production agricole 3. Approvisionnement Agricole 4. Commercialisation de produits agricoles 5. financements 6. Gestion des aides 7. Gestion de ressources communes 8. Œuvre pour la communauté 9. Autre (préciser)

2. POPULATION, MIGRATION ET MAIN D'OEUVRE

2.1. Quel est le nombre de personnes dans l'exploitation :...../

Hommes...../Femmes...../Enfant...../

Nombre d'actifs	Hommes adultes (15 ans et +)	Femmes adultes 15 ans et +)	Enfants et ado (de 10 à 15 ans)	Enfants (de moins 10 ans)	Total
Quel est le nombre d'actifs familiaux travaillant sur l'exploitation à plein temps (y compris le CE)					
Quel est le nombre d'actifs familiaux travaillant sur l'exploitation à temps partiel ?					

2.2. L'EA fait-elle régulièrement recours à de la Main d'œuvre extérieure pour les activités agricoles ou d'élevage : I I (0=Non, 1=Oui) Si Non expliquez pourquoi :

Types de M.O (1)	Nombre de personnes embauchées	Provenance des travailleurs (2)	Nbre de jour ou de mois moyen en 2013	Prix ou Salaire moyen en Fcfa	Montant total payé en Fcfa en 2013	Mode de paiement (3)	Log et nourriture 0=Non 1=Oui	Affectation principale (5)

(1)Types M.O : 1=main d'œuvre payée à la tâche ;2= main d'œuvre payée à la journée ;3= main d'œuvre embauchée pour la saison de culture ou de l'activité ; 4 :main d'œuvre embauchée pour toute l'année ;5= Entraide avec d'autres exploitations **(2) Provenance des travailleurs :** 1 Village, 2 : Villages voisins, 3 Région, 4 Autres régions du Mali, 5. Pays voisins **(3) Modes de paiement :** 1 En espèces, 2. En nature, 3. En nature et en espèces, 4. Autres **(5)Affectation principale :** Activités ou cultures principales auxquelles sont affectés les travailleurs.

2.3. Des membres de l'exploitation ont-ils migré vers d'autres pays, régions ou villes, au cours des 3 dernières années ? (0=Non, 1: Oui)

2.3.1. Si oui, quel est en moyenne le nombre de personnes parties :...../Si migration longue durée nombre de personnes...../Si migration courte durée(exode) nombre de personnes :.....

2.3.2. Si Oui, vers quels cercle / ville / pays :

Destination de la migration à coder de la manière suivante : 1=Même Commune, 2=Autres villes ou villages dans le Cercle, 3=Autres villes ou villages dans la Région (sauf la capitale régionale), 4=Capitale régionale, 5=Dans d'autres région, 6=Bamako, 7=Autres pays d'Afrique, 8=En Europe, 9=Etats-Unis ou autres pays, 10= Inconnu (ne sait pas) ;

2.3.3. Raison du départ :...../...../ **Motif du départ** : 1=Pas assez de nourriture pour toute la famille en saison sèche, 2=Pour chercher de l'argent, 3=Pour aller travailler dans la famille ou chez des alliés qui n'ont pas assez de main d'œuvre, 4 =Migration traditionnelle des jeunes, 5=Autre précisez ;

2.3.4. Ces personnes parties envoient-ils de l'argent :..... (0=Non, 1: Oui).

2.3.5. Si oui, quel est en moyenne le montant envoyé par an en FCFA pour l'ensemble des migrants :.....FCFA/an.

3. Matériels, équipements et biens durables

3.1. L'exploitation dispose-t-elle de matériels, équipements et biens durables :.....(0=non, 1=oui)

Matériel	Traction	Nombre	Matériel motorisé	Nombre	Véhicules et autres	Nombre
Charrues			Tracteurs		Camions	
Semoirs			Motoculteurs		Voitures	
Herses			Charrues		Motos/mobylettes	
Multiculteurs			Semoirs		Vélos	
Sarcleuses			Herses		Motopompe	
Butteurs			Remorques		Pompes manuelles	
Charrettes asines			Batteuses à moteur		Groupe électrogène	
Charrettes bovines			Moulins		Plaques solaires	
Autres	1		Décortiqueuses		Batteries	
Autres	2		Presses		Bascules	
Matériel d'épandage		Nombre	Autres	1	Télévision	
Pulvérisateur à piles ou manuel			Autres	2	Téléphone	
Atomiseur					Radio	
Autres					Terrain d'habitation	
Autres					Maison	
Autres					Autres	1
Autres					Autres	2

3.2. Louez-vous ou empruntez-vous du matériel pour vos travaux champêtres ? :
.....(0=Non, 1: Oui).

Si oui, quels types de matériels ? :.....(Bœuf de labour=99 ; attelage travail du sol=98 ; attelage de transport (1charrette+1âne ou 1cheval) :97 ; 96= tracteur ; autres matériels et équipements:95).

Si oui ; durée en jour..... et Montant total payé.....Fcfa.

3.3. L'exploitation a-t-il donné en location du matériel ou effectué des prestations avec du matériel à dans une autre exploitation ? :... ..(0=Non, 1: Oui).

Si oui, quels types de matériels ? : (Bœuf de labour=99 ; attelage travail du sol=98 ; attelage de transport (1charrette+lâne ou 1chêval) :97 ; 96= tracteur ; autres matériels et équipements:96).

Si oui ; durée en jour et Montant total payé Fcfa.

Cheptels et pratiques d'élevage

4.1. Composition des cheptels de l'exploitation (pour le CE et les autres membres)

CHEPTEL BOVIN	NOMBRE	AUTRES CHEPTELS	NOMBRE
Bœufs de labour		Ovins	
Taureaux (mâles + 4 ans)		Caprins	
Vaches(femelles + 4 ans)		Ânes	
Taurillons		Chevaux	
Génisses		Porcs	
Veaux		Volailles (<i>estim</i>)	

4.2. Quelle est l'objectif de l'exploitation pour l'élevage des bovins ?

1 =Revenu ; 2=Thésaurisation ;3= fumure organique ;4=traction ;5=production de lait et 6=autres à préciser

4.3. Nombre de propriétaire de bovins dans l'exploitation :

4.4. Prenez-vous des animaux en confiage ? (0=Non, 1: Oui). Nombre en 2013 :

.....

4.5. Donnez-vous des animaux en confiage ? (0=Non, 1: Oui). Nombre en 2013 :

.....

4.6. Pratiquez-vous ?

4.6.1. Embouche Bovine ? : I ___ I (0=Non, 1: Oui) Si oui : Nombre de Bovins engraisés et vendu en 2013 I ___ I

4.6.2. Embouche Ovine ? : I ___ I (0=Non, 1: Oui) Si oui : Nombre de Ovins engraisés et vendus en 2013 I ___ I

4.6.3. Production intensive de volailles (pondeuses, poulets) ? : I ___ I (0=Non, 1: Oui) Si oui : Nombre de volailles vendues en 2013 : I ___ I et nombre moyen d'œufs vendus : par an : I ___ I

4.7. L'exploitation vend-t-il du lait : (0=Non, 1: Oui) ;Si oui, quantité totale produite en 2013: (en litre) Dont quantité vendue Litres ; Prix unitaire de vente Fcfa.

4.8. L'exploitation pratique t-elle de la transhumance : (0=Non, 1: Oui)

4.8.1. Si oui, depuis quand Et pourquoi? :

.....

4.8.2. Si oui, mois de départmois/année ; Mois de retour
 mois/année.

4.8.3. Si oui, quelle était la destination ? (Cercles/régions/pays)

4.8.4. Si oui, combien de bovins sont partis?

Catégories	Bœufs de labour	Taureaux	Vaches	Taurillons	Génisses	Veaux
Nombre						

4.9. Alimentation Cheptel

4.9.1. Stockez-vous des fourrages pour alimenter vos bovins ?

Type de fourrages stockés	Quantité stockée en unité locale	Quantité achetée en unité locale	Type de fourrages stockés	Quantité stockée en unité locale	Quantité achetée en unité locale
Fanes de niébé			Pailles de mil		
Fanes d'arachides			Pailles de riz		
Fanes de pommes de terre			Pailles de brousse		
Autres fanes			Autres 1		
Pailles de maïs			Autres 2		
Pailles de sorgho			Autres 3		

4.9.2. L'EA achète des intrants pour l'élevage? (0=Non, 1: Oui)

Cod	Intrants	Unités	Quantité	PU	Montant total	Observations
1	Vaccination					
2	Autres Produits vétérinaires					
3	Tourteaux					
4	Sels					
5	Bloc pierre à lécher					
6	Graine de coton					
7	Son					
8	Gardiennage/berger					

9	Poussins					
19	Autres aliments (précisez)*.....					
99	Autre (précisez)					

4.10. Entrées et Sorties d'animaux en 2013.

Espèces	Entrées						Sorties						
	Achat		Reçu en don	Naissances		Autres à préciser		Vente		Mortalité et perte	Autocon- - sommation	dons	Au pré
	Nbre	Prix	Nbre	Nbre	Nbre	Prix	Nbre	Prix	Nbre	Nbre	Nbre	Nbre	
bovins													
Ovins													
caprins													
ânes													
chevaux													
porc													
volailles													
autres													

Production de fumure organique

5.1. Produisez-vous de la fumure organique ?(0=Non, 1: Oui). Si Non pourquoi :

.....

.....

.....

5.2. Si oui, comment ?

MODE DE PRODUCTION	NOMBRE*
Tas déchets domestiques	
Fosse déchets domestique	
Parc avec litière	
Parc à poudrette	
Fosse fumièrè	
Fosse compostièrè	
Tas de compost	
Autre1.....	
Autre2.....	
Autre3.....	

* Si non mettre 0

Foncier de l'EA

Inventaire du foncier pour l'année 2013 (CS2013 + Hiv2013) y compris location emprunt, métayage : Attention superficie cultivée2013 +prêtée+friche+jachère = Superficie totale.

N°	Statut	Type	Type	Nom du champ	Localisation du	Acquisition		Superficie estimée en ha					Age
						Mode (4)**	Date (5)	Totale ha	Cultivée 2013	Prêtée hors EA	En friche	En Jachère	
01													
02													
03													
04													
05													
06													

(friche = wa ou dakoura, Jachère = fofo ou mayan)

(1) Statut Champ : 1:Champ commun, 2:Champ individuel Homme, 3:Champ individuel Femme, 4: Autre précisez. **(2)** Type de champ : 1 : Champ de case, 2 : Champ de brousse (en pluvial), 3 : Champ de bas-fonds, 4 : Champ irrigué sur petit périmètre, 5 : Champ en décrue, 6 : Verger, 7 : Bois (plantation forestière), 8 : Jachère, 10 : Autre précisez

(3) Type de tenure 1: Champ de l'EA en propriété, 2 : Parcelle RECUE en location ou métayage, 3 parcelle RECUE en prêt gratuit; 4: Parcelle DONNEE en location ou métayage 5 : parcelle DONNEE en prêt gratuit; 6 : Autre précisez

(4)** Mode d'acquisition : 1.Héritage, 2.Achat 3. Défrichage, 4. Prêtée par propriétaire, 5.Autre (préciser) **(5)** Date acquisition : noter l'année

6.2.Aménagement et lutte antiérosive :Avez vous réalisé des aménagements , plantations ou gros travaux d'entretien en 2013 : (0=Non, 1: Oui).

Num	Type	Quantité	Unités	Quantité travail (H/Jours)		Montant FCFA	Observations
				familial	extérieur		
ordre	Aménagement (1)					Total dépensé	
1 I I						
2 I I						

(1) : Aménagements : 1.Aménagement de parcelle sur petit périmètre irrigué (précisez), 2.Aménagement de parcelles en bas fonds, 3. Cordon anti-érosifs ou diguettes en courbe de niveau, 4. Réalisation de haie vive, 5.Plantation d'arbres fruitiers (vergers), 6. Plantation de bois, 7. Plantation d'arbres fourragers 8.Autre ... précisez.

6.3. SUPERFICIES CULTIVEES PAR CULTURE EN 2012 ET 2013

CODE	TYPE	SURFACE HA EN 2012	SURFACE HA EN 2013	PRODUCTION POUR 2013			
				Quantité	unités	conversion	Total KG
	<u>CULTURES PURES</u>						
01	Mais						
02	Sorgho						
03	Mil						
41	Riz bas-fonds						
42	Riz pluvial						
05	Fonio						
06	Coton						
07	Dah						
08	Sésame						
09	Arachide						
10	Niébé						
11	Wandzou/Pois de terre						
12	Soja						
13	Manioc						
14	Igname						
15	Patate						
16	Tarot						
17	Pastèques						
18	Calebasse						
19	Piment						
20	Gombo						
60	Cultures fourragères						
	Autres 1						
	Autres 2						
	<u>CULTURES ASSOCIEES</u>						
51	Mais - Niébé						
52	Sorgho - Niébé						
53	Mais – Sorgho						

54	Arachide Wandzou	-					
	Autres	1					
	Autres	2					
	<u>Cultures de contre saison</u>						
01	Maïs						
19	Piment						
20	Gombo						
30	Aubergine Goyo						
35	Aubergine						
31	Pomme de terre						
32	Tomate						
33	Oignon/échalote						
34	Maraîchages divers						
	Autres						

	Intrants	Quantité et valeur d'achat			
		Unités (*)	Quantités	Prix U	Valeur totale
1	Complexe coton				
2	Complexe céréale ou Sugubé sugubé				
3	Urée				
4	DAP				
5	Autres engrais				
6	Insecticides				
7	Fongicides				
8	Herbicides 1				
9	Herbicides 2				
10	Autres pesticides				
11	Semences 1 ... ;				
12	Semences 2 ... ;				
13	Semences 3 ... ;				
14	Achat fumure organique				
15	Sacs				

16	Petit matériel et outillage				
17	Piles pour pulvérisateur				
18	Main d'œuvre saisonnière				
19	Main d'œuvre Arrachage Repiquage				
20	Main d'œuvre sarclage				
21	Main d'œuvre récolte				
22	Autre main d'œuvre				
23	Prestation labour				
24	Prestation battage.....				
25	Transport				
26	Autres prestations ...				

8. Cultures pérennes et plantations : prendre uniquement les plantations ou vergers

Type de cultures ou plantations	Année de plantation	Surface en ha	Production (1)	Pour 2013 Quantité vendue EN KG	Montant total vente	Observations
Manguiers						
Agrumes (Orangers/Citronniers/Citrus et autres)						
Anacardier						
Papayers						
Pomme cannelle (toubabou sun sun)						
Bananiers						
Eucalyptus						
Jatropha...						
Autres 1						
Autres 2						

(1) Est ce que la production a été bonne cette année codez : 1.bon 2.normal 3.mauvais (3) Si mauvais, pourquoi ? 1. conditions climatiques 2.approvisionnements en intrants 3. Maîtrise d'eau 4.attaque de prédateurs 5.attaques phytosanitaires 6.autres

10. Utilisation production agricole de l'exploitation année 2013 (Hiv 2013+CS2014)

Cu ltu re	Quantité totale Récoltée Kg (*)	Utilisation de la production en quantité (kg)							
		Charge en Nature	Dons y compris zakat	Gardée semence	Autocon s ommée	Vendue		Stockée	
						kg	Prix unitair e (Fcfa)		Montan t total Fcfa

(*) Quantité totale récoltée : attention c'est y inclus les prélèvements avant récolte riz, maïs en vert, etc.

11. CONSOMMATION ALIMENTAIRE

11a. Quantité de céréales cuisinées quotidiennement

	En saison sèche	En période des cultures
Quelle sont les céréales les plus consommées ?		
Quelle quantité de la céréale principale donnez-vous quotidiennement pour faire la cuisine ?	Nom : Quantité en Kg/jr	Nom : Quantité en Kg/jr
Combien de personnes mangent quotidiennement en moyenne ?		
Combien de repas par jour ?		

11b. Votre production céréalière couvre-t-elle les besoins annuels 1=Toujours (tous les ans), 2=presque tout le temps sauf les très mauvaise années 3=Uniquement si l'année est bonne, 4=Jamais.

11c. Vous arrive t-il de vendre des céréales à la récolte puis d'en acheter à la soudure car greniers vides : 0=Non, 1=Oui

11d. Pour les 3 dernières années, quels est le nombre de mois Soudure que vous avez enduré (attention la soudure démarre dès que le ménage commence à « gérer » l'insuffisance) si autosuffisance noter 0. (15 jours = 0,5 mois)

Année	Nombre de mois soudure	Donnez les raisons puis codez *
2011	I <input type="text"/> I	I__I I__I
2012	I <input type="text"/> I	I__I I__I
2013	I <input type="text"/> I	I__I I__I

* Raisons qui expliquent la soudure (plusieurs codes possibles : Codes : 0.pas de soudure, 1. Sécheresse, 2.Attaque de nuisibles, 3.Manque de terre, 4.Manque ou insuffisance d'aménagement hydro agricole, 5.Excès de pluie, 6.Insuffisance de la main d'œuvre familiale, 7.Insuffisance d'équipement, 8.Pas assez d'intrants 9.Autres (à préciser)

Activités agricoles et non agricoles, et autres sources de revenu de l'exploitation et de ses membres

ACTIVITES QUI PROCURENT UN REVENU	0 = NON 1 = OUI	GAIN REÇU EN 2013
Main d'œuvre agricole dans d'autres exploitations (hors groupe de travail)		
Location ou prestation de service avec les boeufs de labours		
Prestations de service autres (battage, décorticage, moulin, etc.)		
Ramassage et vente de bois ou charbon		
Cueillette et transformation (karité, néré ou autre « surtout pour les femmes »)		
Activité de pêche ou de chasse		
Activités artisanat : préciser		
Activités commerciales : préciser		
Activités de transport : préciser		
Salaires		
Retraites/Pensions		
Rémunérations diverses précisez :		
Vente d'équipements agricoles ou biens durables		
Autres 1		
Autres 2		
Autres 3		
Autres 4		

CREDIT

• **13a)** L'EA a-t-il recours au crédit : (0=Non, 1: Oui) • Si Non pourquoi :

.....

• **13b)** Emprunts réalisés ou en cours pour 2013

N°	Qui a prêté (1)	Type de prêt (2)	Montant emprunté		Taux intérêt	Date	Durée (3)	Montant total à rembourser		Utilisation réelle du prêt (4)
			En espèces (Fcfa)	En nature				En espèces Fcfa	En nature	
01 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>								
02 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>								
03 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>								
04 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>								
05 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>								

(1) **Inscrire nom (notamment pour Banque, Caisse ou Organisme développement) ou le type puis codez ainsi :** 1=Banque, 2=Caisse de crédit mutuel, 3=Organisme de développement 4=Organisation paysanne, 5=Commerçant, 6=Autre exploitation agricole, 7=Famille, 8 : Autre

(2) **type de prêt :** 1 : Crédit de campagne ; 2=Crédit Avance sur Récolte ; 3=Crédit d'équipement, 4=Dépenses sociales ; 5=Autre

(3) En mois ou en année précisez. (4) Précisez l'utilisation réelle du prêt.

• **13c)** Le CE a-t-il des impayés (des dettes qu'il n'a pas remboursé après échéance) : (0=Non, 1: Oui)

Si oui combienen Fcfa

Raison des impayés
codez 1=mauvaise récolte, 2=maladie, 3= perte ou mortalité pour matériel ou animaux, 4=Autre

13d) Epargne

13d1) Avez-vous épargné de l'argent ? 0=Non 1=Oui

13d2) Si oui, sous quelle forme? 1.élevage 2=Or ou bijou, 3 compte banque 4 Compte dans caisse de crédit ; 5.autres (à préciser)

13d3) Montant total épargné en 2013 Fcfa

13d4) Epargnez-vous : 1.chaque semaine 2.chaque mois 3.occasionnellement

13d5) Taux d'intérêt? % par an

13d6) Quels sont vos projets d'utilisation de l'épargne ? :

.....
.....
.....

Observations et notes complémentaires

Annexe 4 : Pluviométrie et température

Tableau 82 : Pluviométrie et température à la station de Koutiala de 1981 à 2016

Station	Année	Pluie	Tmax	Tmin	Tmoy
Koutiala	1981	849,6	34,5	20,7	27,6
Koutiala	1982	849,3	33,7	20,8	27,25
Koutiala	1983	755,4	34,4	20,9	27,65
Koutiala	1984	516,3	34	21,3	27,65
Koutiala	1985	824,5	33,9	21,5	27,7
Koutiala	1986	877,3	33,6	20,9	27,25
Koutiala	1987	704,2	34,9	21,5	28,2
Koutiala	1988	901,5	33,9	21,5	27,7
Koutiala	1989	666,9	34	21	27,5
Koutiala	1990	1057,7	34,3	21,4	27,85
Koutiala	1991	861,5	34,3	21,9	28,1
Koutiala	1992	729,1	34,2	21,7	27,95
Koutiala	1993	728,2	34,7	22,4	28,55
Koutiala	1994	1358,4	33,8	21,5	27,65
Koutiala	1995	837,6	34,1	21,4	27,75
Koutiala	1996	779,9	34,6	21,7	28,15
Koutiala	1997	1009,1	34	21,4	27,7
Koutiala	1998	1036,1	34,5	21,6	28,05
Koutiala	1999	864,3	33,7	21,3	27,5
Koutiala	2000	738,3	34,3	21,6	27,95
Koutiala	2001	781,2	34,5	21,5	28
Koutiala	2002	636	34,7	22,5	28,6
Koutiala	2003	951,3	34,3	22,4	28,35
Koutiala	2004	689,5	34,8	22,5	28,65
Koutiala	2005	791,9	34,6	22,8	28,7
Koutiala	2006	1064,7	34,3	21,9	28,1
Koutiala	2007	963,4	34,4	22	28,2
Koutiala	2008	719,9	34,2	21,6	27,9
Koutiala	2009	910	34,3	22,3	28,3
Koutiala	2010	1278,9	34,8	22,4	28,6
Koutiala	2011	826,2	35,1	21,9	28,5
Koutiala	2012	1038,7	34,1	22	28,05
Koutiala	2013	651,5	35,3	21,8	28,55
Koutiala	2014	1017,8	34,9	22,3	28,6
Koutiala	2015	1131,1	34,9	22,2	28,55
Koutiala	2016	826,3	35,2	22,5	28,85

Source : MALI METEO 2016

Tableau 83 : Pluviométrie et température à la station de Bougouni de 1981 à 2016

Station	Année	Pluie	Tmax	Tmin	Tmoy
Bougouni	1981	1181,9	33,8	21,1	27,45
Bougouni	1982	1189,3	32,9	20,8	26,85
Bougouni	1983	986,7	34	21,2	27,6
Bougouni	1984	848	33,4	21,2	27,3
Bougouni	1985	975,9	33,7	21,4	27,55
Bougouni	1986	1138	33,3	20,7	27
Bougouni	1987	925,1	34,8	21,7	28,25
Bougouni	1988	951,4	33,7	21,3	27,5
Bougouni	1989	1357,1	33,7	20,9	27,3
Bougouni	1990	1240,9	33,7	21,1	27,4
Bougouni	1991	1355,1	34,2	21,3	27,75
Bougouni	1992	1208,5	34	20,7	27,35
Bougouni	1993	1012,3	34,4	21,2	27,8
Bougouni	1994	1348,5	33,8	20,9	27,35
Bougouni	1995	1119,8	34,1	21,2	27,65
Bougouni	1996	1050,6	34,8	21,1	27,95
Bougouni	1997	1073,3	34,4	21,1	27,75
Bougouni	1998	1114,2	35,2	21,5	28,35
Bougouni	1999	1437,5	33,9	20,8	27,35
Bougouni	2000	1240,5	34,3	20,7	27,5
Bougouni	2001	1055	35,1	21	28,05
Bougouni	2002	871,3	35,2	21,4	28,3
Bougouni	2003	1249,1	35	21,6	28,3
Bougouni	2004	946,7	35,1	21,6	28,35
Bougouni	2005	1228,3	35,2	22,1	28,65
Bougouni	2006	965,8	35,1	21,2	28,15
Bougouni	2007	1290,5	35,1	21,4	28,25
Bougouni	2008	1362,9	34,6	21	27,8
Bougouni	2009	861	34,4	21,9	28,15
Bougouni	2010	1357,8	34,8	22,3	28,55
Bougouni	2011	1034,3	34,6	21,6	28,1
Bougouni	2012	1295,5	34	21,5	27,75
Bougouni	2013	1210,4	35,3	21,7	28,5
Bougouni	2014	1128,5	35,1	21,7	28,4
Bougouni	2015	1247	35	21,6	28,3
Bougouni	2016	1031,8	35,4	22	28,7

Source : MALI METEO 2016

Tableau 84 : Pluviométrie et température à la station de Sikasso de 1981 à 2016

Station	Année	Pluie	Tmax	Tmin	Tmoy
Sikasso	1981	1220,7	34,3	20,3	27,3
Sikasso	1982	1045,5	33,5	20,2	26,85
Sikasso	1983	754,7	34,5	20,7	27,6
Sikasso	1984	917,5	33,9	20,6	27,25
Sikasso	1985	1042,2	33,6	20,7	27,15
Sikasso	1986	1125,5	33,6	20,1	26,85
Sikasso	1987	957,6	34,4	21,2	27,8
Sikasso	1988	985,5	33,2	21,6	27,4
Sikasso	1989	975	33,2	21,2	27,2
Sikasso	1990	980	33,6	21,7	27,65
Sikasso	1991	1371,9	33	21,8	27,4
Sikasso	1992	1381,7	32,9	21,3	27,1
Sikasso	1993	1148,5	33,2	21,7	27,45
Sikasso	1994	1268,9	32,7	21,2	26,95
Sikasso	1995	1014,1	33,1	21,3	27,2
Sikasso	1996	882,3	33,9	21,7	27,8
Sikasso	1997	1103,3	33,3	21,6	27,45
Sikasso	1998	1422,8	33,9	22	27,95
Sikasso	1999	1122,7	33	21,4	27,2
Sikasso	2000	1092,2	33,3	21,2	27,25
Sikasso	2001	1106,1	33,7	21,4	27,55
Sikasso	2002	847,8	33,9	21,9	27,9
Sikasso	2003	1241,7	33,8	21,9	27,85
Sikasso	2004	1299,2	33,8	21,8	27,8
Sikasso	2005	1078,2	33,7	22,2	27,95
Sikasso	2006	1143,1	33,6	21,5	27,55
Sikasso	2007	1361,4	33,6	21,6	27,6
Sikasso	2008	946,9	33,7	21,2	27,45
Sikasso	2009	1178,2	33,8	22	27,9
Sikasso	2010	1259,8	34,1	22	28,05
Sikasso	2011	1179,3	34,2	21,7	27,95
Sikasso	2012	1273,4	33,3	21,7	27,5
Sikasso	2013	1262,7	34,1	21,9	28
Sikasso	2014	1396	34,2	22,2	28,2
Sikasso	2015	1021,9	34,2	22,1	28,15
Sikasso	2016	1552,8	34,2	22,3	28,25

Source : MALI METEO 2016

Tableau 85 : Pluviométrie à la station de Sikasso de 1981 à 2014

Station	Année	Pluie
Yanfolila	1981	1217,2
Yanfolila	1982	1265,4
Yanfolila	1983	879,9
Yanfolila	1984	939,9
Yanfolila	1985	797,7
Yanfolila	1986	1004,2
Yanfolila	1987	788,6
Yanfolila	1988	853,2
Yanfolila	1990	1294,9
Yanfolila	1991	1139
Yanfolila	1992	972,6
Yanfolila	1993	823,1
Yanfolila	1994	1100,6
Yanfolila	1995	1276,9
Yanfolila	1996	953,2
Yanfolila	1997	1219,1
Yanfolila	1998	1237,2
Yanfolila	1999	1295,9
Yanfolila	2000	1310,3
Yanfolila	2001	1101,6
Yanfolila	2002	919,2
Yanfolila	2013	1069
Yanfolila	2014	1200

Source : MALI METEO 2016

Tableau 86 : Estimation de la Pluviométrie dans les stations de San, Kita et Ségou

Année	Station de San	Station de Kita	Station de Ségou
1983	595,90	703,49	235,82
1984	483,18	1092,21	365,46
1985	544,33	659,55	231,22
1986	647,49	841,57	854,09
1987	505,81	786,74	498,83
1988	559,67	996,38	638,45
1989	505,50	953,08	261,81
1990	578,14	875,21	453,95
1991	708,02	746,24	554,33
1992	615,02	739,91	554,56
1993	763,55	741,94	459,57
1994	840,58	988,56	739,21
1995	492,85	607,54	525,66
1996	509,48	803,30	433,29
1997	671,85	731,06	574,14
1998	783,10	862,04	501,78
1999	741,77	1053,29	938,54
2000	779,46	825,43	512,95
2001	600,88	810,42	614,98
2002	512,92	866,92	465,29
2003	892,20	911,09	511,06
2004	731,36	647,93	652,26
2005	679,84	725,86	538,27
2006	833,81	736,41	636,47
2007	717,96	853,98	381,37
2008	724,02	959,97	714,23
2009	862,73	1133,15	751,57
2010	744,37	958,74	848,46
2011	626,75	799,32	627,45
2012	950,41	1059,98	820,95
2013	632,11	1093,53	472,70

Annexe 5 : Cartes d'occupation des terres et les statistiques

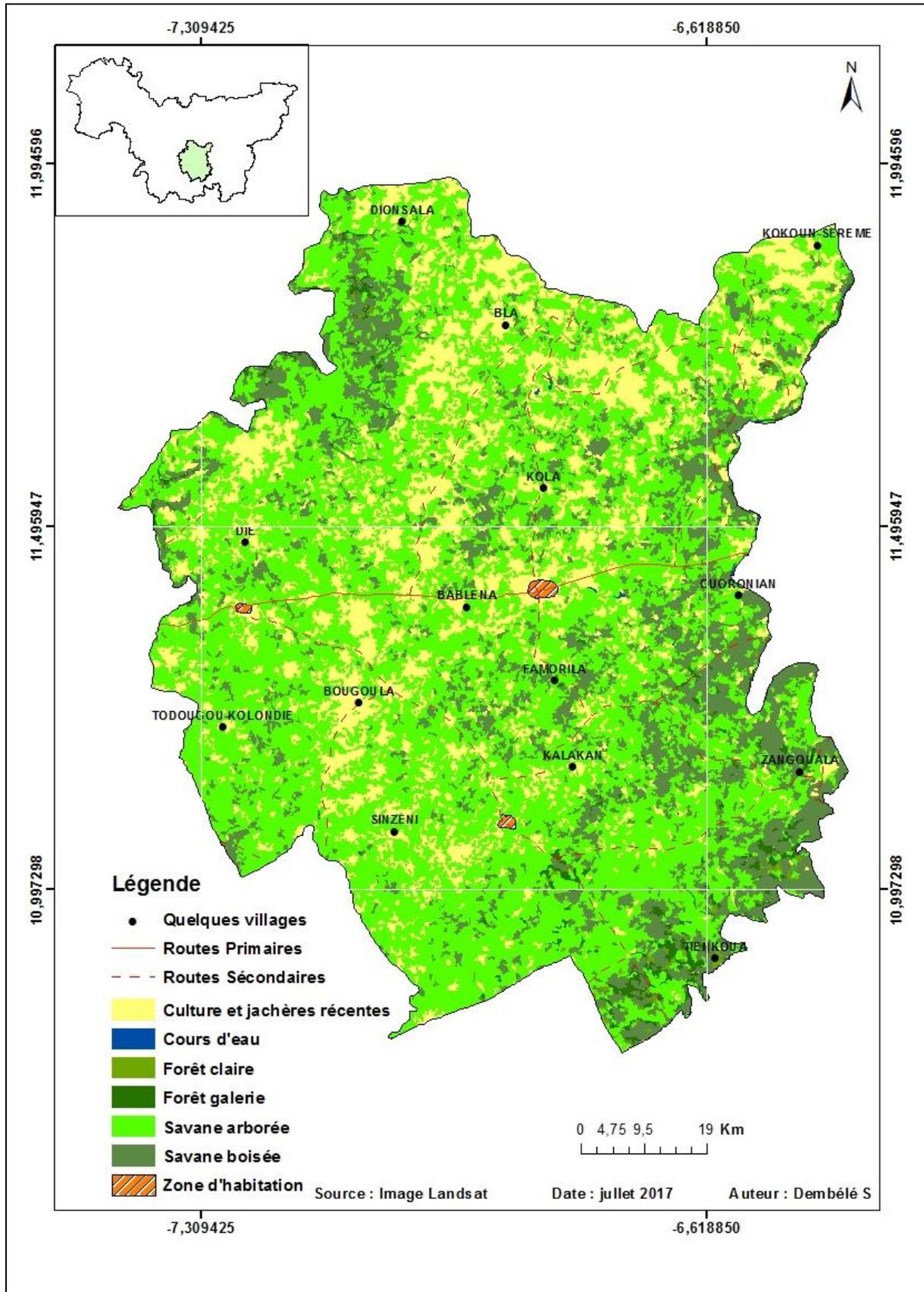


Figure 61 : Zone Benkadi

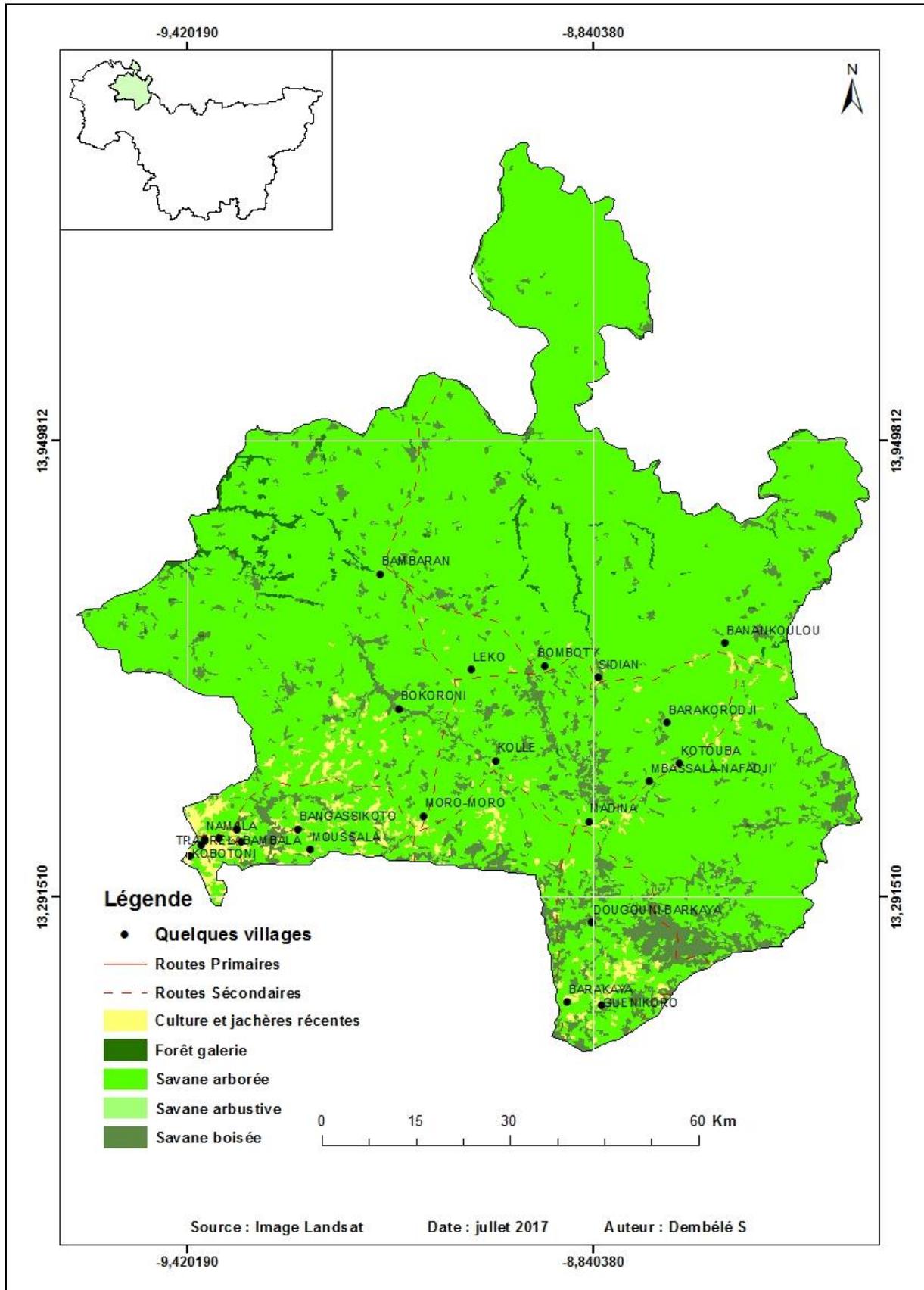


Figure 62 : Zone Kita Nord Est

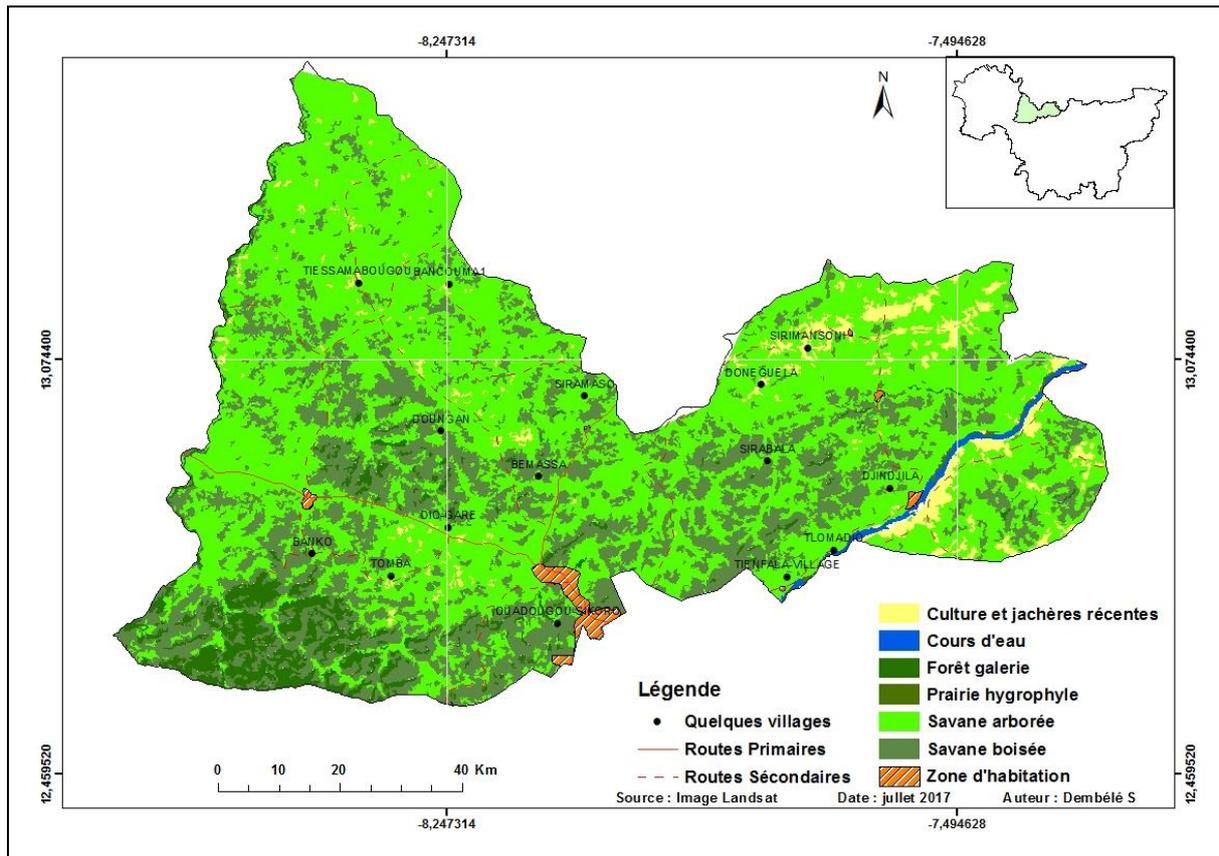


Figure 63 : Zone de Kangaba

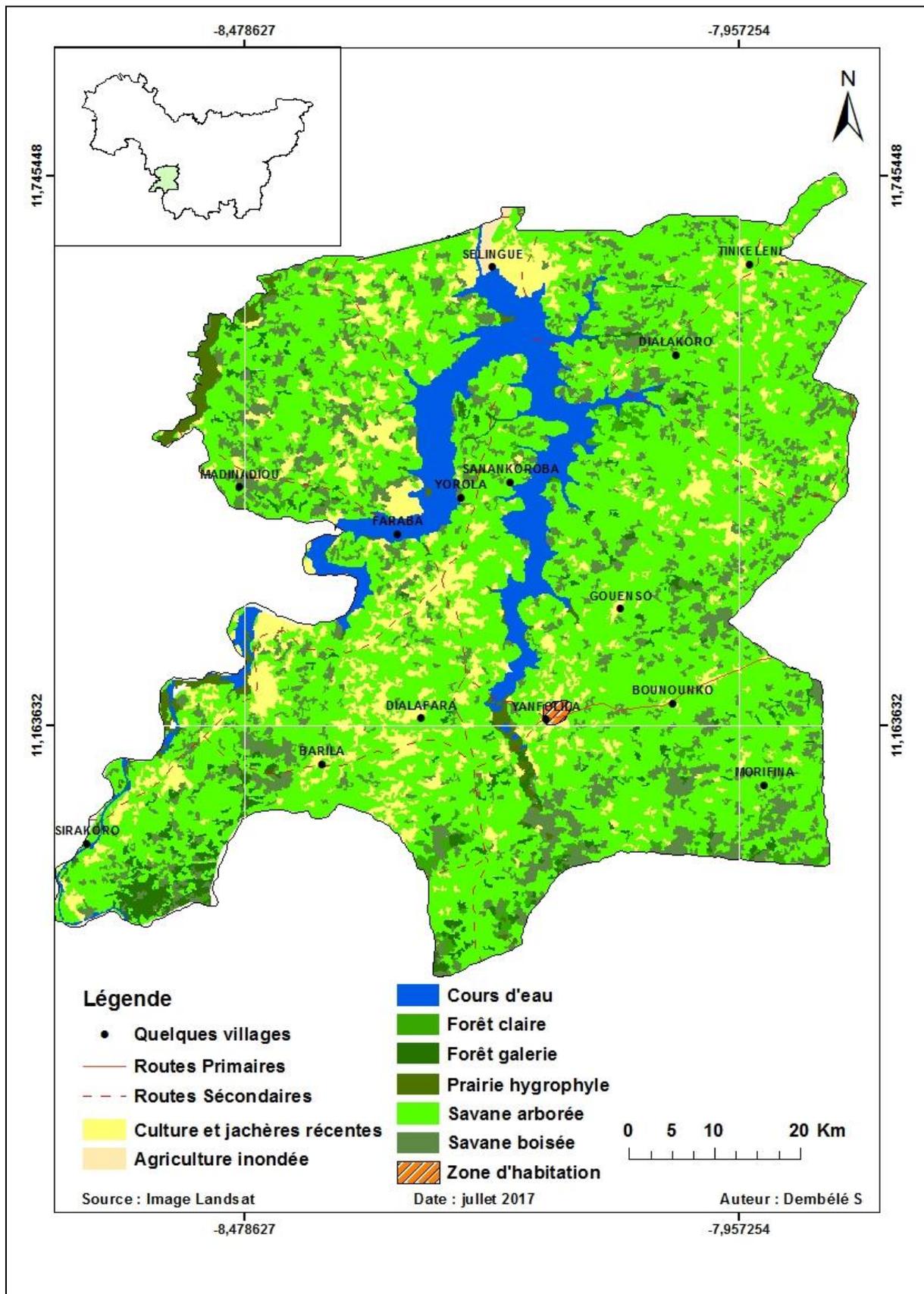


Figure 64 : Zone de Sélingué

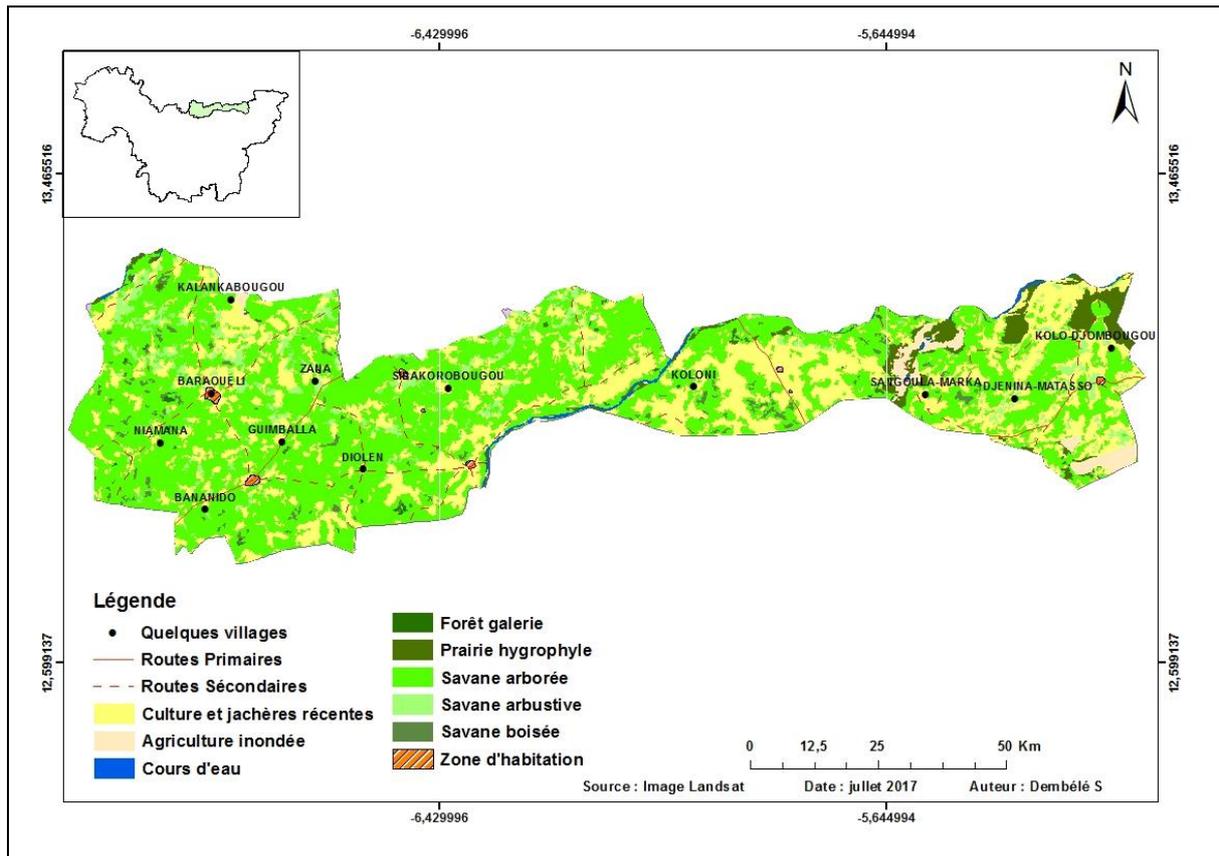


Figure 65 : Zone de Bla-Baraouéli

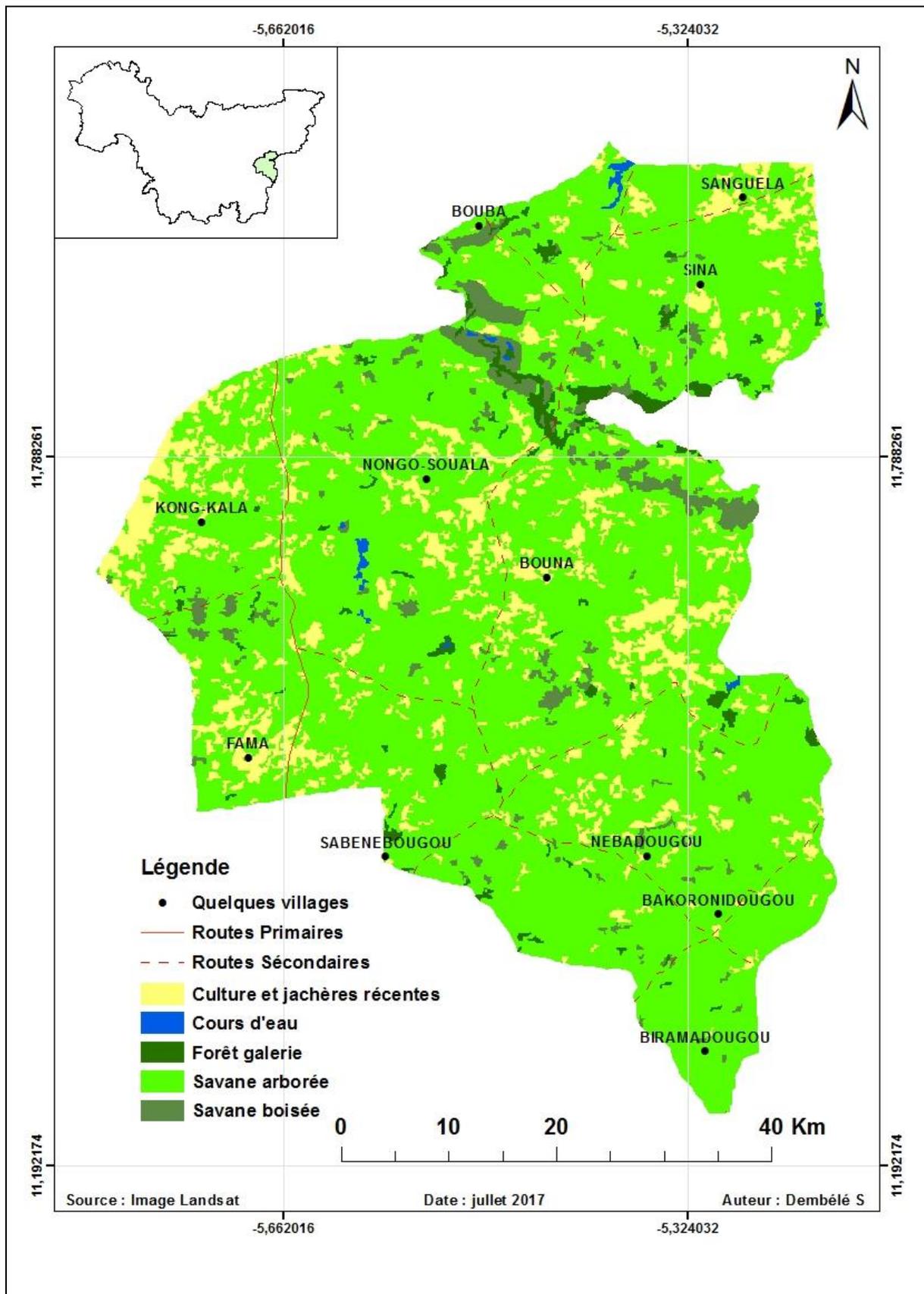


Figure 66 : Zone de Sikasso Est

Tableau 87: Statistique d'occupation du sol de la zone de Kita Nord-Est

Classe d'occupation	Superficie en km²	Pourcentage
Culture et jachères récentes	225,10	2,71
Forêt galerie	107,43	1,29
Savane arborée	748,66	9,02
Savane arbustive	0,14	0,00
Savane boisée	7 219,02	86,97
Total	8 300,34	100,00

Tableau 88 : Statistique d'occupation du sol de la zone de Benkadi

Classe d'occupation	Superficie en km²	Pourcentage
Culture et jachères récentes	2 026	21,61
Cours d'eau	3	0,04
Forêt claire	27	0,29
Forêt galerie	133	1,42
Savane arborée	1 660	17,71
Savane boisée	5 508	58,75
Zone d'habitation	17	0,18
Total	9 376	100

Tableau 89 : Statistique d'occupation du sol de la zone de Sikasso Est

Classe d'occupation	Superficie en km²	Pourcentage
Culture et jachères récentes	477,75	14,02
Cours d'eau	10,37	0,30
Forêt galerie	65,96	1,94
Savane arborée	135,96	3,99
Savane boisée	2717,50	79,75
Total	3407,53	100,00

Tableau 90 : Statistique d'occupation du sol de la zone de Bla-Baraouéli

Classe d'occupation	Superficie en km²	Pourcentage
Culture et jachères récentes	1 861,38	29,89
Agriculture inondée	111,96	1,80
Cours d'eau	40,81	0,66
Forêt galerie	10,32	0,17
Prairie hygrophyle	209,77	3,37
Savane arborée	90,35	1,45
Savane arbustive	336,42	5,40
Savane boisée	3 546,89	56,96
Zone d'habitation	19,40	0,31
Total	6227,31	100,00

Annexe 6 : Caractéristiques des points observations

Tableau 91 : Caractéristiques des points observations à Nafégué

Id	Classe	Longitude	Latitude	Type de sol	Unités de paysages	Toposéquence	Occupation	Végétation dominante (Nom vernaculaire)
1	C5P3	-5,937052	10,489074	Limoneux	Culture irriguée	Plaine	Basfond avec riz	Dioun et wolo
2	C5P4	-5,934716	10,468828	Limoneux	Culture irriguée	Plaine	Basfond avec riz	Dioun et wolo
3	C1P2	-5,995192	10,491020	Gravillonnaire	Savane à parc (Culture sèche)	Versant à pente faible	Coton	Karité, wolo et néré
4	C2P2	-5,973909	10,503219	Gravillonnaire	Savane à parc (Culture sèche)	versant à pente faible	coton	Karité, legué et Néré
5	C2P4	-6,005575	10,443781	Sableux	Savane à parc	Versant à pente faible	Sorgho	Karité, kolokolo, legué et néré
6	C3P2	-5,973520	10,488944	Gravillonnaire	Savane à parc (Culture sèche)	Versant à pente faible	Coton	Néré, Balanzan et signan
7	C5P5	-5,964046	10,474279	Gravillonnaire	Savane à parc (Culture sèche)	Versant à pente faible	Mais	Néré et Karité
8	C5P1	-5,984811	10,513731	Plaine limoneuse	Savane arborée	Plaine (Basfond)	Riz	wolo
9	C1P3	-6,019202	10,466233	Cuirasse	Savane arborée	Plateau à pente élevée	végétation	legué, Shio et kolokolo
10	C2P1	-5,965733	10,512304	Gravillonnaire	Savane arborée	Versant à pente faible	végétation	kolokolo, néré et chio
11	C2P3	-5,945099	10,465843	Gravillonnaire	Savane arborée	Versant à pente faible	végétation	Tabakouba, combretum gazalensé et légué

12	C3P1	-5,957168	10,504906	Gravillonnaire quelques poches cuirasse	Savane arborée	Versant à pente faible	végétation	Tabakounba, Kolokolo et sana
13	C3P4	-6,031920	10,491799	Gravillonnaire	Savane arborée	Versant à pente faible	végétation	Galama, Karité et néré
14	C4P1	-5,979749	10,511266	Gravillonnaire à affleurement rocheux	Savane arborée	Versant à pente faible	végétation	Karité, sana et niaman
15	C4P2	-5,990780	10,499326	cuirasse	Savane arborée	Versant à pente faible	paturage	Chio, sana et kolokolo
16	C4P3	-6,003499	10,502700	cuirasse	Savane arborée	Plateau à pente élevée	paturage	Chio, karité et legué
17	C5P2	-5,941725	10,505036	Limoneux	Savane arborée	Versant à pente faible	végétation	Wolo, niaman et guélé
18	C4P4	-5,991040	10,466622	Sablo- limoneux	Savane boisée à arborée	Terrain plat	végétation	Shio, kolokolo et légué
19	C1P1	-5,964176	10,491799	Limono- sableux	Savane boisée à arborée	Versant à pente faible	paturage	wolo, niaman et combretum gazalensé
20	C1P4	-5,975856	10,450011	Sablo- limoneux	Savane boisée à arborée	Plaine	végétation	Dioun, wolo, légue et combretum glutinosum
21	C3P3	-5,989483	10,481806	Gravillonnaire	Savane boisée à arborée	Versant à pente faible	Paturage	Légué, kolokolo et Tabakouba

Tableau 92 : Caractéristiques des points observations à Ziguéna

Id	Classe	Longitude	Latitude	Unités de paysages	Type de sol	Toposéquence	Occupation	Végétation dominante
1	ZC4P3	-5,906635	11,623075	Bowal arboré	Cuirasse	Glacis	Bowal	Pékou
2	ZC5P3	-5,906158	11,687129	Bowal nu	Cuirassé	Glacis		
3	ZC2P2	-5,879897	11,665501	Galerie		Mare	eau	dioun
4	ZC2P3	-5,877707	11,670917	Galerie		Mare	eau	dioun
5	ZC3P3	-5,916489	11,609883	Hors du terroir				
6	ZC6P3	-5,925390	11,610201	Hors du terroir				
7	ZC5P2	-5,895191	11,652003	Plaine	Argileux (hydromorphe)	Plaine	Culture du riz	Karité, Néré, wolo et sana
8	ZC1P3	-5,910565	11,665280	Plaine arborée	Argileux (hydromorphe)	Plaine	Riz	Sana
9	ZC2P1	-5,894385	11,660353	Plaine arborée	Argileux (hydromorphe)	Plaine	Riz	Sana
10	ZC1P2	-5,874210	11,682996	Savane arborée	Cuirassé	Glacis		sana, sounsoun,néré et karité
11	ZC3P1	-5,882634	11,656930	Savane arborée	Limoneux	Glacis	jachère récente	Karité et néré
12	ZC3P2	-5,876594	11,621009	Savane arborée	Sablo_limoneux	Glacis		Néré, Karité et Niaman
13	ZC4P1	-5,895667	11,677115	Savane arborée	Plateau cuirassé	Plateau		Néré et pekou
14	ZC4P2	-5,855137	11,638016	Savane arborée	Plateau cuirassé	Plateau		Néré, guélé et pekou
15	ZC6P1	-5,885813	11,669486	Savane arborée	Cuirasse	Glacis		Boumbou, sana
16	ZC1P1	-5,887720	11,690467	Savane arborée	Cuirassé	Glacis		sana, sounsoun,néré et karité

17	ZC6P2	-5,882157	11,650731	Savane parc	Limoneux	Glacis	Coton	Karité et néré
18	ZC5P1	-5,881363	11,679341	Savane parc	Limono-argileux	Glacis	Sorgho	Karité et wolo

Tableau 93 : Caractéristiques des points observations à Bengué

Id	Longitude	Latitude	Classe	Unités de paysages	Type de sol	Toposéquence	Occupation	Végétation
1	-5,885550	12,789142	BC4P3	non décrit				
2	-5,863038	12,814327	BC1P2	Savane parc	Limono-sableux	Basfond	Calebasse	Dioun, wolo et sira
3	-5,846962	12,811435	BC3P1	Savane parc	Limono-sableux	Glacis	Coton	Néré, signan et guélé
4	-5,874915	12,823145	BC3P2	Savane parc	Limono-sableux	Glacis	Sorgho	Karité, sira
5	-5,874119	12,816001	BC4P2	Savane parc	Limono-sableux	Glacis	Coton/mil	karité, néré et wolo
6	-5,866492	12,821020	BC5P1	Savane parc	Limono-sableux	Glacis	Mil/Coton	Karité, néré et sira
7	-5,876455	12,801760	BC5P2	Savane parc	Limono-sableux	Glacis	Coton/mil	Karité
8	-5,855588	12,820890	BC6P1	Savane parc	Limono-sableux	Glacis	Sorgho	Karité
9	-5,862149	12,806796	BC6P2	Savane parc	Limono-sableux	Glacis	Mil	Karité et pekou
10	-5,873772	12,788327	BC6P3	Savane parc	Limono-sableux	Glacis	mil/coton/calebasse	Karité, sira
11	-5,850131	12,785732	BC5P3	Savane arboré	Limono-	Glacis	pâturage	Néré, pekou

					sableux			
12	-5,854357	12,817212	BC1P1	Savane arbustive	Gravillonnaire	Glacis	pâturage	Gonlobè, Guédiè
13	-5,887311	12,805745	BC1P3	Savane arbustive	Gravillonnaire	Glacis	pâturage	Gonlobè et combretum gazal
14	-5,841667	12,786980	BC2P2	Savane arbustive	Gravillonnaire	Glacis	pâturage	Gonlobèet pekou
15	-5,833483	12,805199	BC2P3	Savane arbustive	Gravillonnaire	Glacis	pâturage	Gonlobèet pekou
16	-5,896299	12,801802	BC3P3	Savane arbustive	Gravillonnaire	Glacis	pâturage	Gonlobè, pekou, gouna et taba
17	-5,835206	12,816692	BC4P1	Savane arbustive	Gravillonnaire	Glacis	pâturage	Gonlobèet guendè
18	-5,864198	12,784068	BC2P1	Savane arbustive	Gravillonnaire	Glacis	pâturage	Pekou, néré et signan
19	-5,853113	12,814497	BC7P1	Village	Gravillonnaire	Glacis	pâturage	Ecalptus

Tableau 94 : Caractéristiques des points observations à Katabantankoto

ID	Classe	Longitude	Latitude	Végétation dominante (Nom vernaculaire)	Unités de paysages	Type des sols	Toposéquence
1	T9	-9,899365	12,876653	Niaman, wolo, toro et Bandji	Galerie	Hydromorphe profond	Dépression à pente faible
2	T3	-9,867259	12,907241	Si, wolo	Jachère récente	Sablo-limoneux	Glacis à pente faible
3	T2	-9,861885	12,910159	Si, wolo, Dougoura et néré	Jachère récente de 2 ans	Sablo-limoneux	Glacis à pente faible
4	T14	-9,862161	12,902794	Tomono, wolo, tiangra, Bambou	Plateau gréseux (Pâturage, un flanc à végétation dense)	Bloc de Grès	Plateau
5	T8	-9,893833	12,901817		Plateau gréseux avec une végétation dense	Bloc de Grès	Plateau
6	T13	-9,902944	12,907458		Plateau gréseux avec une végétation dense	Bloc de Grès	Plateau
7	T15	-9,887434	12,926005		Plateau gréseux avec une végétation dense	Bloc de Grès	Plateau
8	T4	-9,864439	12,931645	Wolo, Boumbou	Savane arborée	Sablo-limoneux	Glacis à pente faible
9	T5	-9,877238	12,913315	Tiangra, Guélé, Si, wolo	Savane arborée à boisée (Pâturage)	Limono-sableux	Glacis à pente faible
10	T11	-9,895677	12,887175	Wolo et si	Savane parc	Sablo-limoneux	Dépression à pente faible
11	T6	-9,887000	12,909735	Sio,Guénou, Dougoura	Savane parc (Arachide)	Limono-sableux	Glacis à pente faible
12	T10	-9,910754	12,870471	Guénou, wolo et sana	Savane parc (Arachide)	Gravillonnaire	Glacis à pente faible
13	T7	-9,879950	12,896828	Si	Savane parc (mil)	Sablo-limoneux	Glacis à pente faible
14	T12	-9,885807	12,886307	wolo	Savane parc (Sorgho)	Gravillonnaire	Glacis à pente faible
15	T1	-9,865159	12,912377	Wolo, toro et si	Savane parc (Sésame)	Sablo-limoneux	Glacis à pente faible

Tableau 95 : **Caractéristiques des points observations à Kokélé**

Id	Classe	Longitude	Latitude	Végétation	Occupation	Type des sols	Toposéquence
1	K5	-7,567073	11,505005	Bowal	présence de termitière (Pâturage)	cuirasse	Glacis à pente faible
2	K6	-7,516377	11,538841	Bowal avec quelques pieds arbres	présence de termitière	cuirasse	Glacis à pente faible
3	K1	-7,548377	11,521292	Savane parc (Culture)	Sorgho (Si, diala)	Limoneux	Glacis à pente faible
4	K2	-7,530829	11,538268	Savane parc (Culture)	Sorgho (Si, somo)	Gravillonnaire	Glacis à pente faible
5	K3	-7,534958	11,513722	Savane parc (Culture)	Sorgho (Si, légué,néré)	Limoneux	Glacis à pente faible
6	K7	-7,536219	11,542053	Galerie	Manguier, kognékou, dioun	hydromorphe	Dépression
7	K4	-7,534155	11,520604	Savane arborée	Néré, bébé (Pâturage)	Plateau cuirassé	pente moyenne
8	K8	-7,549066	11,524619	Savane arborée	Si, Guénou, bora	cuirasse	Glacis à pente faible
9	K10	-7,520621	11,515099	Savane arborée	néré, Si, guénou	Limoneux	Glacis à pente faible
10	K11	-7,554112	11,520833	Savane arborée	Gabalé, Si	Gravillonnaire	Glacis à pente faible
11	K12	-7,516721	11,546985	Savane arborée	Si, guénou, kolokolo, bambou	Gravillonnaire	Glacis à pente faible
12	K9	-7,547460	11,546870	Savane vergée	Manguier et teck	Limoneux	Dépression à pente moyenne

Tableau 96 : **Caractéristiques des points observations à Kafara**

Id	Code	Longitude	Latitude	Végétation	Occupation	Types de sols	Toposéquence
1	KA1	-7,824803	12,125284	nééré et si	Savane parc (Mais, sorgho)	Limoneux	Glacis à pente faible
2	KA2	-7,806847	12,131920	si et nééré	Savane parc (sorgho)	Limoneux	Glacis d'accumulation à pente faible
3	KA3	-7,809736	12,112793	Si	Savane parc (sorgho, arachide)	Gravillonnaire	Glacis d'accu à pente faible
4	KA6	-7,825974	12,111778	si, nééré et sana	Savane arborée	Limoneux	Glacis à pente faible
5	KA7	-7,816294	12,119741	wolo, guélé, guénou et golobè	Savane arborée	Limoneux	Glacis à pente faible
6	KA8	-7,824257	12,122474	Si, dioun et gnaman	Savane arborée	Limoneux	Glacis d'accu à pente plate
7	KA9	-7,814420	12,117399	Bébé, guélé et kagnaka, nééré	Savane arborée	Limoneux	Glacis à pente faible
8	KA11	-7,800445	12,124738		Savane arborée	Gravillonnaire	Glacis à pente faible
9	KA4	-7,815513	12,137307	Siri, si et kolokolo	Savane arborée dégradée	Gravillonnaire	Glacis à pente faible
10	KA5	-7,807940	12,113496	Si	Savane arborée (jachère + 15ans)	Gravillonnaire	Glacis à pente faible
11	KA10	-7,817699	12,133404		Savane arbustive (bowal)	Gravillonnaire	Glacis à pente faible

Annexe 7 : Matrice de confusion de la Classification

Confusion Matrix:	H:\home_SIDI	\Images\classification	_mxlhod		
Overall Accuracy	= (34371/35806)	95.9923%			
Kappa Coefficient	= 0.9388				
	Ground Truth	(Pixels)			
Class	Culture et jachère récente	culture i	Cours Eau Prairie hygrophile		Zone d'habitation
Unclassified	0	0	0	0	0
Culture et jachère récente	2000	30	0	0	78
Agriculture inondée	5	917	634	18	4
Cours d'Eau	0	0	20096	0	0
Prairie hygrophyle	0	18	0	1575	0
Zone d'habitation	75	4	0	0	2197
Savane arbustive	19	14	0	3	0
Forêt galerie	0	0	0	0	0
Savane arboré	5	0	0	0	0
Savane boisée	0	0	0	0	1
Foret claire	0	0	0	0	0
Zone rocheuse	120	0	0	0	89
Total	2224	983	20730	1596	2369
	Ground Truth	(Pixels)			
Class	Savane arbustive	GalerieSavane	arboréSavane	boisee	Foret claire
Unclassified	0	0	0	0	0
Culture et jachère récente	0	11	2	4	0
Agriculture inondée	0	0	0	7	2
Cours d'Eau	0	0	0	0	0
Prairie hygrophyle	0	0	0	0	0
Zone d'habitation	0	0	0	0	0
Savane arbustive	914	4	12	0	0
Forêt galerie	0	968	108	0	0
Savane arboré	9	32	1269	0	0
Savane boisée	0	0	44	1814	10

Foret claire	0	0	0	29	1259
Zone Rocheuse	0	0	0	0	0
Total	923	1015	1435	1854	1271
	Ground Truth	(Pixels)			
Class Roche		Total			
Unclassified	0	0			
Culture et jachère récente	35	2160			
Agriculture inondée	0	1587			
Cours d'Eau	0	20096			
Prairie hygrophyle	0	1593			
Zone d'habitation	8	2284			
Savane arbustive	1	967			
Forêt galerie	0	1076			
Savane arboré	0	1315			
Savane boisée	0	1869			
Foret claire	0	1288			
Zone Rocheuse	1362	1571			
Total	1406	35806			
	Ground Truth	(Percent)			
Class	AgricultureAgri	culture i	EauPrairi	e hygro	Zone d'habita
Unclassified	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Culture et jachère récente	89.93	3.05	0.00	0.00	3.29
Agriculture inondée	0.22	93.29	3.06	1.13	0.17
Cours d'Eau	0.00	0.00	96.94	0.00	0.00
Prairie hygrophyle	0.00	1.83	0.00	98.68	0.00
Zone d'habitation	3.37	0.41	0.00	0.00	92.74
Savane arbustive	0.85	1.42	0.00	0.19	0.00
Forêt galerie	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Savane arboré	0.22	0.00	0.00	0.00	0.00
Savane boisée	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04
Foret claire	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Zone Rocheuse	5.40	0.00	0.00	0.00	3.76
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

	Ground Truth	(Percent)			
Class Savane arbust		GalerieSavane	arboréSavane	boisee	Foret claire
Unclassified	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Culture et jachère récente	0.00	1.08	0.14	0.22	0.00
Agriculture inondée	0.00	0.00	0.00	0.38	0.16
Cours d'Eau	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Prairie hygrophyle	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Zone d'habitation	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Savane arbustive	99.02	0.39	0.84	0.00	0.00
Forêt galerie	0.00	95.37	7.53	0.00	0.00
Savane arboré	0.98	3.15	88.43	0.00	0.00
Savane boisée	0.00	0.00	3.07	97.84	0.79
Foret claire	0.00	0.00	0.00	1.56	99.06
Roche [Coral]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	Ground Truth	(Percent)			
Classe Roche		Total			
Unclassified	0.00	0.00			
Culture et jachère récente	2.49	6.03			
Agriculture inondée	0.00	4.43			
Cours d'Eau	0.00	56.12			
Prairie hygrophyle	0.00	4.45			
Zone d'habitation	0.57	6.38			
Savane arbustive	0.07	2.70			
Forêt galerie	0.00	3.01			
Savane arboré	0.00	3.67			
Savane boisée	0.00	5.22			
Foret claire	0.00	3.60			
Zone Rocheuse	96.87	4.39			
Total	100.00	100.00			
Class Commission		Omission	Commissio	n	Omission
	(Percent)	(Percent)	(Pixels)	(Pixels)
Culture et jachère	7.41	10.07	160/216	0	224/2224

récente					
Agriculture inondée	42.22	6.71	670/158	7	66/983
Cours d'Eau	0.00	3.06	0/2009	6	634/20730
Prairie hygrophyle	1.13	1.32	18/159	3	21/1596
Zone d'habitation	3.81	7.26	87/228	4	172/2369
Savane arbustive	5.48	0.98	53/96	7	9/923
Forêt galerie	10.04	4.63	108/107	6	47/1015
Savane arboré	3.50	11.57	46/131	5	166/1435
Savane boisée	2.94	2.16	55/186	9	40/1854
Foret claire	2.25	0.94	29/128	8	12/1271
Zone Rocheuse	13.30	3.13	209/157	1	44/1406
Class Prod. Acc.		User Acc.	Prod. Acc	.	User Acc.
	(Percent)	(Percent)	(Pixels)	(Pixels)
Culture et jachère récente	89.93	92.59	2000/222	4	2000/2160
Agriculture inondée	93.29	57.78	917/98	3	917/1587
Cours d'Eau	96.94	100.00	20096/2073	0	20096/20096
Prairie hygrophyle	98.68	98.87	1575/159	6	1575/1593
Zone d'habitation	92.74	96.19	2197/236	9	2197/2284
Savane arbustive	99.02	94.52	914/92	3	914/967
Forêt galerie	95.37	89.96	968/101	5	968/1076
Savane arboré	88.43	96.50	1269/143	5	1269/1315
Savane boisée	97.84	97.06	1814/185	4	1814/1869
Foret claire	99.06	97.75	1259/127	1	1259/1288
Zone Rocheuse	96.87	86.70	1362/140	6	1362/1571

Annexe 8 Capture de méthodologie de traitement d'image

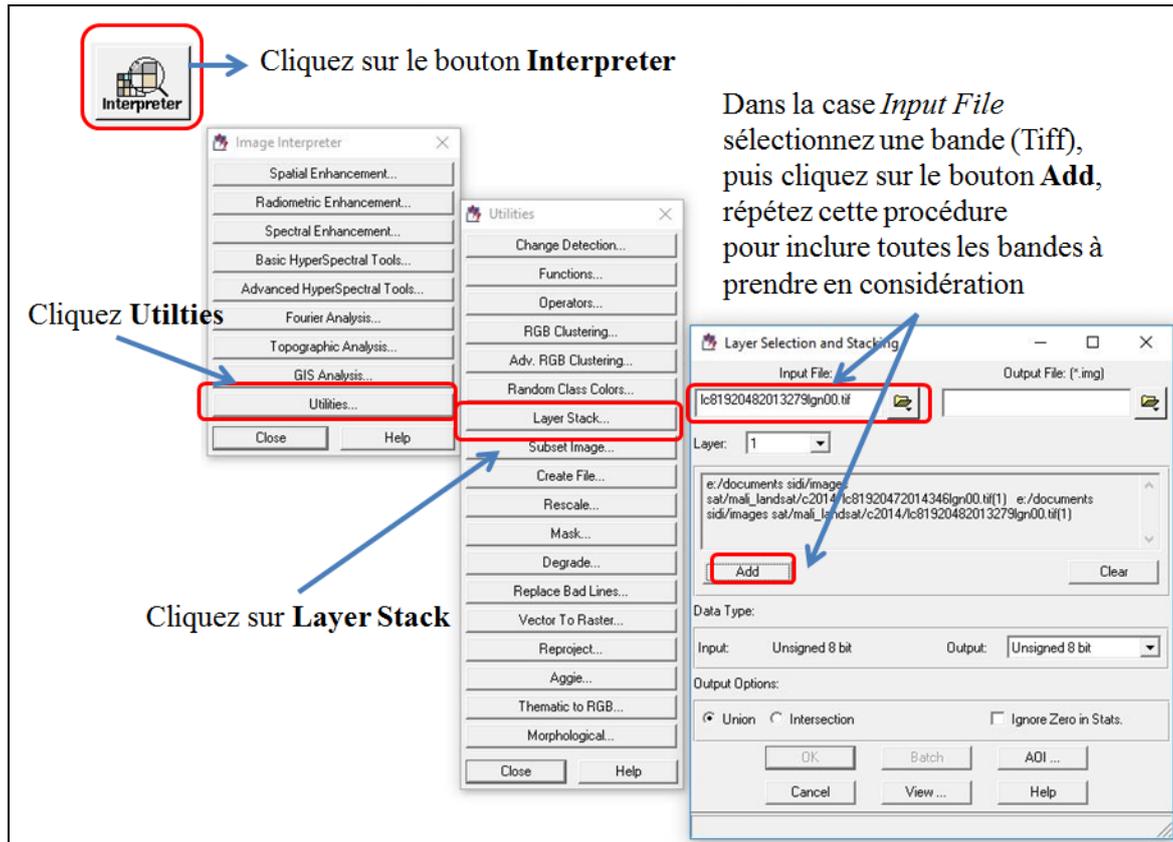


Figure 67 : Procédure de combinaison des Bandes Landsat (ETM+) sous ERDAS IMAGINE

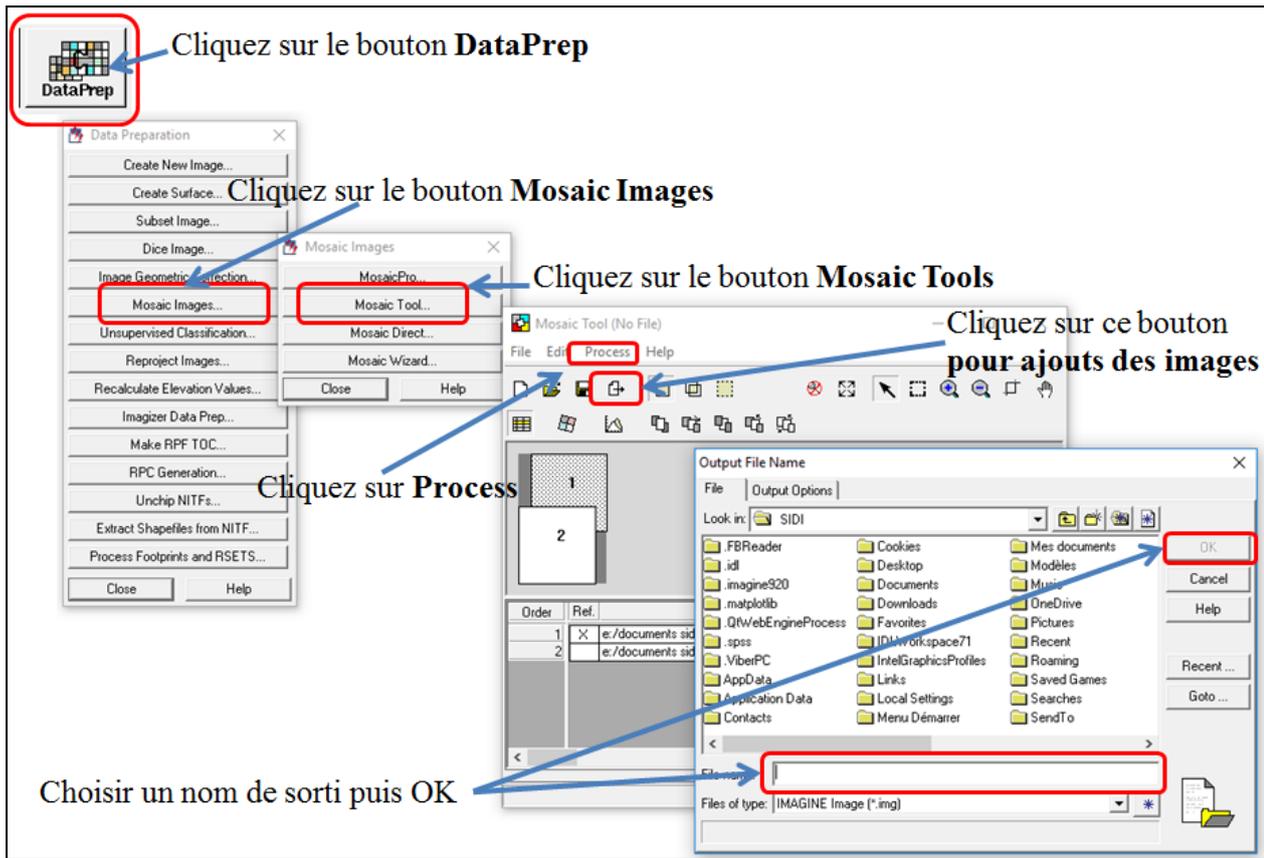


Figure 68 : Mosaïque des images

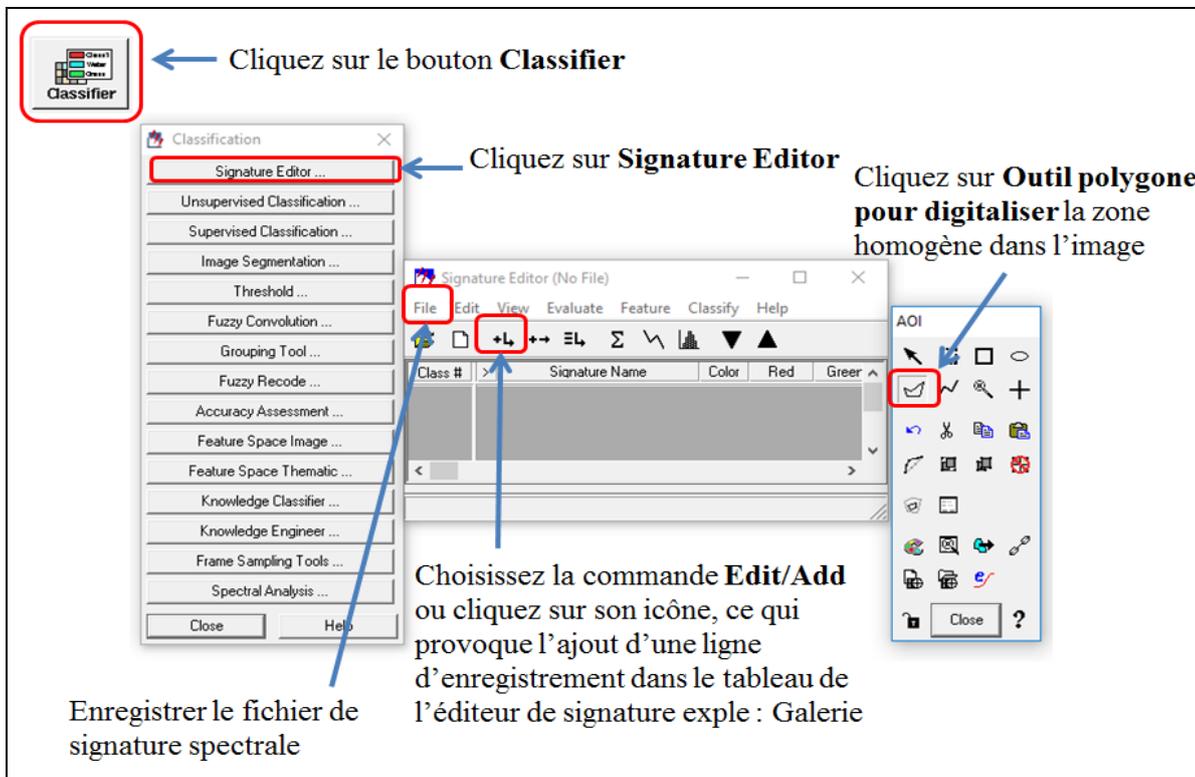


Figure 69 : Procédure de création du fichier de signature spectrale sous Erdas

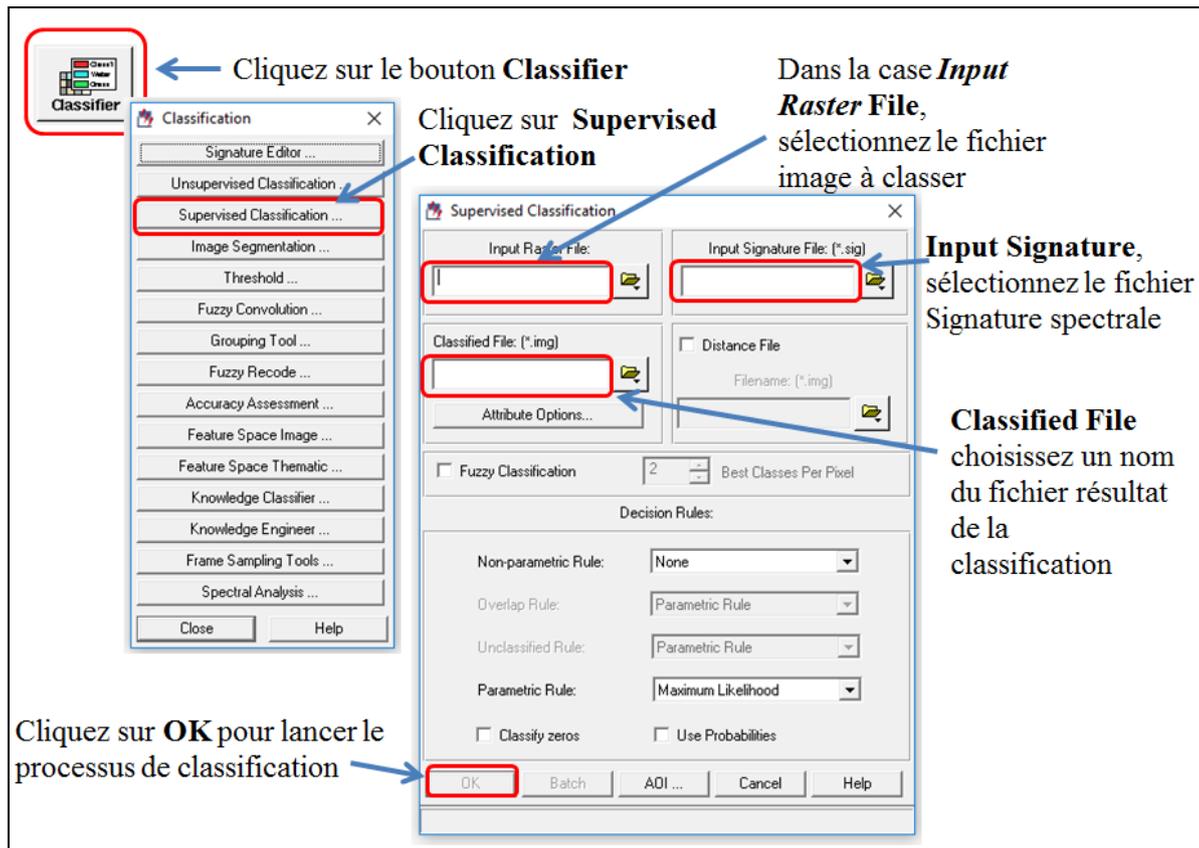


Figure 70 : Procédure de classification supervisée à partir du logiciel Erdas