

**BURKINA FASO**  
Unité – Progrès – Justice

**MINISTERE DES ENSEIGNEMENTS SECONDAIRE ET SUPERIEUR (MESS)**

**UNIVERSITE POLYTECHNIQUE DE BOBO-DIOULASSO (UPB)**

**INSTITUT DU DEVELOPPEMENT RURAL (IDR)**



**MEMOIRE DE FIN DE CYCLE**

En vue de l'obtention du

**DIPLOME D'INGENIEUR DU DEVELOPPEMENT RURAL**

**OPTION : Eaux et Forêts**

**THEME :**

**Suivi diachronique de la couverture ligneuse dans la forêt classée de Koulbi à l'aide de la télédétection et des systèmes d'information géographique (SIG)**

Présenté par: **TANKOANO Boalidia**

**Maître de stage: Dr Mipro HIEN**

**Directeur de mémoire: Dr Jean-Baptiste ILBOUDO**

**N°:.....-2012/Eaux et Forêts**

**JUILLET 2012**

**DEDICACE**

*A la mémoire de mes grand-pères*

*A mes parents et mes amis*

*Je dédie ce mémoire*

## TABLE DE MATIERES

DEDICACE .....	i
TABLE DE MATIERES .....	ii
REMERCIEMENTS .....	viii
ABREVIATIONS .....	x
LISTES DES TABLEAUX, FIGURES, CARTES ET PHOTOS .....	xii
LISTE DES TABLEAUX .....	xii
LISTE DE FIGURES .....	xiii
LISTE DES CARTES .....	xiv
LISTE DES PHOTOS .....	xiv
RESUME .....	xv
ABSTRACT .....	xvi
INTRODUCTION GÉNÉRALE .....	1
Contexte et justification de l'étude .....	1
Objectifs de l'étude .....	3
Hypothèses .....	3
Chapitre I-GENERALITES .....	4
I. MILIEU PHYSIQUE .....	5
1.1 Localisation de la zone d'étude .....	5

1.2	Végétation.....	7
1.3	Climat .....	7
1.4	Hydrographie .....	8
1.5	Faune.....	10
II.	MILIEU HUMAIN.....	10
2.1.	Population .....	10
2.2.	Activités socio-économiques .....	11
2.2.1.	Agriculture.....	11
2.2.2.	Elevage .....	12
2.2.3.	Exploitation des produits forestiers non-ligneux.....	12
2.2.4.	Chasse et pêche .....	12
III.	HISTORIQUE DE LA FORET CLASSEE DE KOULBI.....	13
3.1.	Date de classement de la forêt .....	13
3.2.	Gestion antérieure de la forêt classée de Koulobi .....	13
IV.	DEFINITION DE QUELQUES CONCEPTS DE BASE.....	14
4.1.	Définition et origine de la télédétection.....	14
4.2.	Principe de la télédétection.....	15
4.3.	Processus de la télédétection .....	15
4.4.	Objectifs et utilisations de la télédétection .....	16

4.5.	Spectre électromagnétique.....	17
4.6.	Comportements spectraux des objets terrestres : végétation, eaux et sols.....	18
4.6.1.	Comportement spectral de la végétation .....	19
4.6.2.	Comportement spectral des eaux.....	19
4.6.3.	Comportement spectral des sols.....	20
4.7.	Système d'information géographique (SIG).....	20
4.7.1.	Définition et historique des SIG .....	20
4.7.2.	Modes de représentation des SIG .....	21
4.8.	Caractéristiques des satellites : LANDSAT TM et LANDSAT ETM+ .....	21
	Chapitre II-Méthodologie .....	22
I.	MATÉRIELS.....	23
II.	MÉTHODES .....	25
2.1.	Cartographie de la végétation .....	25
2.1.1.	Collecte des données satellitaires et cartographiques disponibles .....	25
2.1.2.	Extraction de la zone d'étude et corrections géométriques des images .....	26
2.1.3.	Amélioration des images et calcul de l'indice de végétation normalisé (NDVI)....	26
2.1.4.	Compositions colorées et classifications non-dirigées.....	27
2.1.5.	Interprétation visuelle et choix des sites à visiter .....	27
2.1.6.	Réalité terrain et collecte des données floristiques.....	27

2.1.7.	Classifications dirigées.....	28
2.1.8.	Evaluation et validation des classifications : Matrices de confusion .....	29
2.1.9.	Evaluation de la dégradation du couvert végétal.....	29
2.2.	Variabilité pluviométrique: calcul de l'indice standardisé de précipitations ou indice de Nicholson.....	29
2.3.	Enquêtes .....	31
	Chapitre III-Résultats et discussions .....	32
I.	RÉSULTATS .....	33
1.1.	Cartographie de la forêt classée.....	33
1.1.1.	Types de végétation rencontrés dans la forêt classée de Koulbi .....	33
1.1.1.1.	Forêt galerie .....	33
1.1.1.2.	Forêt claire .....	33
1.1.1.3.	Savane boisée .....	33
1.1.1.4.	Savane arborée .....	34
1.1.1.5.	Savane arbustive.....	34
1.1.2.	Interprétation visuelle.....	35
1.1.3.	Matrices de confusion .....	35
1.1.4.	Etats de l'occupation du sol en 1986 et en 2006 .....	37
1.1.4.1.	Etat de l'occupation du sol en 1986 .....	37
1.1.4.2.	Etat de l'occupation du sol en 2006 .....	40

1.2. Dynamique des classes d'occupation du sol dans la forêt classée de Koulbi entre 1986 et 2006 .....	40
1.2.1. Evolutions progressives.....	41
1.2.2. Classes d'occupation du sol en recul dans la forêt classée de Koulbi entre 1986 et 2006	41
1.3. Richesse spécifique.....	41
1.4. Variabilité pluviométrique : indice standardisé de précipitations ou indice de Nicholson	42
1.5. Résultats des enquêtes .....	47
1.5.1 Perception des populations locales sur la dégradation de la végétation.....	47
1.5.2 Causes de la dégradation du couvert végétal.....	47
1.5.3 Estimation des superficies de champs abandonnés par les ménages enquêtés.....	48
1.5.4 Impact de la culture d'igname sur la couverture ligneuse.....	49
1.5.5 Observations faites dans la forêt classée de Koulbi lors des enquêtes et de la réalité terrain	50
II. DISCUSSIONS .....	52
2.1. Cartographie de la forêt classée .....	52
2.2. Dynamique de la couverture ligneuse.....	53
2.2.1. Dynamique de la couverture ligneuse et activités anthropiques .....	53
2.2.2. Dynamique de la couverture et variabilité pluviométrique .....	55

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS .....	57
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	59
ANNEXES .....	I



## REMERCIEMENTS

Au terme de ce stage, je tiens à exprimer toute ma reconnaissance et remerciements au Dr Mipro HIEN enseignant-chercheur en écologie végétale à l'IDR (Institut du Développement Rural) et Directeur Adjoint de L'IDR, qui m'a proposé ce thème de recherche puis m'a suivi comme maître de stage. Malgré ses occupations, il a fait preuve d'une grande disponibilité et a été d'un grand apport pour la réalisation effective de ce travail. Ses conseils, ses orientations ainsi que son soutien moral, matériel, et scientifique; m'ont permis de mener à bien cette étude et dans des conditions les meilleures. Pour son encadrement exemplaire, qu'il trouve à travers ces lignes l'expression de ma gratitude.

J'adresse mes vifs remerciements au Dr Jean-Baptiste ILBOUDO Directeur de l'ISNV (Institut des Sciences de la Nature et de la Vie), mon directeur de mémoire qui, malgré ses occupations, m'a suivi tout au long de ce stage. Il a été d'un apport inestimable dans la qualité scientifique de ce document.

J'adresse mes vifs remerciements au Pr Irénée SOMDA enseignant-chercheur en phytopathologie à l'IDR, Directeur de l'IDR, pour ses encouragements et les moyens mis à ma disposition dans le cadre du Projet UNDESERT/IDR qui a financé notre travail et dont il est le coordonnateur. Ainsi je remercie également tous les membres de l'équipe pluridisciplinaire de recherche du Projet.

J'adresse mes remerciements au Directeur Régional de l'Environnement et du Développement Durable du Sud-Ouest et le Directeur Provincial de l'Environnement et du Développement Durable du Noubiel.

Mes sincères remerciements vont aussi :

Au Dr Paulin OUOBA, enseignant-chercheur à l'ISNV, pour ses encouragements, ses conseils. Il m'a apporté également un soutien inestimable lors de la description des types de végétation sur le terrain et m'a aidé à déterminer les spécimens botaniques inconnus.

Aux Messieurs Rigobert BAYALA et François OUEDRAOGO, spécialistes en Télédétection et SIG à la DGFF/MEDD, pour la formation qu'ils m'ont donnée en traitements, interprétation des

images satellitaires et en SIG ; et surtout pour leur disponibilité et leur dévouement pour la réalisation des cartes.

Au Dr Jérôme T. YAMEOGO, pour ses conseils, ses encouragements, et pour l'initiation à l'utilisation du logiciel Epi-Info qui n'aurait été possible sans la volonté et la motivation. Il a également consacré son temps pour me suivre sur le terrain et m'aider à décrire les types de végétation.

A Monsieur Zézouma SANON Doctorant à l'IDR, pour ses conseils et pour m'avoir aidé dans la collecte des données floristiques et la reconnaissance des espèces végétales sur le terrain.

A Monsieur Ezéchias SOME étudiant au Laboratoire *Sy.N.A.I.E*, pour ses conseils et encouragements.

A l'administration de l'IDR et au corps enseignant pour tous les efforts consentis pour assurer un bon encadrement aux étudiants durant leur cycle de formation

A tous les étudiants du laboratoire *SY.N.A.I.E*, pour leurs conseils et encouragements

A mes amis et tous les étudiants de la 36<sup>ème</sup> promotion de l'IDR.

Je n'oublie pas les agents forestiers notamment Messieurs Emile Kologo, Grégoire SOME, Hama MAÏGA, Kader OUEDRAOGO, merci pour l'accueil chaleureux qui nous a été réservé.

Que toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à l'élaboration de ce document, soient remerciées.

## **ABREVIATIONS**

**CCT** : Centre Canadien de Télédétection

**CGIS** : Canada Geographic Information System

**DIFOR** : Direction des Forêts

**DNM** : Direction Nationale de la Météorologie

**DSE** : Direction du Suivi Ecologique

**ETM +**: Enhanced Thematic Mapper Plus

**FAO**: Food and Agriculture Organization

**FCK**: Forêt Classée de Koulbi

**GPS**: Global Positioning Spatial

**HE**: Humidité Extrême

**HF** : Humidité Forte

**HM** : Humidité Modérée

**IDR** : Institut du Développement Rural

**INSD** : Institut National des Statistiques et de la Démographie

**ISNV** : Institut des Sciences de la Nature et de la Vie

**MEDD/DGFF** : Ministère de l'Environnement et du Développement Durable/ Direction Générale des Forêts et de la Faune

**NASA** : National Aeronautics and Space Administration

**NDVI** : Normalised Différence Vegetation Index

**OMM** : Organisation Mondiale de la Météorologie

**PFNL** : Produits Forestiers Non-Ligneux

**PIR** : Proche Infrarouge

**PNUE**: Programme des Nations Unies pour l'Environnement

**PROGEREF**: Projet de Gestion Durable des Ressources Forestières dans les Régions Sud-ouest, Centre-Est et Est

**RGPH**: Recensement Général de la Population et de l'Habitat

**S<sub>1986</sub>**: Superficie d'une classe d'occupation du sol en 1986

**S<sub>2006</sub>**: Superficie d'une classe d'occupation du sol en 2006

**SE** : Sécheresse Extrême

**SF** : Sécheresse Forte

**SIG**: Système d'Information Géographique

**SM** : Sécheresse modérée

**SPI**: Standardized Precipitation Index

**SYNAIE** : Systèmes Naturels des Agro-systèmes et de l'Ingénierie de l'Environnement

**TM**: Thematic Mapper

**T<sub>x</sub>**: Taux d'évolution annuel des classes d'occupation du sol

**UNDESERT**: Understanding and Combating desertification to mitigate its impact on ecosystem services.

# ***LISTES DES TABLEAUX, FIGURES, CARTES ET PHOTOS***

## **LISTE DES TABLEAUX**

<b>Tableau I: Population des communes riveraines de la forêt classée de Koulbi en 2006.....</b>	<b>10</b>
<b>Tableau II: Caractéristiques spectrales de LANDSAT TM et ETM+ .....</b>	<b>22</b>
<b>Tableau III: Interprétation visuelle de la composition colorée et du NDVI de l'image de 2006.....</b>	<b>35</b>
<b>Tableau IV: Matrice de confusion de la classification de 2006 .....</b>	<b>36</b>
<b>Tableau V: Matrice de confusion de la classification de l'image de 1986 .....</b>	<b>36</b>
<b>Tableau VI: Evolution des classes d'occupation du sol dans la forêt classée de Koulbi entre 1986 et 2006.....</b>	<b>37</b>
<b>Tableau VII :Résultats de l'indice standardisé de précipitations de la décennie 1971 à 1980 .....</b>	<b>46</b>
<b>Tableau VIII: Résultats de l'indice standardisé de précipitations de la décennie 1981 à 1990 .....</b>	<b>46</b>
<b>Tableau IX: Résultats de l'indice standardisé de précipitations de la décennie 1991 à 2000 .....</b>	<b>46</b>
<b>Tableau X: Résultats de l'indice standardisé de précipitations de la décennie 2001 à 2010 .....</b>	<b>46</b>
<b>Tableau XI: Perceptions des populations locales sur la dégradation du couvert végétal.....</b>	<b>47</b>
<b>Tableau XII: Causes de la dégradation du couvert végétal.....</b>	<b>48</b>
<b>Tableau XIII: Terres propices à la culture de l'igname .....</b>	<b>50</b>
<b>Tableau XIV: Durée d'utilisation d'une terre pour la culture de l'igname .....</b>	<b>50</b>

## LISTE DE FIGURES

<b>Figure 1: Courbe de la variation pluviométrique de la station de Batié</b> .....	8
<b>Figure 2: Illustration du processus de télédétection</b> .....	15
<b>Figure 3 : Illustration du spectre électromagnétique (source : Centre canadien de télédétection)</b> .....	17
<b>Figure 4: Courbe de réflectance des végétaux, sols et eaux (Source : Girard, 1999)</b> .....	19
<b>Figure 5: Différentes étapes de la méthodologie suivie pour la cartographie de la forêt classée</b> .....	25
<b>Figure 6: Evolution des superficies des différents éléments de l'occupation du sol entre 1986 et 2006.</b> .....	40
<b>Figure 7: Richesse en nombres d'espèces des formations végétales</b> .....	42
<b>Figure 8: Courbe de fluctuation par l'indice standardisé de précipitations (SPI)</b> .....	43
<b>Figure 9: Moyennes des totaux annuels des précipitations par décennie de la station de Batié, de 1971 à 2010</b> .....	43
<b>Figure 10 : Estimation des superficies de champs (ha) abandonnées par les ménages des villages riverains</b> .....	48
<b>Figure 11 : Nombre de ménages ayant séjournés dans la FCK par village riverain</b> .....	49

## LISTE DES CARTES

<b>Carte 1: Localisation de la forêt classée dans la province du Noumbiel .....</b>	<b>6</b>
<b>Carte 2: Réseau hydrographique de la forêt classée de Koulbi .....</b>	<b>9</b>
<b>Carte 3: Occupation du sol dans la FCK en 1986 .....</b>	<b>38</b>
<b>Carte 4: Occupation du sol dans la FCK en 2006 .....</b>	<b>39</b>

## LISTE DES PHOTOS

<b>Photo 1: Plantation d'anacardiens dans la FCK.....</b>	<b>51</b>
<b>Photo 2: Champ d'igname dans la FCK.....</b>	<b>51</b>
<b>Photo 3 : Abattage par le feu des arbres et arbustes dans un champ d'igname.....</b>	<b>51</b>
<b>Photo 4: Troupeau de bœufs dans la FCK.....</b>	<b>51</b>
<b>Photo 5: Ruine d'habitation dans la FCK.....</b>	<b>51</b>
<b>Photo 6: Ecole abandonnée dans la FCK .....</b>	<b>51</b>

## RESUME

Les aires protégées du Burkina Faso sont considérées comme les réservoirs de biodiversité. Malheureusement ces aires sont de plus en plus sous la pression humaine et subissent les péjorations climatiques. Cela est perceptible sur l'état du couvert végétal. L'exemple de la forêt classée de Koulbi, située au Sud-Ouest du pays illustre bien cette situation. Les données de télédétection nous ont permis d'analyser l'évolution de la couverture ligneuse de cette forêt entre 1986 et 2006. Pour ce faire, nous avons adopté une méthode d'analyse basée sur l'exploitation des images satellitaires LANDSAT TM de 1986 et LANDSAT ETM+ de 2006. Au travers de la classification hiérarchique pseudo-dirigée, associée aux relevés de terrain obtenus lors de la campagne terrain, nous avons caractérisé les différents éléments d'occupation de sol en 1986 et en 2006. Les résultats révèlent que la couverture ligneuse occupait 38723,15 ha en 1986 et 39391,82 ha en 2006 ; soit une augmentation de 0,08% par an. Cette augmentation de la couverture ligneuse s'est faite au détriment des espaces agricoles qui ont connu un recul de 668,67 ha, soit une diminution de 2,49% par an. Cependant cette relative augmentation de la couverture ligneuse dans son ensemble, occulte toutes les disparités qui sont décelées entre les différents éléments de l'occupation du sol, considérés individuellement. C'est ainsi qu'entre les deux dates (1986 et 2006), la forêt galerie, la forêt claire et la savane boisée vont connaître un recul considérable. La forêt galerie va passer de 627,28 ha à 584,09 ha entre 1986 et 2006, soit une diminution de 0,33% par an. Pour la même période, la forêt claire recule de 533,51 ha passant de 2060,72 ha à 1527,21 ha, soit un recul de 1,23% par an ; la savane boisée a perdu 1426,95 ha, soit un recul de 0,57% par an. Cette régression de la couverture ligneuse est imputable à l'effet combinée de la variabilité pluviométrique et des pressions anthropiques. Les enquêtes menées auprès des populations riveraines, nous ont permis de situer leur responsabilité dans la dégradation des ressources naturelles.

**Mots clés :** forêt classée, dynamique de la couverture ligneuse, télédétection, pression anthropique, variation climatique



## ABSTRACT

Protected areas of Burkina Faso are considered as biodiversity tanks. Unfortunately these areas are more and more under human pressure and suffer climatic change. It's visible on the vegetal cover condition. The example of classified forest of Koulbi situated in the south-west of the country illustrates well this situation. Remote sensing data have permitted us to analyze the evolution of this forest woody cover between 1986 and 2006. In order to realize it, we have adopted an analyze method based on the exploitation of satellite images from LANDSAT TM of 1986 and LANDSAT ETM+ of 2006. Through the hierarchical classification pseudo-headed, associated to field grades obtained during the visit on the field, we have the different elements of earth occupation in 1986 and 2006 characterized. The results show that the woody cover occupied 38723.15 ha in 1986 and 39391.82 ha in 2006, that is to say an increase of 0.08% percent per year. This woody cover increase is done at the detriment of agricultural species which have known a retreat of 668.67 ha; it's to say a reduction of 2.49% percent per year. However this relative increase of the woody cover in his totality occults all the differences which are found between if different elements of occupation considered individually. It's that thus between the two dates (1986 and 2006), forest gallery, clear forest and wooded savanna are going to know a considerable reduction. Forest gallery is going to go from 627.28 ha to 584.09 ha between 1986 and 2006; that is to say a reduction of 0.33% percent per year. For the same period, clear forest retreats from 533.51 ha going from 2060.72 ha to 1527.21 ha, it means a retreat of 1.23% percent per year; wooded savanna as lost 1426.95 ha, that is to say a retreat of 0.57% percent per year. This regression of the woody cover is due to the combined effect of rainfall variability and anthropogenic pressure. The surveys carried out near the bordering populations, enabled us to situate their responsibility in the natural resources degradation.

**Key words:** protected area, dynamic of the woody cover, remote sensing, anthropogenic pressure, climatic variation

## INTRODUCTION GÉNÉRALE

Le Burkina Faso, pays situé dans une zone soudano sahélienne, a connu des périodes de sécheresse au cours des années 1970. Selon Boudet (1972), une des conséquences les plus perceptibles du phénomène des sécheresses a été la mortalité souvent massive des peuplements ligneux, constatée sur de nombreux sites. En dehors de ce facteur climatique, on note une forte pression anthropique sur les ressources naturelles. Cette pression anthropique se caractérise par les feux de brousse tardifs et incontrôlés, l'agriculture itinérante sur brûlis, la quête permanente du bois énergie, le surpâturage et l'accroissement démographique. Selon Bombiri (2008), les forêts du Burkina Faso couvraient en 2002 une superficie de 13.305.238 ha, soit 48,75% du territoire national. Selon ce même auteur, ce couvert végétal aurait subi une diminution annuelle de 110.500 ha, soit 4,04% en moyenne par an entre 1992 et 2002. Cette diminution des superficies des forêts est liée en partie aux activités de l'Homme. Même le domaine classé de l'Etat n'échappe pas à cette règle. Le Ministère de l'environnement et du cadre de vie (DIFOR, 2007) estime que 60% des aires du domaine classé sont occupées par des exploitations agricoles, des hameaux de cultures et des villages dotés d'infrastructures socio-économiques. Les occupants de ces aires y pratiquent des feux de brousse, la coupe illégale du bois, le surpâturage et la carbonisation.

Au regard des changements climatiques associés aux pressions anthropiques que subissent les forêts classées et les réserves du Burkina Faso, il est clair qu'on pourrait assister à une dégradation exacerbée du couvert végétal si aucune mesure de gestion n'est prise. Cette dégradation du couvert végétal est une menace pour la biodiversité. En effet le couvert végétal est la composante la plus importante de l'occupation du sol dans une aire protégée. Sa présence ou son absence caractérise la nature et l'état de l'espace protégé. En effet il conditionne la présence de la faune et la diversité spécifique de la flore (Tabopda *et al.*, 2009).

### Contexte et justification de l'étude

L'année 2011 a été proclamée « Année internationale des forêts » par l'assemblée générale des nations unies. Cette décision s'inscrit dans le mouvement déjà lancé par d'autres arènes internationales, telles que celles qui sont liées aux changements climatiques et à la biodiversité, pour renforcer l'attention accordée aux forêts dans le monde entier (FAO, 2011). Les forêts

tropicales présentent la plus grande variété d'organismes de tous les écosystèmes (Centre mondial de surveillance de la conservation 1992, PNUE, 1995).

La conservation de la biodiversité passe par la protection et la gestion des réservoirs que constituent les formations forestières classées ou protégées. Selon la Direction des forêts (DIFOR, 2007) le domaine forestier classé de l'Etat couvre une superficie totale estimée à 3.9 millions hectares, soit environ 14% de l'étendue du territoire nationale.

Les forêts classées et réserves du pays, bien connues pour leur richesse floristique et faunique n'échappent pas à ce phénomène de déforestation. C'est le cas de la forêt classée de Koulbi qui est de plus en plus soumise à des pressions anthropiques liées au double effet de la croissance démographique et la récurrence de la sécheresse. Cette rapide dégradation des forêts représente une menace également pour les animaux qui en dépendent. Les forêts classées, les réserves forestières et les parcs représentent les zones de conservation privilégiées de la flore et de la faune au Burkina Faso. Malheureusement nombreuses sont les aires protégées qui ont subi et subissent encore une forte pression anthropique (exploitation agricoles, infrastructures socioéconomiques, activité agricole, etc). A ces contraintes anthropiques, il faut ajouter les effets des changements climatiques globaux (les sécheresses récurrentes, les déficits pluviométriques, le réchauffement). Ces conditions climatiques défavorables ont entraîné l'appauvrissement des terres agricoles et des espaces de pâturage dans les zones sahéliennes. D'où une forte émigration des populations du Nord vers le Sud-ouest et l'Est du pays qui sont des zones favorables à leurs activités (Balma *et al.*, 2004). Récemment, avec la crise ivoirienne qui a éclaté le 19 Septembre 2002, la région du Sud-Ouest a connu une pression démographique sans précédent avec le retour massif de Burkinabè. Pour Courtin *et al*, (2010), 360.000 Burkinabè sont retournés dans leur pays d'origine. Ces populations Burkinabè venues de la Côte d'Ivoire se sont ruées sur la forêt classée de Koulbi ; les potentialités agro écologiques de la zone d'étude étant proches de celles de la Côte d'Ivoire.

Dans le souci constant de limiter les menaces sur la végétation et la biodiversité dans la forêt classée, le PROGEREF en 2009 a procédé à des opérations de déguerpissements des occupants. Cependant, des données quantitatives sur l'évolution des types d'occupation du sol et la

composition floristique sont embryonnaires après plusieurs années de conservation de la forêt. La présente étude vise à combler cette lacune.

### **Objectifs de l'étude**

La présente étude s'est fixée pour objectif principal d'analyser les impacts de la pression anthropique et de la variabilité pluviométrique sur la dynamique de la couverture ligneuse.

Les objectifs spécifiques de l'étude sont :

- suivre la dynamique de la couverture ligneuse par la cartographie,
- rechercher le lien entre l'évolution de la couverture ligneuse et la pression anthropique exercée sur la forêt classée,
- et évaluer l'impact de la variation pluviométrique sur la dynamique de la couverture ligneuse.

### **Hypothèses**

Les hypothèses formulées pour notre étude sont les suivantes :

- la couverture ligneuse de la forêt a régressé entre 1986 et 2006,
- l'évolution régressive de la couverture ligneuse est imputable à la pression anthropique exercée sur la forêt classée,
- la variabilité pluviométrique a eu un effet négatif sur la dynamique de la couverture ligneuse.

Outre l'introduction et la conclusion, le mémoire se subdivise en trois chapitres : d'abord les généralités qui décrivent les grands axes des milieux physique et humain, et les concepts de base en SIG et télédétection ; ensuite les matériels et méthodes et enfin les résultats de l'étude suivis de la discussion.

# ***CHAPITRE I-GENERALITES***

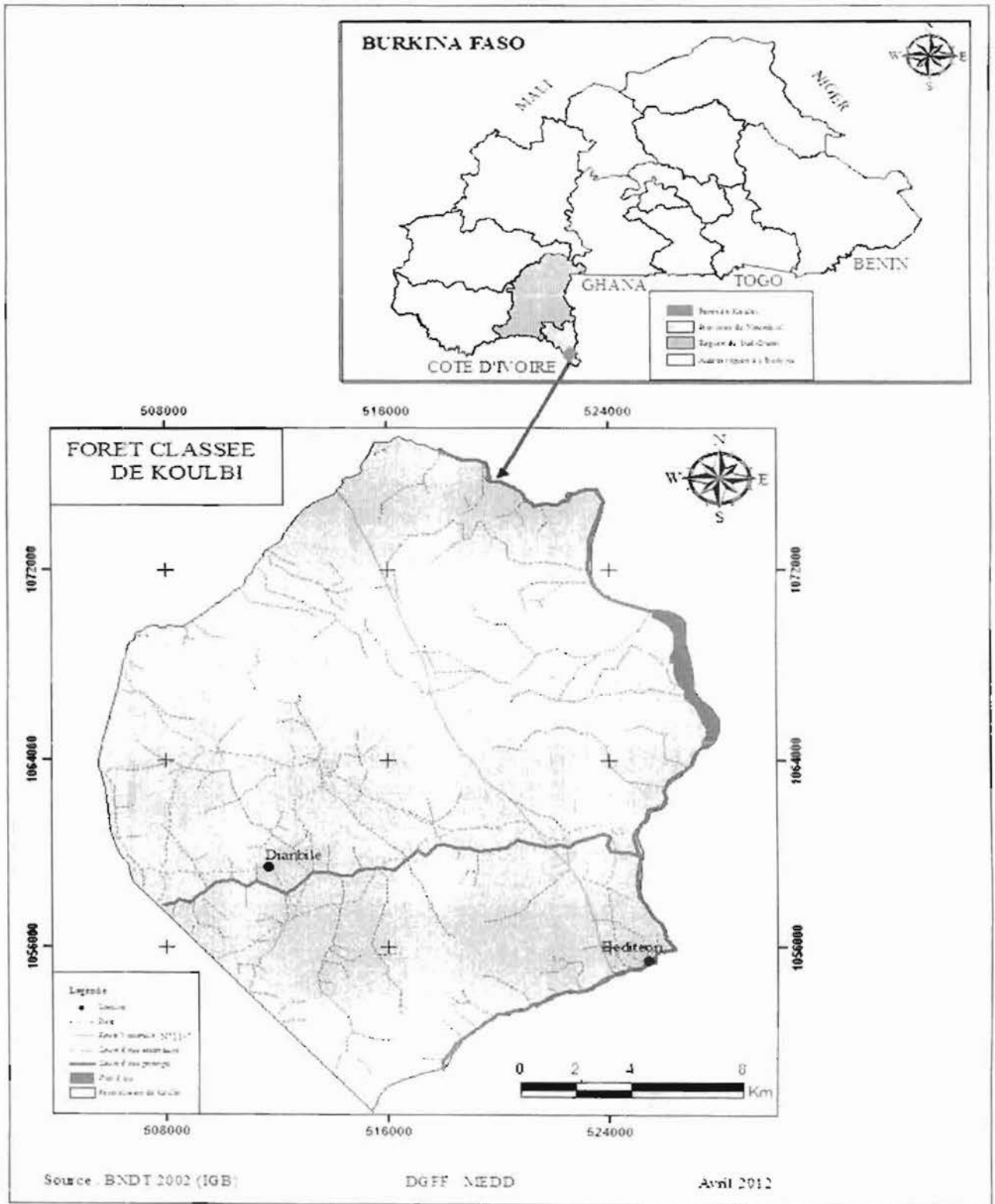
# **I. MILIEU PHYSIQUE**

## **1.1 Localisation de la zone d'étude**

La forêt classée de Koulbi est située au Sud-Ouest du Burkina Faso dans la commune de Kpéré (Province de Noumbiel). Le milieu d'étude est situé plus exactement dans la zone formé par le quadrilatère de coordonnées (UTM 30 N) suivantes :  $x$  (504000 ; 528000),  $y$  (1048000 ; 1077000). Sa superficie est de 40.000 ha. Elle est limitée naturellement:

- au Nord par les marigots Kombir et Poni,
- à l'Est par le fleuve Mouhoun (frontière du Ghana),
- au Sud par le marigot Batar,
- et à l'Ouest par la limite du territoire de la Côte d'Ivoire.

Localisée à 25 km au Sud de la commune de Batié et à 10 km au Nord de celle de Kpéré. Elle est traversée du Nord au Sud par la route nationale N°11-7 reliant Batié à Kpéré.



**Carte 1: Localisation de la forêt classée dans la province du Nounbié**

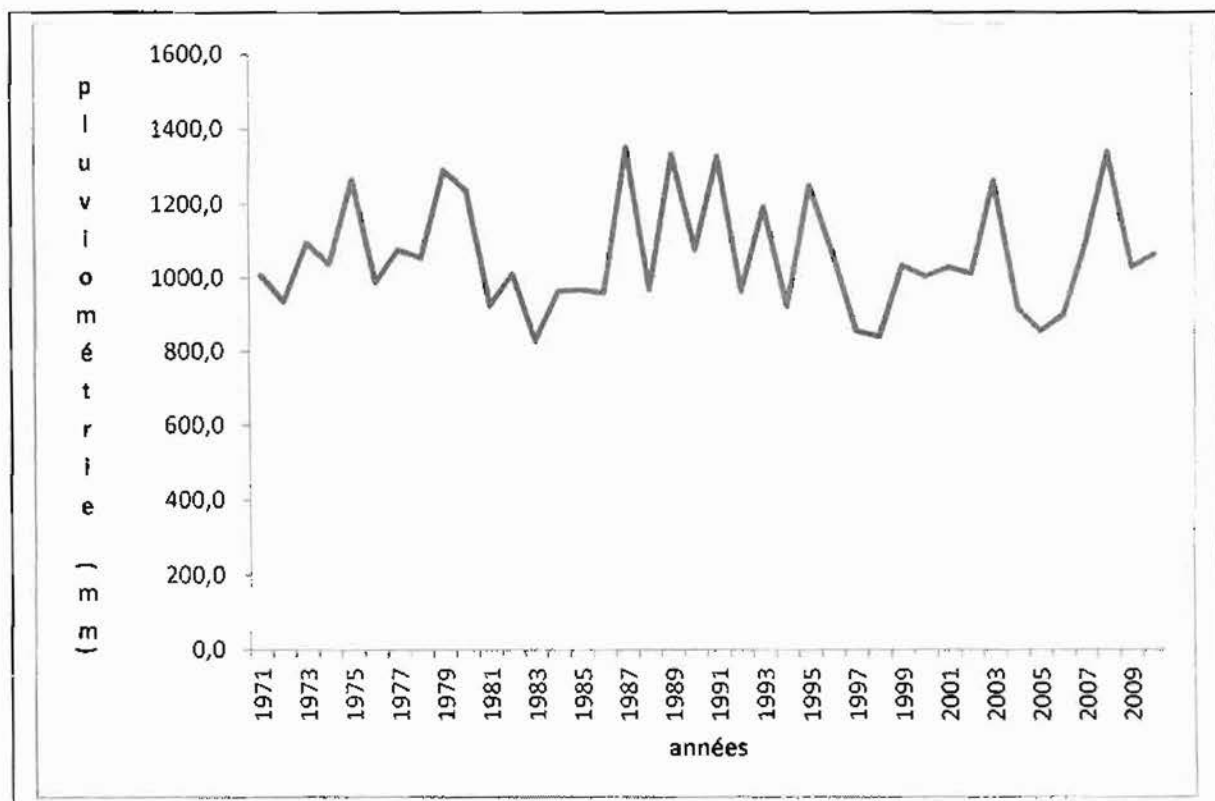
## 1.2 Végétation

Du point de vue phytogéographique, la FCK appartient au secteur sud soudanien selon Fontès et Guinko (1995). Elle fait partie du district Ouest Volta Noire (Guinko, 1984 et 1989) qui, comme le district de la Comoé, est caractérisé par les galeries forestières semi-décidues tenant à la permanence des cours d'eau (fleuve Mouhoun). Le secteur Sud soudanien bénéficie des climats les moins xériques du Burkina Faso. Il porte aussi les formations forestières les plus denses du pays. Guinko (1989) a divisé ce secteur en quatre (04) districts dans lesquels on retrouve un fond floristique soudanien commun et auquel sont associées les espèces ripicoles guinéennes telles que : *Cola laurifolia* Mast., *Manilkara multinervis* (Bak.) Dubard et *Elaeis guineensis* Jacq. Il est admis de définir ce secteur comme celui à *Isoberlinia doka* Craib et Stapf une césalpiniacée caractéristique des savanes soudaniennes et guinéennes. Un cortège important d'espèces ligneuses, arborées ou arbustives, peut lui être associé: *Acacia polyacantha* Wild., *Acacia sieberiana* DC., *Anogeissus leiocarpus* (DC.) Guill et Perr., *Burkea africana* Hook.f., *Vitellaria paradoxa* Gaertn.f., *Cussonia arborea* Hochst. ex A. Rich., *Daniellia oliveri* (Rolfe) Hutch. et Dalz., *Diospyros mespiliformis* Hochst. ex A. Rich., *Isoberlinia tomentosa* (Harms) Craib et Stapf, *Khaya senegalensis* (Ders.) A. Juss., *Kigelia africana* (Lam.) Benth., *Parkia biglobosa* (Jacq.) R. Br. ex G. Don. A cette liste, non-exhaustive, on peut rajouter des espèces plus guinéennes, souvent associées au réseau hydrographique : *Antidesma venosum* Tul., *Dialium guineense* Willd., *Monotes kerstingii* Gilg, *Voacanga africana* Stapf. Le tapis graminéen est souvent dominé par des espèces pérennes telles que : *Andropogon gayanus*, *Hyparrhenia glabriuscula*, *Heteropogon contortus*, *Diheteropogon amplexans*, *Loudetia simplex*.

## 1.3 Climat

Le climat de la FCK est du type sud soudanien. Sur les 40 dernières années (1971-2010) la pluviométrie annuelle relevée à la station météo de Batié a varié de 828,2 mm à 1.353 mm avec une moyenne annuelle de 1.057,7 mm (figure 1). Pour la même période le nombre de jours de pluie a varié de 54 à 93 jours avec une moyenne annuelle de 72 jours.



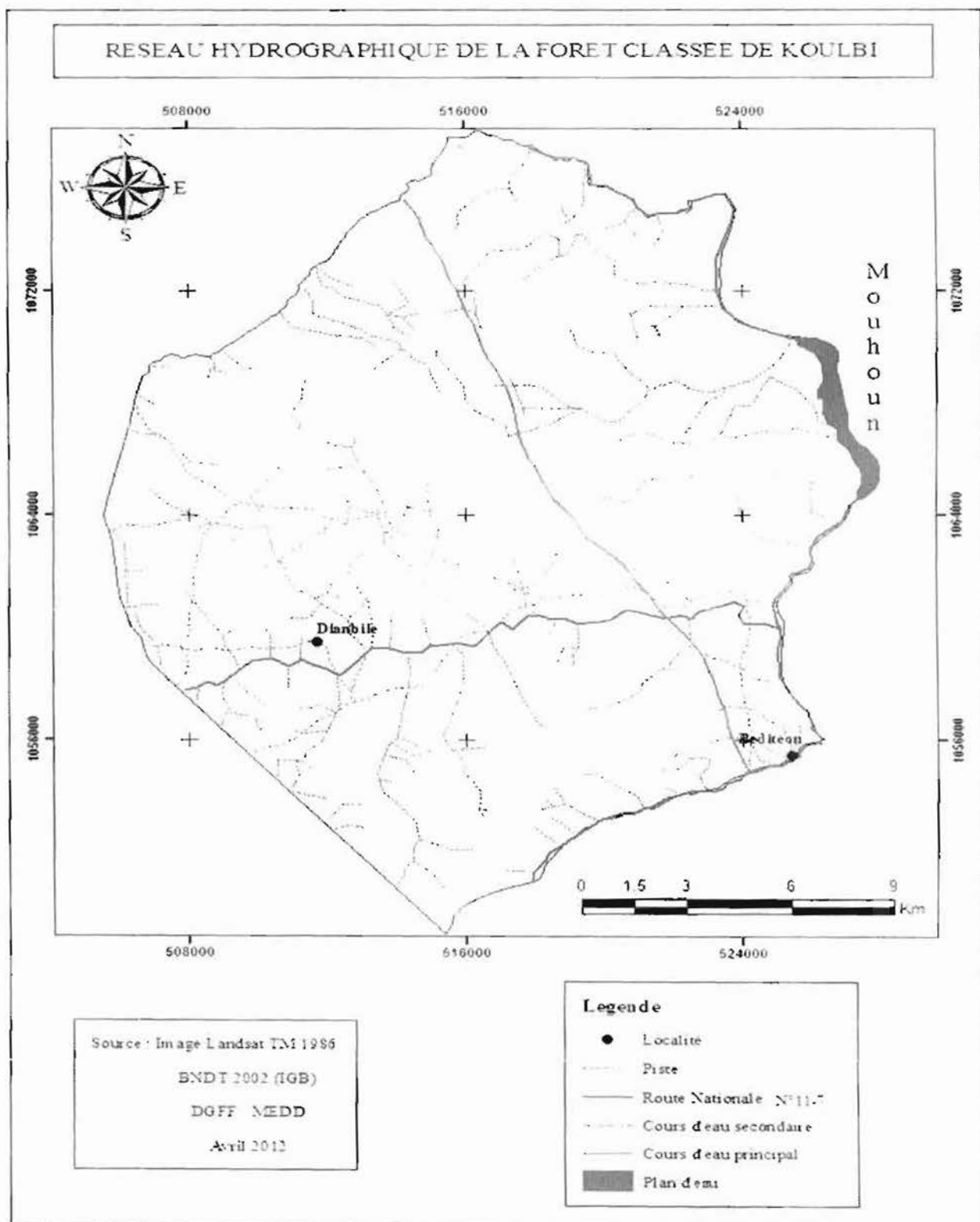


- une saison sèche de mi-novembre à mi-avril pendant laquelle on enregistre les températures extrêmes de l'année, les plus froides entre mi-novembre à mi-février et les plus chaudes entre mars et mi-avril.
- et une saison pluvieuse allant de mi-avril à mi-novembre.

Les températures moyennes extrêmes enregistrées entre 1971 et 2010 pendant la saison sèche sont de : 25,9 °C en décembre et 31,2 °C en avril. La température moyenne mensuelle pour la période est de 27,9 °C.

#### 1.4 Hydrographie

La FCK a la particularité d'avoir un réseau hydrographique très dense. Elle est naturellement délimitée par des cours d'eau tels que les marigots Poni, Kombir au Nord, Batar au Sud et dans sa partie Est par le fleuve Mouhoun qui a un écoulement permanent. Le cours d'eau Koulbi qui a donné son nom à la forêt, la traverse d'Ouest en Est avant de se jeter dans le Mouhoun. Ce cours d'eau est alimenté par les rivières de la commune de Kpéré et les eaux venant du côté de la Côte d'Ivoire.



**Carte 2: Réseau hydrographique de la forêt classée de Koulibi**

## 1.5 Faune

La FCK n'a pas encore bénéficié d'investigations visant spécifiquement à faire l'état de la diversité biologique aussi bien animale que végétale. Mais un inventaire de faune réalisé en avril 2007 a confirmé la présence d'une quinzaine d'espèces parmi lesquelles des mammifères de grand intérêt cynégétique comme l'antilope cheval (*Hippotragus equinus*) l'hippopotame (*Hippopotamus amphibius*), le bubale (*Alcelaphus buselaphus*), le waterbuck (*Kobus defassa*), le cobe de Buffon (*Kobus kob*), le buffle (*Syncerus caffer*), le phacochère (*Phacochoerus aethiopicus*). Cette présence prouve combien la forêt revêt encore un potentiel certain pour la valorisation des filières d'exploitation faunique.

## II. MILIEU HUMAIN

### 2.1. Population

Selon les données du recensement de 2006, les communes riveraines de la forêt de Koulbi (Batié, Kpéré et par extension Boussoukoula) comptaient une population résidente de 45740 habitants. On peut appréhender la population de ces trois communes les plus proches de la FCK à travers le tableau I.

**Tableau I: Population des communes riveraines de la forêt classée de Koulbi en 2006**

Communes	Population en 2006		
	Hommes	Femmes	Total
Batié	15 739	16 224	31 963
Boussoukoula	3 538	3 673	7 211
Kpéré	3 176	3 390	6 566
<b>Total</b>	<b>22 453</b>	<b>23 287</b>	<b>45 740</b>

*Source: INSD, 2008*

Les trois communes concernées sont constituées par deux groupes bien distincts :

- les autochtones que sont les Lobi, Birifor, Dagara,

- on trouve en majeure partie les Lobi dans les communes de Midebdo et de Boussoukoula, cette ethnie représente environ 26% de la population provinciale,
  - les Birifor occupent les communes de Batié et de Kpéré, ils représentent environ 35% de la population du Noumbiel,
  - la commune de Legmoin est surtout peuplée de Dagara qui représente 31% de la population du Noumbiel.
- les migrants à savoir les Peulhs et les Mossé : les migrants sont présents dans toutes les communes où ils pratiquent l'élevage (Peulhs) et l'agropastoralisme (cas des Mossé)

La province constitue une zone d'accueil. Ces migrants viennent pour la plupart du Yatenga, du Bulkiemdé, du Sammatenga, du Passoré et du Kadiogo. Concernant les migrations internationales, le Ghana et la Côte d'Ivoire sont les principaux pays de destination des émigrants du Noumbiel.

L'animisme est la religion pratiquée par la majorité de la population autochtone. Jadis inconnues dans la province du Noumbiel, l'Islam et le Christianisme ont fait leur apparition et l'on enregistre de nos jours des adeptes parmi les populations autochtones. Les migrants pratiquent surtout l'islam et le christianisme.

## **2.2. Activités socio-économiques**

### **2.2.1. Agriculture**

L'agriculture est l'une des principales activités économiques de la province du Noumbiel. Pratiquée avec des moyens rudimentaires, c'est une agriculture de subsistance basée sur la culture des céréales et des tubercules. Ces méthodes et techniques traditionnelles ne sont pas sans conséquences sur l'environnement avec la recherche incessante de nouvelles terres pour les cultures (défrichage et feux de brousse). Les cultures sont plus vivrières que de rentes. En effet les cultures de rentes sont essentiellement celles de l'igname, de l'arachide et de l'anacarde. Une bonne partie de ces produits est exportée vers les pays limitrophes comme la Côte d'Ivoire et le Ghana. Le maraîchage est peu développé et est pratiqué en saison sèche dans les bas-fonds. Les principales spéculations présentes sont : les céréales (mil, maïs, riz), l'arachide, les tubercules (igname, patate) et légumes.

### **2.2.2. Elevage**

Selon les documents de monographie des communes rurales du Nounbiel réalisés en 2005, l'élevage est beaucoup pratiqué au niveau de la province. Il est pratiqué à la fois par les exploitants autochtones qui sont en même temps agriculteurs et par des allogènes qui sont pour la plupart des Peulhs. On note l'élevage du gros bétail (bovins), petits ruminants (moutons, chèvres), des porcins ainsi que la volaille (poules, pintades, dindons, canards, pigeons). Le système d'élevage pratiqué est de type transhumant extensif pour les allogènes, les Peulhs semi-nomades surtout et du type sédentaire extensif pour les autochtones (agriculteurs et éleveurs). Ce sont plus les troupeaux des transhumants qui ont un effet sur la forêt classée, car ce sont eux qui y pénètrent de façon clandestine.

### **2.2.3. Exploitation des produits forestiers non-ligneux**

Dans le domaine des produits forestiers non-ligneux (PFNL), la forêt classée de Koulbi présente un potentiel important. La grande abondance relative de certaines espèces pourvoyeuses de PFNL, telles que *Vitellaria paradoxa*, *Detarium microcarpum* (Guill.et Perr.) illustre bien ce potentiel. De plus au vu de sa composition floristique, la FCK est riche en plantes mellifères. L'utilisation des produits forestiers non-ligneux fait partie intégrante des activités quotidiennes au niveau des ménages. La région du Sud-Ouest compte 36 espèces pourvoyeuses de produits forestiers non-ligneux dont certains sont vendus (Lamien et bamba, 2008). Selon Lamien et Vognan (2001) les PFNL contribuent pour 16 à 27% à la formation des revenus des femmes du Sud-Ouest du Burkina Faso. Au niveau de la zone de la FCK, les produits commercialisés sont entre autres les amendes et beurre de karité (*Vitellaria paradoxa*), «le soubala» (*Parkia biglobosa*), les fruits de tamarinier (*Tamarindus indica* L.), les feuilles et fruits de baobab (*Adansonia digitata* L.), les fruits du prunier noir (*Vitex doniana* Sweet), etc. Enfin signalons l'existence dans la zone de beaucoup de plantations d'anacardiens dont certains vergers sont localisés à l'intérieur de la forêt classée de Koulbi.

### **2.2.4. Chasse et pêche**

La chasse est pratiquée de façon traditionnelle. Elle concerne le petit gibier tels que les lièvres (*Lepus crawshayi*), les pintades sauvages (*Numida melegris*), les aulacodes (*Thryonomys swinderianus*), les rats voleurs (*Cricetomys gambianus*), écureuils (*Heliosciurus gambianus*), etc. Cependant les services techniques signalent l'existence du braconnage. Ce braconnage serait

pratiqué aussi bien par les populations locales que par des braconniers venus du Ghana ou de la Côte d'Ivoire.

L'activité de la pêche est connue dans la zone et il existe des groupements de pêcheurs selon le service forestier. Mais l'activité est peu développée malgré la disponibilité de la ressource au niveau du fleuve Mouhoun et la permanence de ce fleuve. La pêche est menée avec des techniques et moyens traditionnels qui sont d'efficacité limitée. La production est généralement écoulee ou consommée au niveau local. Les espèces de poissons rencontrées sont les silures (*Clarias spp*), les carpes (*Tilapias spp*), le poisson cheval (*Gymnarchus niloticus*), les sardines (*Barbus spp*).

### **III. HISTORIQUE DE LA FORET CLASSEE DE KOULBI**

#### **3.1.Date de classement de la forêt**

La forêt classée de Koulbi a été constituée en forêt domaniale classée par l'Arrêté 687/FOR du 04 août 1955 signé du Gouverneur du territoire de Haute-Volta (actuel Burkina Faso). Sa superficie est de 40.000 ha selon l'Arrêté de classement. Au moment du classement de la forêt classée de Koulbi, les droits d'usage suivants ont été reconnus aux collectivités autochtones voisines: ramassage du bois mort, cueillette des fruits et des plantes médicinales, récolte du miel sans abatage des arbres ni mise à feu, exercice de la pêche traditionnelle dans les rivières et les marigots sous réserve de conformité avec la réglementation sur la pêche, exercice de la chasse traditionnelle avec les armes de chasse de fabrication locale, à exclusion de la chasse au feu. Par ailleurs l'Arrêté de classement interdisait la chasse à l'aide d'armes perfectionnées dans le périmètre de la forêt classée de Koulbi.

#### **3.2.Gestion antérieure de la forêt classée de Koulbi**

A l'instar d'autres massifs forestiers du pays, la FCK a connu des périodes d'occupation par les producteurs de la région et d'ailleurs qui y ont créé des villages et hameaux de cultures et implanté des champs de cultures et des vergers d'anacardiens. Face à l'occupation de la forêt, l'administration a eu une position instable, allant de la fermeté avec des opérations de déguerpissements (1974, 1992, 1998 et récemment en 2009) à la complaisance (reconnaissance administrative de villages, implantation d'infrastructures sociales). De nos jours, les différents acteurs (Service forestier, les populations locales et PROGEREF) sont unanimes à reconnaître

que les trois premières opérations de déguerpissement (1974, 1992, 1998) n'ont pas eu d'effet durable par manque d'aménagement, ce qui a entraîné la recolonisation de la forêt classée.

En effet, jusqu'à l'intervention du PROGEREF (Projet de Gestion Durable des Ressources Forestières dans les Régions Sud-ouest, Centre-Est et Est) ces dernières années, la FCK n'avait bénéficié d'aucune mesure d'aménagement. Il convient cependant de signaler la tentative infructueuse de mise en concession menée par le ministère en charge des forêts dans le cadre des réformes de la gestion de la faune entreprise dans les années 1995. En effet, la FCK avait été proposée sur une liste de zones à concéder pour la saison 1996-1997. A l'époque, les formes d'exploitation qui avaient été retenues pour cette forêt étaient la chasse, le tourisme et la pêche. Mais cette démarche de concession n'a pas pu aboutir par manque de concessionnaire. Le PROGEREF a fait une tentative d'aménagement infructueuse car à part la délocalisation partielle des populations hors de la forêt depuis avril 2009, aucune action d'aménagement de la forêt classée de Koulbi n'a été réalisée.

## **IV. DEFINITION DE QUELQUES CONCEPTS DE BASE**

### **4.1. Définition et origine de la télédétection**

La télédétection est la technique qui, par l'acquisition d'images, permet d'obtenir de l'information sur la surface de la terre sans contact direct avec celle-ci. La télédétection englobe tout le processus qui consiste à capter et à enregistrer l'énergie d'un rayonnement électromagnétique émis ou réfléchi, à traiter et à analyser l'information, pour ensuite mettre en application cette information. (Centre Canadien de Télédétection: <http://www.ccrs.nrcan.qc.ca>). Elle est habituellement définie comme la science, la technologie ou l'art d'obtenir à distance des informations sur des objets ou des phénomènes.

Le terme « Télédétection » (*Remote sensing*) a été utilisé pour la première fois en 1960 par Mme Evelyn L. Pruitt du bureau de la recherche navale des Etats-Unis, pour regrouper la photographie aérienne, l'obtention d'images par satellite, ainsi que d'autres formes de collecte de données à distance. La technique de la télédétection remonte au XIXème siècle. La mise au point de la photographie en 1839 par les Français J. Daguerre (1787-1851) et Joseph Nicephore Niepce (1827) a donné naissance à la photogrammétrie (technique permettant de réaliser des mesures spatiales à partir de photographies ou d'autres types d'images). En 1957, avec le lancement

réussi des satellites en Ex-Union Soviétique puis aux Etats-Unis en 1958, avec en particulier, le satellite LANDSAT de la NASA (National Aeronautics and Space Administration) des Etats-Unis en 1972, l'ère d'utilisation paisible et d'application civile des techniques de télédétection est inaugurée. Depuis lors, divers capteurs optiques, des radars, mais également une variété de plate-formes, tels que le ballon, l'avion et le satellite ont été développés pour différentes applications.

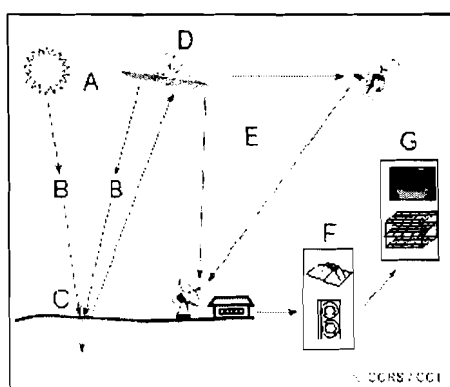
#### 4.2.Principe de la télédétection

La méthode d'acquisition utilise normalement la mesure des rayonnements électromagnétiques émis ou réfléchis des objets étudiés dans certain domaine de fréquence (infrarouge, visible, micro-ondes). Ceci est rendu possible par le fait que les objets étudiés (plantes, maisons, surfaces d'eau ou masses d'air) émettant ou réfléchissant du rayonnement à différentes longueurs d'onde et intensités selon leur état.

Le principe de la télédétection repose donc sur l'acquisition de signaux de radiation ou de réflexion de l'objet, par exemple, l'utilisation des sols, par un capteur à distance installé sur différentes plates-formes (tels que l'avion, le satellite) en utilisant les bandes visibles, infrarouge et micro-onde.

#### 4.3.Processus de la télédétection

Le processus de la télédétection comporte les sept étapes que nous élaborons ci-après (figure 2):



**Figure 2: Illustration du processus de télédétection**



- A)* Source d'énergie ou d'illumination: à l'origine de tout processus de télédétection se trouve nécessairement une source d'énergie pour illuminer la cible,
- B)* Rayonnement et atmosphère : durant son parcours entre la source d'énergie et la cible, le rayonnement interagit avec l'atmosphère. Une seconde interaction se produit lors du trajet entre la cible et le capteur,
- C)* Interaction avec la cible: une fois parvenue à la cible, l'énergie interagit avec la surface de celle-ci. La nature de cette interaction dépend des caractéristiques du rayonnement et des propriétés de la surface,
- D)* Enregistrement de l'énergie par le capteur: une fois l'énergie diffusée ou émise par la cible, elle doit être captée à distance (par un capteur qui n'est pas en contact avec la cible) pour être enfin enregistrée,
- E)* Transmission, réception et traitement: l'énergie enregistrée par le capteur est transmise, souvent par des moyens électroniques, à une station de réception où l'information est transformée en images (numériques),
- F)* Interprétation et analyse: une interprétation visuelle et/ou numérique de l'image traitée est ensuite nécessaire pour extraire l'information que l'on désire obtenir sur la cible,
- G)* Application: la dernière étape du processus consiste à utiliser l'information extraite de l'image pour mieux comprendre la cible, pour nous en faire découvrir de nouveaux aspects ou pour aider à résoudre un problème particulier.

#### **4.4.Objectifs et utilisations de la télédétection**

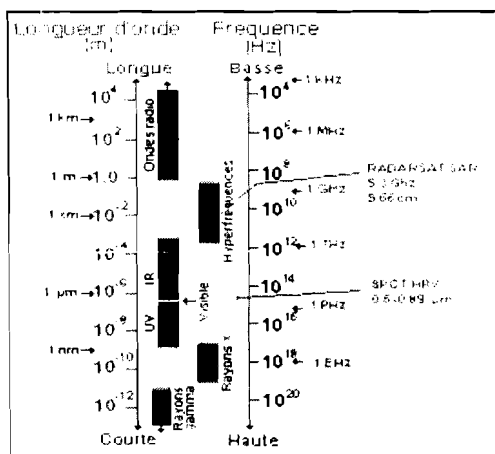
L'objectif principal de la télédétection est de cartographier les ressources terrestres et d'en effectuer le suivi. Par rapport aux techniques de levés classiques, la télédétection par satellite est précise et rentable ; et permet d'obtenir des données en temps utile. La télédétection est utilisée pour la gestion des ressources dans les domaines de la géologie, l'urbanisme, le climat, la végétation, l'agriculture, etc.

Le principal avantage est que les observations faites par télédétection contribuent à la gestion intégrée de l'environnement et des ressources naturelles, car l'environnement et tout ce qu'il renferme peuvent être observés comme un seul et même système.

Les applications terrestres de la télédétection sont donc extrêmement variées et sont utilisées dans plusieurs disciplines scientifiques telles que la cartographie, l'agriculture, la géologie, l'hydrologie, la météorologie et l'océanographie, la prospection minière, mais aussi la surveillance des cultures ou du couvert forestier, l'urbanisme, l'aménagement, le génie civil, etc.

#### 4.5.Spectre électromagnétique

Le spectre électromagnétique représente la répartition des ondes électromagnétiques en fonction de leur longueur d'onde, de leur fréquence ou bien encore de leur énergie (figure 3).



**Figure 3 : Illustration du spectre électromagnétique (source : Centre canadien de télédétection)**

En partant des ondes les plus énergétiques, on distingue successivement:

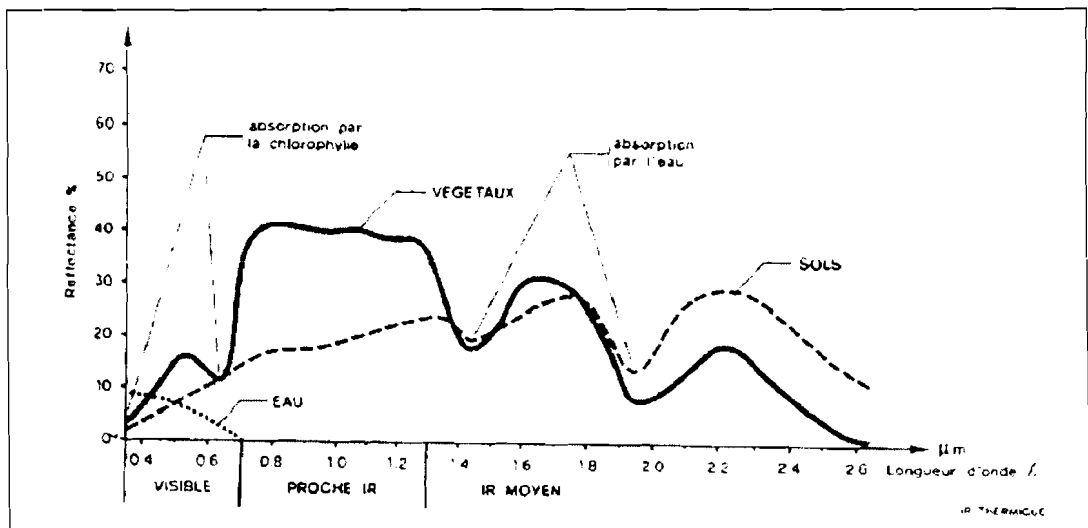
- **les rayons gamma ( $\gamma$ ):** ils sont dus aux radiations émises par les éléments radioactifs. Très énergétiques, ils traversent facilement la matière et sont très dangereux pour les cellules vivantes. Leurs longueurs d'onde s'étendent de  $10^{-5}$  nm à  $10^{-3}$  nm,
- **les rayons X:** avec des rayonnements très énergétiques, ils traversent plus ou moins facilement les corps matériels et un peu moins nocifs que les rayons gamma. Ils sont utilisés notamment en médecine pour les radiographies, dans l'industrie (contrôle des bagages dans le transport aérien), et dans la recherche pour l'étude de la matière (rayonnement synchrotron). Les rayons X ont des longueurs d'onde comprises entre un  $10^{-3}$  nm et 0,1 nm,

- **les ultraviolets:** avec des rayonnements qui restent assez énergétiques, ils sont nocifs pour la peau. Heureusement pour nous, une grande part des ultraviolets est stoppée par l'ozone atmosphérique qui sert de bouclier protecteur aux cellules. Leurs longueurs d'onde sont comprises entre 0,1 nm et  $4 \cdot 10^{-1} \mu\text{m}$ ,
- **le domaine visible:** il correspond à la partie très étroite du spectre électromagnétique perceptible par l'œil humain. C'est dans le domaine visible que le rayonnement solaire atteint son maximum (0,5  $\mu\text{m}$ ), et c'est également dans cette portion du spectre que l'on peut distinguer l'ensemble des couleurs de l'arc en ciel, du bleu au rouge. Il s'étend de 0,4  $\mu\text{m}$  à 0,8  $\mu\text{m}$ ,
- **l'infrarouge:** un rayonnement est émis par tous les corps dont la température est supérieure au zéro absolu (-273°C). En télédétection, on utilise certaines bandes spectrales de l'infrarouge pour mesurer la température des surfaces terrestres et océaniques, ainsi que celle des nuages. La gamme des infrarouges couvre les longueurs d'onde allant de 0,8  $\mu\text{m}$  à  $10^{-3} \text{ m}$ ,
- **les ondes radar ou hyperfréquences:** cette région du spectre est utilisée pour mesurer le rayonnement émis par la surface terrestre et s'apparente dans ce cas à la télédétection dans l'infrarouge thermique, mais également par les capteurs actifs comme les systèmes radar. Un capteur radar émet son propre rayonnement électromagnétique et en analysant le signal rétrodiffusé, il permet de localiser et d'identifier les objets, et de calculer leur vitesse de déplacement s'ils sont en mouvement. Et ceci, quelle que soit la couverture nuageuse, de jour comme de nuit. Le domaine des hyperfréquences s'étend des longueurs d'onde de l'ordre du centimètre jusqu'au mètre,
- **et les ondes radio:** ce domaine de longueurs d'onde est le plus vaste du spectre électromagnétique et concerne les ondes qui ont les plus basses fréquences. Il s'étend des longueurs d'onde d'un mètre à plusieurs km. Relativement faciles à émettre et à recevoir, les ondes radio sont utilisées pour la transmission de l'information (radio, télévision et téléphone).

#### 4.6. Comportements spectraux des objets terrestres : végétation, eaux et sols

L'analyse et l'interprétation des images de télédétection se font en fonction du comportement spectral qui est le produit de l'interaction du rayonnement et de l'objet à traiter. Les objets

pouvant être traités par la télédétection sont divers. La figure (4) illustre bien les comportements spectraux des végétaux, des eaux et des sols.



**Figure 4:** Courbe de réflectance des végétaux, sols et eaux (Source : Girard, 1999)

#### 4.6.1. Comportement spectral de la végétation

En télédétection, le terme végétation fait référence à la chlorophylle, entre autre, le comportement spectral dépend aussi de la nature de l'espèce, la pigmentation, du contenu en eau de la plante, du stade de développement, du taux de recouvrement et de l'état du peuplement. D'après la figure 4, on constate que la réflectance de la végétation est faible, avec un maximum de 0,55 μm (le vert) et un minimum de 0,66 μm (le rouge), et élevée dans le proche infrarouge avec 0,7 - 1 μm. Généralement, la végétation est étudiée en télédétection par les indices de végétation (l'indice de verdure, l'indice de végétation normalisé, etc.).

#### 4.6.2. Comportement spectral des eaux

Les réponses spectrales des sols se caractérisent par des valeurs de réflectance régulièrement croissantes dans le visible et le proche infrarouge, tandis qu'elles sont généralement faibles dans le moyen infrarouge. Ces valeurs, d'autant plus faibles que les sols sont plus humides, sont particulièrement faibles pour les bandes d'absorption de l'eau à 1,45; 1,95 et 2,45 μm (figure 4). Dans le visible et le proche infrarouge, la réflectance est liée aux premiers millimètres du sol, et

donc aux états de surfaces définis par la composition et l'organisation de la surface des sols à un instant donné (Escadafal, 1989)

#### **4.6.3. Comportement spectral des sols**

Le comportement spectral de l'eau présente un maximum dans la bande bleue et quasi nulle dans l'infrarouge. La turbidité, transport de matériaux en suspension et une eau peu profonde, modifient ses caractéristiques et la réflectance devient plus importante pour toutes les longueurs d'ondes.

### **4.7. Système d'information géographique (SIG)**

#### **4.7.1. Définition et historique des SIG**

«Un système d'information géographique (SIG) est un système informatique permettant à partir de diverses sources, de rassembler et organiser, de gérer, d'analyser et de combiner, d'élaborer et de présenter des informations localisées géographiquement contribuant notamment à la gestion de l'espace.» (Buche et *al.*, 1992).

Un système d'information géographique (SIG) peut être perçu comme un ensemble de principes, méthodes, instruments et de données à référence spatiale utilisés pour saisir, conserver, transformer, analyser, simuler et cartographier les phénomènes et processus distribués dans l'espace géographique (Theriault, 1995). Par ses performances techniques notamment la représentation cartographique, l'analyse et la simulation, il se révèle être un puissant moyen de prise de décision de suivi et d'aménagement des ressources naturelles.

La conception des SIG a été premièrement mise en œuvre par Dr Roger Tomlinson et son équipe en 1962, afin d'établir un système d'information géographique du Canada (CGIS), le premier SIG du monde (Wu, 2003). Dans les années 1970, une tentative d'application d'un tel système a été entreprise aux Etats-Unis. Depuis 1980, grâce au développement des techniques informatiques, les SIG ont évolué et ont été utilisés dans de nombreux domaines de recherches, telles que la cartographie, la gestion de territoire, la surveillance d'occupation des sols et l'analyse du changement de l'environnement (pollution, catastrophes naturelles, etc.), les analyses géologiques, agricoles et démographiques (Wu, 2003).

#### 4.7.2. Modes de représentation des SIG

Il existe deux approches fondamentales pour représenter l'espace géographique dans un système d'information géographique: le mode vectoriel et le mode matriciel. Ces deux modes sont complémentaires et permettent de créer des modèles d'une qualité supérieure.

- ✓ **Le mode vectoriel:** il représente les entités géographiques par des points, des lignes, des surfaces (polygones) et des volumes. La référence spatiale pour chaque entité est définie par des points qui possèdent une coordonnée géographique unique. Les avantages du mode vectoriel sont:
  - résultats graphiques et calculs précis (distance, superficie, périmètre, etc.),
  - meilleure présentation graphique (conforme à une carte),
  - et requiert moins d'espace disque.
- ✓ **Le mode matriciel:** il divise l'espace géographique en cellules régulières (habituellement carrées) que l'on nomme pixel. La localisation d'une entité est définie par la ligne et la colonne correspondant à sa position. La surface couverte par le pixel représente la résolution spatiale. Les avantages du mode matriciel:
  - facilite les différentes analyses spatiales (superposition de matrices, interpolation et classification),
  - structure de données simples,
  - et permet de manipuler les images de télédétection

#### 4.8. Caractéristiques des satellites : LANDSAT TM et LANDSAT ETM+

Le tableau II nous renseigne sur les gammes de bandes spectrales, la résolution spatiale, la fauchée, la localisation spectrale, et l'application potentielle des capteurs LANDSAT TM et ETM+.

**Tableau II: Caractéristiques spectrales de LANDSAT TM et ETM+**

Capteurs	Gamme de bandes (µm)	Localisation spectrale	Résolution spatiale(m)	Fauchée (km)	Application principale
TM&ETM+	B1: 0,45-0,52	Bleu	30x30	185	Pénétration des plans d'eau, cartographie des eaux territoriales
	B2: 0,52-0,60	Vert	30x30	185	Distinction de la végétation, évaluation de la vigueur et identification des différents types de cultures
	B3: 0,63-0,69	Rouge	30x30	185	Absorption de la chlorophylle, et différenciation des espèces végétales
	B4: 0,76-0,90	Proche IR	30x30	185	Détermination des types de végétation et surveillance de la vigueur et de la biomasse, définition des limites des plans d'eau
	B5: 1,55-1,75	Moyen IR	30x30	185	Indicateurs de végétation et d'humidité du sol utilisés pour la différenciation de la neige et des nuages
	B6: 10,4-12,5	IR thermique	TM 120x120 ETM+ 60x60	185	Analyse des contraintes de végétation, distinction de l'humidité du sol et cartographie thermique
	B7: 2,08-2,35	Moyen IR	30x30	185	Identification des types de roches et de minéraux, cartographie thermique et mesure de l'humidité du sol et de la végétation
	P: 0,50-0,90 pour ETM	Visible et proche IR	15x15	185	Image à la résolution plus élevée

Source: Wu, 2003, <http://landsat.gsfc.nasa.gov/images/>

## ***CHAPITRE II-METHODOLOGIE***



## I. MATÉRIELS

Dans le cadre de cette étude deux types de matériels ont été utilisés : matériels biologique et matériel technique.

Le matériel biologique est constitué par les échantillons de plantes récoltés pour l'identification au laboratoire.

Le matériel technique utilisé est composé de:

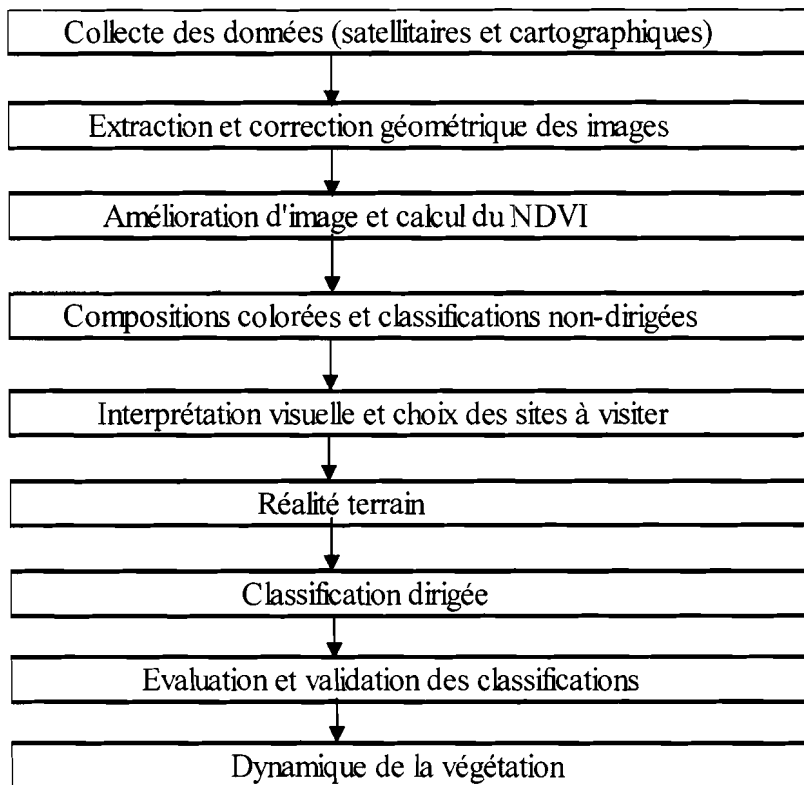
- deux images LANDSAT :
  - LANDSAT 5 TM, scène Path 195, Row 53 du 18/ 01/ 1986 couvrant la FCK
  - LANDSAT 7 ETM+, scène Path 195, et Row 53 du 09/02/2006 couvrant la FCK
- une carte d'occupation du sol à l'échelle 1/100000 du PROGEREF (2010) a été utilisée lors de la phase «*réalité terrain*»,
- un appareil photographique pour illustrer les unités de végétation,
- un GPS (*Global Positioning System*) Garmin-76 Cx a été utilisé pour localiser les différents points d'échantillonnage et des points d'amers sur le terrain,
- un rouleau de fil sisal, un ruban de 50 m, une équerre et des piquets pour délimiter les parcelles sur le terrain,
- deux sécateurs pour prélever des échantillons de plantes,
- des sachets plastiques pour transporter les spécimens récoltés,
- deux presses pour sécher les spécimens récoltés,
- les fiches de relevé de végétation (Annexe1) pour noter les noms des espèces ligneuses et les informations utiles (lieu et date de récolte, coordonnées géographiques de la parcelle, taux de recouvrement selon l'échelle de Braun-Blanquet, etc.), et des fiches d'enquêtes (Annexe 2),

- l'identification et la nomenclature des espèces ligneuses sur le terrain ont été faites en se référant à Arbonnier, (2009).
- les logiciels informatiques : Erdas Imagine 9.1, Excel, Epi-Info 3.7.2, et ArcGIS 9.3, ont été utilisés respectivement pour le traitement numérique d'image, le traitement statistique des données sur la flore, le traitement statistique des données d'enquêtes et la cartographie de la couverture végétale de la forêt classée de Koulbi,
- et les données pluviométriques provenant de la Direction nationale de la météorologie (DNM) sont issues de la station de Batié. Cette station couvre notre zone d'étude et bénéficie d'une assez-longue série de données pluviométriques (1986 et 2006). Pour l'interprétation de la dynamique de la végétation (couverture ligneuse) nous avons exploité ces données.

## II. MÉTHODES

### 2.1. Cartographie de la végétation

La méthode utilisée dans cette étude comprend le traitement et l'analyse des images satellitaires. Pour la validation des résultats obtenus, une mission de vérification sur le terrain a été effectuée et l'exploitation des données complémentaires existantes (la carte d'occupation du sol du PROGEREF de 2010). Les différentes étapes suivies pour les deux dates sont présentées par la figure (5)



**Figure 5:** Différentes étapes de la méthodologie suivie pour la cartographie de la forêt classée

#### 2.1.1. Collecte des données satellitaires et cartographiques disponibles

La première démarche de ce travail a consisté à la collecte de données cartographiques nécessaires. La carte d'occupation du sol de la forêt classée de Koulbi réalisée par le PROGEREF à l'échelle 1/20000 a été obtenue en version numérisée à la Direction Générale des Forêts et de la Faune. Les images satellitaires LANDSAT TM (p195/r053) du 18 janvier 1986 et LANDSAT ETM+ (p195/r053) du 16 février 2006 ont été téléchargées du site Web de

l'Université de MARYLAND. Ces images nous ont permis d'élaborer les cartes d'occupation des sols à ces deux dates (1986 et 2006). L'image de 1986 a été choisie car c'est la plus ancienne disponible pour cette zone. Enfin, l'image de 2006 est la plus récente gratuitement disponible pour la zone d'étude.

### 2.1.2. Extraction de la zone d'étude et corrections géométriques des images

La phase d'extraction et de correction géométrique des données satellitaires a consisté à découper sur les différentes images LANDSAT des portions d'images centrées sur la forêt classée de Koulbi avec le logiciel ArcGis 9.3. Ces différentes fenêtres de travail ont fait l'objet d'une correction géométrique. Le repérage de points d'amer (croisements de routes et de rivières, limites de forêt matérialisées), identifiés aussi bien sur l'image satellitaire que sur la carte d'occupation des terres du PROGEREF a permis le redressement des distorsions géométriques des images.

### 2.1.3. Amélioration des images et calcul de l'indice de végétation normalisé (NDVI)

La phase suivante a consisté en une amélioration des images par rehaussement de contraste. Cette opération a permis d'apprécier la qualité visuelle de chaque canal brut. Par la suite nous avons calculé l'indice de végétation normalisé (NDVI) qui permet de mettre en évidence la végétation, et le sol nu.

Le NDVI traduit l'activité photosynthétique du couvert végétal à l'instant de la mesure (Rouse *et al.*, 1974). Il se calcule selon la formule 1 ci-dessous:

$$NDVI = (PIR - R) / (PIR + R) \quad (1)$$

Où: **PIR** est la réflectance de la végétation dans le proche infrarouge et **R** celle dans le rouge ; ainsi, le NDVI se calcule, respectivement, à partir des bandes TM et ETM+ selon les formules (1) et (2) :

$$NDVI = (TM4 - TM3) / (TM4 + TM3) \quad (2)$$

$$NDVI = (ETM+4 - ETM+3) / (ETM+4 + ETM+3) \quad (3)$$

Sa valeur se situe entre -1 et 1. Plus on s'approche de 1 l'indice de végétation normalisé est fort.

#### **2.1.4. Compositions colorées et classifications non-dirigées**

La composition colorée est une combinaison des bandes spectrales reposant sur le principe d'affectation des bandes d'image à trois plans d'affichage basé sur trois couleurs primaires : rouge, vert et bleue. Des sept bandes que comportent nos images LANDSAT TM 1986 et ETM+ 2006, seules les bandes 4; 3 et 2 ont été respectivement affectées aux canaux Rouge, Vert et Bleu donnant une composition colorée en fausses couleurs standards.

Les classifications non dirigées, basées sur les signatures spectrales et capables de segmenter l'image en classes d'occupation du sol, ont été effectuées. L'algorithme de ces classifications non dirigées s'appuie sur la détermination des pics de fréquence de l'histogramme de l'image à classifier (Collet, 1992). Le logiciel Erdas Imagine 9.1 nous a permis de choisir de déterminer partiellement dix (10) classes spectrales regroupées en trois (03) grands thèmes : végétation, sol, et eau. La classification en 10 classes a ensuite été affinée progressivement et les classes semblables ont été fusionnées. Cette fusion des classes initiales a permis de ramener le nombre de classes de dix (10) à six (06) classes d'occupation du sol sur les cartes finales.

#### **2.1.5. Interprétation visuelle et choix des sites à visiter**

Une exploitation par interprétation visuelle des compositions colorées et des classifications automatiques ont permis de sélectionner 50 parcelles représentant les différents types de végétation sur les images de 1986 et de 2006. Ces parcelles ont fait, par la suite, l'objet de visites sur le terrain. La composition colorée et le NDVI de l'image 2006 ont permis de bien discerner ces surfaces. La reconnaissance des différentes unités d'occupation du sol nous a permis de faire le choix des parcelles d'entraînement pour la classification dirigée. Aussi a-t-elle facilité l'interprétation visuelle et le choix des parcelles d'entraînement sur les images (la composition colorée et NDVI) de l'image de 1986.

#### **2.1.6. Réalité terrain et collecte des données floristiques**

Une mission sur le terrain pour reconnaissance et validation des résultats a été organisée du 23 avril au 07 mai 2012. Elle a permis de:

- reconnaître et définir les différentes formations végétales et toutes les autres unités thématiques selon leurs réponses spectrales sur les compositions colorées,
- caractériser les types de végétation en fonction de leur physionomie, leur composition floristique et leur évolution,
- vérifier les résultats de l'interprétation visuelle des images satellitaires et apporter des précisions pour les zones difficiles à interpréter,
- noter l'impact de l'action humaine sur le milieu naturel dans les changements et dégradations observés,
- et procéder à l'évaluation de la qualité des résultats obtenus par les classifications non dirigées.

Pour cette phase de notre étude nous avons préparé des fiches de relevés de végétation afin de recueillir certaines informations que les images satellitaires ne sont pas en mesure de nous fournir. Au total 50 relevés, répartis de façon équilibrée dans les divers types de végétation, ont été faits. Sur la base de ces différents types d'occupation du sol, 50 parcelles ont été retenues pour une caractérisation de la flore et de la végétation. Les coordonnées des différents sites (50) ont été relevées puis enregistrées dans un GPS *Garmin 76 Cx* (Annexe 3). Cette réalité terrain nous a permis d'avoir une idée sur la composition floristique de l'espace protégé et de décrire les types de végétation en fonction de leur physionomie.

La description des types de végétation de la forêt classée de Koulbi a été faite en se référant à la classification des formations végétales établie en 1956 à Yangambi (Aubreville, 1957). Cela nous a permis de retenir six (06) classes d'occupation du sol que sont: galerie forestière (1), forêt claire (2), savane boisée (recouvrement ligneux compris entre 25 et 50 %) (3), savane arborée (recouvrement ligneux compris entre 5 et 25 %) (4), savane arbustive (recouvrement des ligneux dépassant rarement les 15 %) (5) et les champs (6). L'analyse de l'image LANDSAT de 2006 de la zone de Koulbi en considérant les bandes (2), (3) et (4) a permis d'identifier six (06) classes d'occupation du sol à l'intérieur de la forêt classée de Koulbi.

### **2.1.7. Classifications dirigées**

Sur la base des descriptions physionomiques et floristiques des sites visités, une classification dirigée par la méthode de maximum de vraisemblance a été effectuée. Ainsi, on a pu distinguer

six classes. L'algorithme de classification selon le maximum de vraisemblance calcule une fonction de probabilité multidimensionnelle qui permet de déterminer la probabilité de chaque pixel d'appartenir à l'une des catégories correspondant aux signatures spectrales (Collet, 1992).

### **2.1.8. Evaluation et validation des classifications : Matrices de confusion**

Les matrices de confusion des classifications ont été calculées pour valider les classifications réalisées. Ces matrices permettent de vérifier la qualité de l'apprentissage et donnent une estimation de la validité des classifications. La matrice de confusion se présente comme suit :

- les lignes représentent l'affectation des pixels à chaque thème après classification,
- les colonnes indiquent la répartition réelle des pixels dans chaque thème,
- et la diagonale représente les pourcentages des pixels bien classés.

### **2.1.9. Evaluation de la dégradation du couvert végétal.**

Enfin, une évaluation des superficies des différents types de végétation et d'occupation du sol a été faite sous le logiciel ArcGis 9.3. Cette évaluation a servi à analyser l'évolution des différents éléments de l'occupation du sol dans la forêt classée de Koulbi entre 1986 et 2006. Le taux d'évolution moyen annuel de chaque élément de l'occupation du sol a été calculé suivant la formule :

$$T_x = [((S_{2006} - S_{1986}) / (S_{1986})) \times 100] / 21 \quad (4)$$

## **2.2. Variabilité pluviométrique: calcul de l'indice standardisé de précipitations ou indice de Nicholson**

Le climat est l'un des facteurs essentiels dont dépend la couverture végétale dans la zone soudano-sahélienne. La pluviométrie représente un facteur écologique déterminant car elle permet de différencier les climats de cette zone. Le développement des formations végétales dépend non seulement de la quantité de pluie tombée, mais aussi de sa répartition temporelle. L'analyse de l'indice standardisé des précipitations ou Standardized Precipitation Index (SPI) (Bergaoui et Alouini, 2001) permet d'interpréter la dynamique de la couverture ligneuse en relation avec l'évolution de la pluviométrie. Les données pluviométriques provenant de la Direction nationale de la météorologie (DNM) sont issues de la station de Batié. Cette station couvre la zone d'étude et bénéficie d'une longue série de données pluviométriques (1971-2010).

Cet indice, bien adapté au suivi de la dynamique de la végétation, est utilisé pour quantifier les déficits de précipitations à différentes échelles temporelles. Sa formule est la suivante :

$$SPI = (X_i - X_m) / S_i \quad (5)$$

Où:

$X_i$  est le cumul des pluies pour une année  $i$ ,

$X_m$  et  $S_i$  sont respectivement la moyenne et l'écart type des pluies annuelles observées pour la série concernée.

Le calcul de cet indice permet de déterminer le degré d'humidité ou de sécheresse du milieu (Bergaoui et Alouini, 2001). Lorsque  $SPI > 2$ , on parle d'humidité extrême (HE); pour  $1 < SPI < 2$ , on a une humidité forte (HF); pour  $0 < SPI < 1$ , on a une humidité modérée (HM); pour  $-1 < SPI < 0$ , on a une sécheresse modérée (SM); si  $-2 < SPI < -1$ , on a une sécheresse forte (SF); et si  $SPI < -2$  la sécheresse est qualifiée d'extrême (SE).

Pour être représentatif, l'indice standardisé de précipitation exige des données sur au moins trente (30) ans, d'après l'Organisation mondiale de la météorologie (OMM).

L'indice standardisé de précipitations permet de mettre en exergue la période normale, la période humide et la période sèche:

- une période normale est une période pendant laquelle une fluctuation identique s'observe de part et d'autre de l'axe des abscisses. Dans ce cas, la moyenne annuelle est sensiblement égale à la moyenne de la pluviométrie totale,
- pendant la période humide, la moyenne annuelle est supérieure à la moyenne de la pluviométrie totale,
- enfin, la période sèche correspond à une période où la moyenne annuelle est inférieure à la moyenne pluviométrique totale.



### **2.3.Enquêtes**

Nous avons mené une enquête auprès des populations riveraines de huit (08) villages de la FCK. Dans chaque village nous avons enquêté 30 personnes (chef de ménages). Le chef de ménage était aidé par sa femme ou tout autre membre de la famille qui était disponible. Les entretiens avec les chefs de ménage ont permis de recueillir les informations suivantes:

- la perception des populations locales sur la dégradation de l'environnement,
- les causes de la dégradation du couvert végétal,
- la culture de l'igname et son impact sur la végétation,
- les superficies estimées des champs laissés dans la forêt lors du déguerpissement de 2009.

Nous avons également interrogé les notables (chef de terre) de chacun des huit (08) villages riverains pour avoir des informations sur le village. Les informations suivantes étaient recherchées:

- la date d'implantation du village,
- les raisons de leur installation à coté de l'espace protégé,
- et l'existence de sites sacrés au sein de la forêt classée.

A raison de nos limites linguistiques, nous avons eu besoin d'un interprète pour mener à bien nos enquêtes auprès des populations riveraines.

***CHAPITRE III-RESULTATS ET  
DISCUSSIONS***

# I. RÉSULTATS

## 1.1. Cartographie de la forêt classée

### 1.1.1. Types de végétation rencontrés dans la forêt classée de Koulbi

La forêt classée de Koulbi comporte cinq (05) types de végétation bien distincts que sont : forêt galerie, forêt claire, savane boisée, savane arborée et savane arbustive.

#### 1.1.1.1. Forêt galerie

C'est une forêt constituée d'arbres à cimes jointives ou presque, dont les hauteurs sont en grande majorité supérieures à 12-20m. Elle est répartie le long des cours d'eau. Le recouvrement des ligneux est compris entre 90 et 100%, et un sous-bois dense, avec présence de lianes. Dans cette formation végétale, les principales espèces qu'on y rencontre sont: *Aphania senegalensis*, *Dialium guineense*, *Cola laurifolia*, *Vitex chrysocarpa* (Planch.ex Benth.), *Vitex madiensis* (Oliv.), *Pterocarpus santalinoides* (L'Hér.ex DC.), *Ceiba pentadra* (L.) Gaertn., *Mitragyna inermis* (Willd.) Kuntze, *Daniellia oliveri* (Rolfe) Hutch. et Dalz., *Lonchocarpus cyanescens* (Schum. et Thonn.) Benth., *Paullinia pinnata* (L.), *Saba comorensis* (.Boj.ex DC.) Pichon

#### 1.1.1.2. Forêt claire

C'est une formation végétale dont le couvert arboré est assez dense, avec peu d'arbustes. Le recouvrement est compris entre 60 et 80%, avec un tapis herbacé réduit. Les principales essences qu'on y rencontre sont: *Anogeisus leiocarpus*, *Pterocarpus erinaceus* Poir., *Lannea barteri* (Oliv.) Engl., *Vitellaria paradoxa*, *Combretum adenogonium* Stend.ex A. Rich., *Combretum collinum* Fresen., *Flueggea virosa* (Roxb.ex Willd.) Voigt, *Isobertia doka*.

#### 1.1.1.3. Savane boisée

Dans ce type de formation végétale, il y a une dominance de la strate arborée avec un peu d'arbustes (écart entre les cimes de 2 à 15m). Le recouvrement des ligneux varie entre 30 et 60%. Comme principales espèces qu'on y trouve il y a: *Burkea africana*, *Isobertia doka*, *Isobertia tomentosa*, *Vitellaria paradoxa*, *Lannea acida* A. Rich., *Combretum molle* R. Br.ex G. Don, *Combretum collinum*, *Combretum adenogonium*, *Pterocarpus erinaceus*, *Entada africana* Guill.et Perr., *Maytenus senegalensis* (Lam.) Exell, *Gardenia erubescens* Stapf et Hutch.

#### **1.1.1.4.Savane arborée**

Cette formation végétale se caractérise par la dominance de la strate arborée avec assez d'arbustes (écart entre les cimes de 2 à 15m). Le recouvrement des ligneux est compris entre 30 à 60%. Les principales espèces rencontrées dans cette formation végétale sont: *Vitellaria paradoxa*, *Burkea africana* Hook.f., *Terminalia* sp, *Pterocarpus erinaceus*, *Entada africana*, *Combretum collinum*, *Combretum adenogonium*, *Lannea acida*, *Annona senegalensis* Pers., *Detarium microcarpum*.

#### **1.1.1.5.Savane arbustive**

Ce type de formation végétale a un tapis herbacé à base de vivaces où les arbustes dominent dans un rayon supérieur à 30m. Les arbres sont rares. Le recouvrement ligneux est compris entre 15 à 30%. Les espèces plus fréquentes sont: *Acacia gourmaensis* A. Chev., *Combretum nigricans* Lepr.ex Guill. et Perr., *Combretum adenogonium*, *Pseudocedrela kotschy* (Schweinf.) Harms, *Strychnos innocua* Del., *Strychnos spinosa* Lam., *Trichelia emetica* Vahl, *Entada africana*, *Acacia ataxacantha* DC., *Vitellaria paradoxa*, *Terminalia laxiflora* Engl., *Lannea acida*, *Combretum collinum*, *Annona senegalensis*, *Piliostigma thonningii* (Schumach.) Milne-Redh.

### 1.1.2. Interprétation visuelle

Les résultats de l'interprétation visuelle de la composition colorée et du NDVI de l'image de 2006, sont affichés dans le tableau III.

**Tableau III: Interprétation visuelle de la composition colorée et du NDVI de l'image de 2006**

Unités d'occupation du sol	Activité photosynthétique	NDVI	Composition colorée
Forêt galerie	Forte	Blanc	Vert
Forêts claire	Forte	Blanc	Vert
Savane boisée	Moyenne	Blanc et gris clair	Vert
Savane arborée	Moyenne	Blanc et gris clair	Vert
Savane arbustive	Faible	Gris sombre	Marron
Champ	Nulle	Noir	Bleu
Plan d'eaux	Nulle	Noir	Noir

### 1.1.3. Matrices de confusion

L'évaluation de la classification dirigée par maximum de vraisemblance de l'image LANDSAT ETM+ de 2006 de la forêt classée de Koulbi est représentée par la matrice de confusion (Tableau IV). Les valeurs en diagonale indiquent le pourcentage de pixels bien classés pour chaque unité d'occupation du sol. Le rapport de la somme des pixels bien classés sur le total de pixels utilisés dans la classification nous donne le pourcentage de classification global qui est de l'ordre de 87,49%.

**Tableau IV: Matrice de confusion de la classification de 2006**

	Forêt galerie	Forêt claire	Savane boisée	Savane arborée	Savane arbustive	Champs
Forêt galerie	<b>78,26</b>	16,4	13,77	0,74	0	0
Forêt Claire	14,13	<b>82</b>	0,4	0	0	0
Savane boisée	3,26	1,6	<b>73,28</b>	7,89	0	0
Savane arborée	4,35	0	12,55	<b>91,38</b>	0	0
Savane arbustive	0	0	0	0	<b>100</b>	0
Champs	0	0	0	0	0	<b>100</b>

**Précision globale=87,49%**

L'image LANDSAT TM de 1986 a fait l'objet d'une classification à l'aide de la même méthodologie que celle de 2006. L'évaluation de la classification de l'image de 1986 est résumée par la matrice de confusion (Tableau V).

**Tableau V: Matrice de confusion de la classification de l'image de 1986**

	Forêt galerie	Forêt claire	Savane boisée	Savane arborée	Savane arbustive	Champs
Forêt galerie	<b>92,73</b>	4,12	1,17	0	0	0
Forêt Claire	5,45	<b>82,35</b>	12,73	0	0	0
Savane boisée	1,82	13,53	<b>82,71</b>	3,22	0	0
Savane arborée	0	0	3,39	<b>96,78</b>	0	0
Savane arbustive	0	0	0	0	<b>100</b>	0
Champs	0	0	0	0	0	<b>100</b>

**Précision globale=92,43%**

### 1.1.4. Etats de l'occupation du sol en 1986 et en 2006

Les résultats issus des classifications permettent de quantifier l'occupation du sol et de mettre en exergue la dynamique du couvert végétal sur les deux dates. La superficie de la forêt classée de Koulbi est de 40000 ha (Tableau VI).

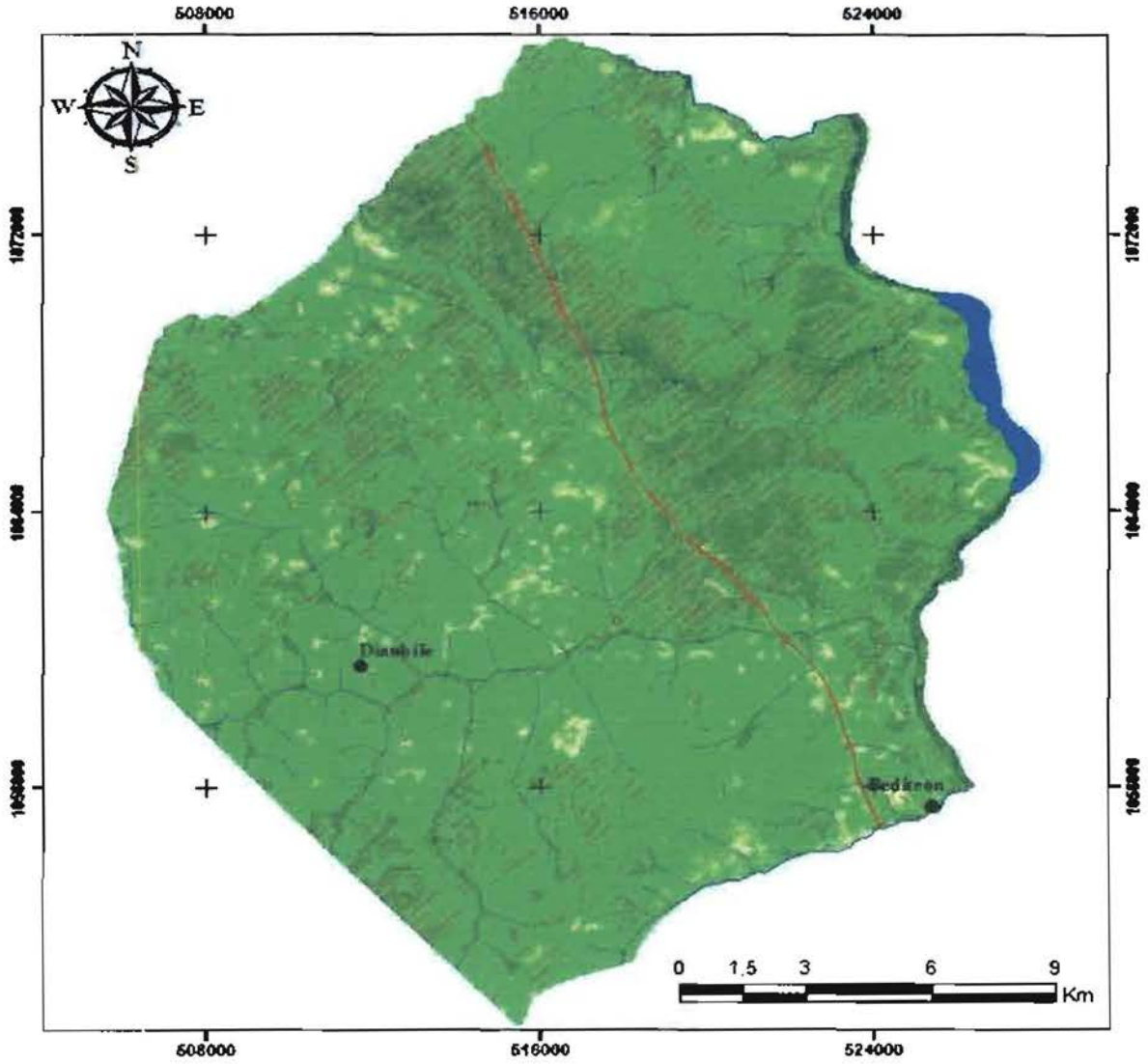
**Tableau VI: Evolution des classes d'occupation du sol dans la forêt classée de Koulbi entre 1986 et 2006**

Eléments de l'occupation du sol	Superficie (ha)				Evolution de 1986-2006	
	1986	%	2006	%	Taille (ha)	Taux d'évolution
Forêt galerie	627,28	1,57	584,09	1,46	-43,19	-0,33
Forêt claire	2060,72	5,15	1527,21	3,82	-533,51	-1,23
Savane boisée	11959,55	29,9	10532,6	26,33	-1426,95	-0,57
Savane arborée	22592,15	56,48	24696,75	61,74	2104,6	0,44
Savane arbustive	1483,45	3,71	2051,17	5,13	567,72	1,82
Champ	1276,85	3,19	608,18	1,52	-668,67	-2,49
Total	40000	100	40000	100		

#### 1.1.4.1. Etat de l'occupation du sol en 1986

La cartographie de l'occupation du sol en 1986 montre que la couverture ligneuse (forêt galerie, forêt claire, savane boisée, savane arborée et la savane arbustive) avait une superficie de 38.723,15 ha, soit 96,81% de l'ensemble de la forêt classée. Les forêts (forêt galerie et forêt claire) ne représentent que 6,72% de la superficie de la forêt classée ; comparativement aux savanes (savane boisée, savane arborée et savane arbustive) qui représentent à elles seules environ 90,09% de la superficie totale de la forêt classée. Ceci laisse apparaître que la forêt classée est dominée par les savanes. Ainsi la savane boisée, la savane arborée et savane arbustive occupent respectivement 11.959,55 ha, 22.592,15 ha et 1.483,45 ha. La forêt claire et la forêt galerie occupent respectivement 627,28 ha et 2.060,72 ha dans la forêt classée. Avec 1.276,85 ha, les champs représentent 3,19% de la superficie totale cartographiée. La majorité des superficies emblavées pour les cultures se situent à l'Ouest et au Sud de la forêt classée (Carte 3).

## OCCUPATION DES TERRES DE LA FORET CLASSEE DE KOULBI EN 1986



Source : Image Landsat TM 1986

BNDT 2002 (IGB)





Réalisation: TANKOANO Boalidia

Appui technique : OUEDRAOGO François

DGFF / MEDD

Avril 2012

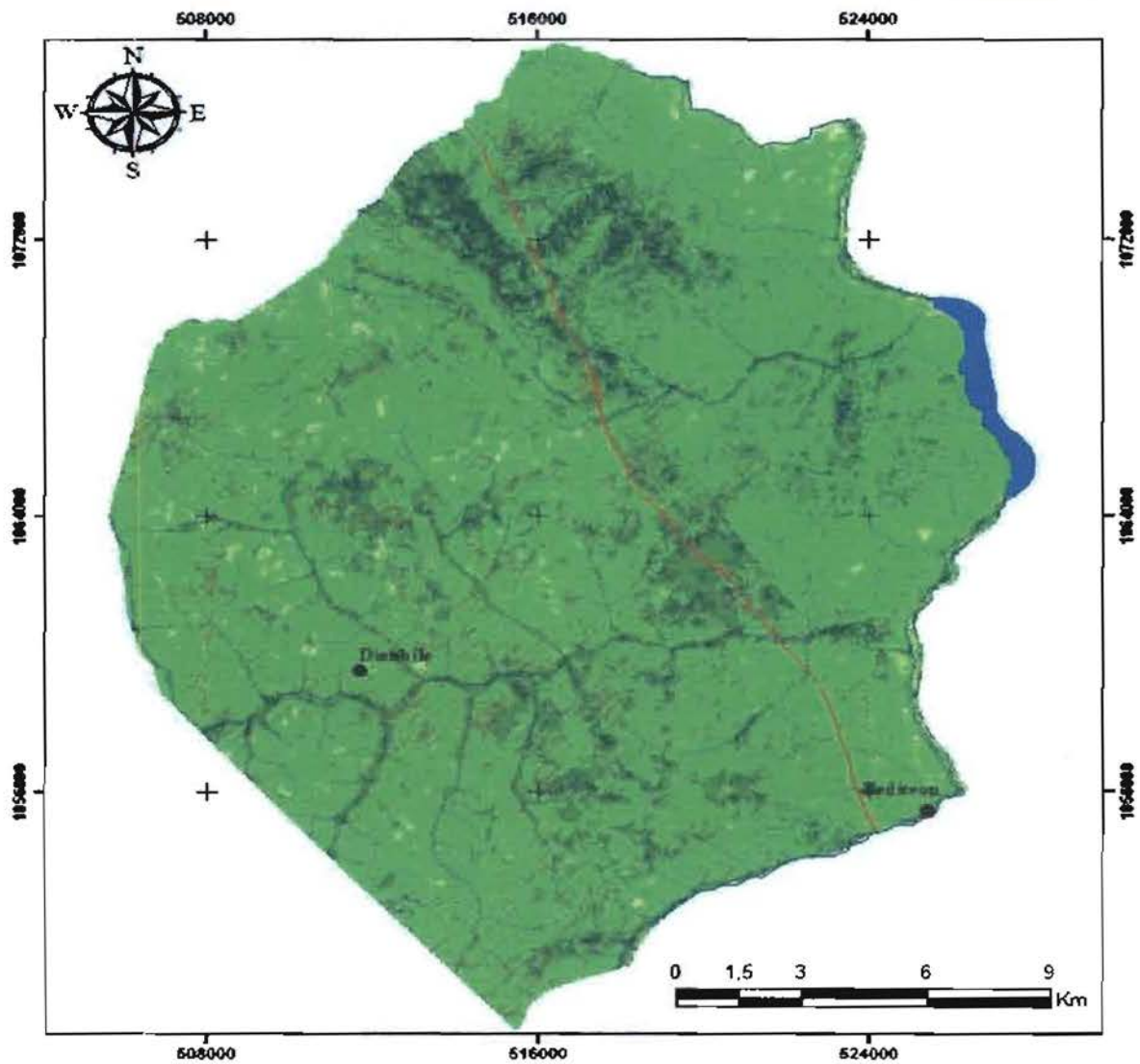
### Legende

- |   |                        |   |                  |
|---|------------------------|---|------------------|
| ●   | Localité               |  | Forêt galerie    |
| .....   | Piste                  |  | Forêt claire     |
| —   | Route Nationale N°11-7 |  | Savane boisée    |
| —   | Cours d'eau secondaire |  | Savane arborée   |
| —   | Cours d'eau principal  |  | Savane arbustive |
|  | Plan d'eau             |  | Champ            |

**Carte 3: Occupation du sol dans la FCK en 1986**



## OCCUPATION DES TERRES DE LA FORET CLASSEE DE KOULBI EN 2006



Source : Image Landsat ETM+ 2006

BNDI 2002 (IGB)

Réalisation : TANKOANO Boalidéo

Appui technique : OUEDRAOGO François

DGFF / MEDD

Avril 2012

### Legende

- |   |                        |   |                  |
|---|------------------------|---|------------------|
| ●   | Localité               |  | Forêt galerie    |
| .....   | Piste                  |  | Forêt claire     |
| —   | Route Nationale N°11-7 |  | Savane boisée    |
| ---   | Cours d'eau secondaire |  | Savane arborée   |
| —   | Cours d'eau principal  |  | Savane arbustive |
|  | Plan d'eau             |  | Champ            |

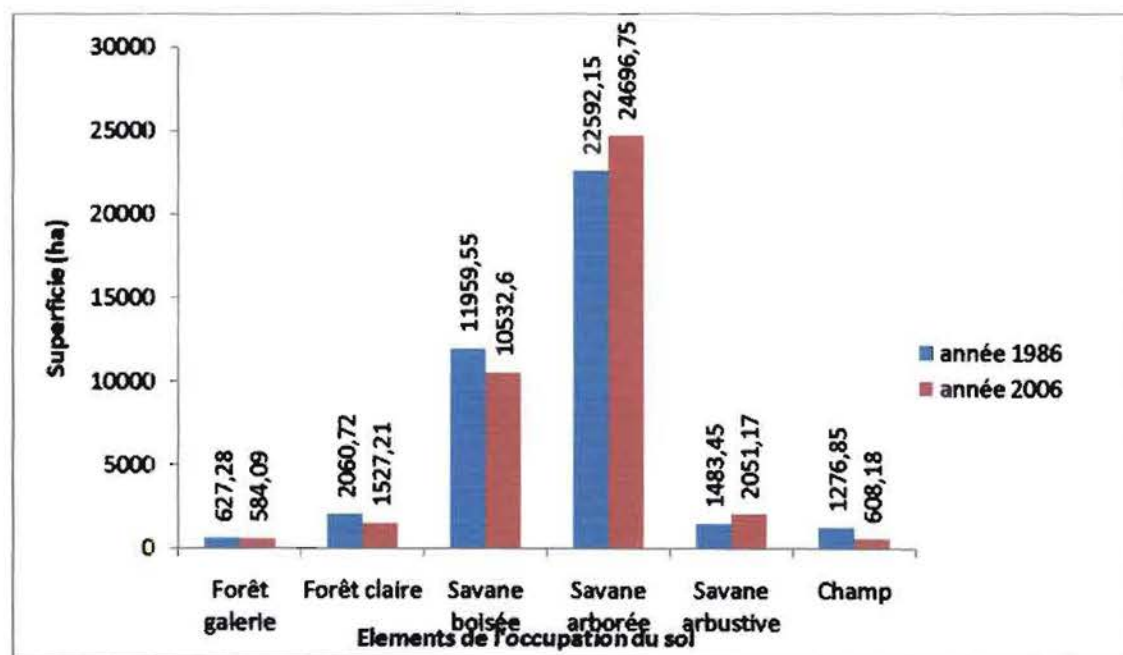
**Carte 4: Occupation du sol dans la FCK en 2006**

### 1.1.4.2. Etat de l'occupation du sol en 2006

Avec 39391,82 ha en 2006, le couvert végétal représente 98,48% de la superficie totale cartographiée. Le couvert végétal connaît une augmentation de 0,08% par an. Il est essentiellement constitué de forêt galerie (584,09 ha), forêt claire (1527,21 ha), savane boisée (10532,6 ha), savane arborée (24696,75 ha), et de savane arbustive (2051,17 ha). Les forêts (forêt galerie et forêt claire) représentent 5,28% de la superficie de la forêt classée contre 93,2% de la superficie de la forêt classée pour les savanes (savane boisée, savane arborée et savane arbustive). Les champs avec une superficie de 608,18 ha occupent 1,52% de l'ensemble de la forêt classée (Carte 4).

### 1.2. Dynamique des classes d'occupation du sol dans la forêt classée de Koulibi entre 1986 et 2006

L'analyse diachronique des résultats des images de 1986 et 2006 a permis de déceler la fluctuation des différents éléments de l'occupation du sol sur 21 ans (figure 6).



**Figure 6:** Evolution des superficies des différents éléments de l'occupation du sol entre 1986 et 2006.

### **1.2.1. Evolutions progressives**

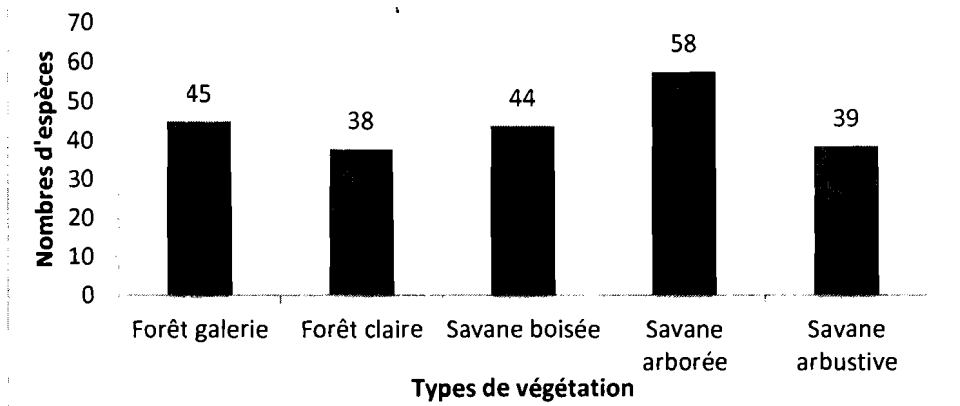
Les résultats cartographiques et statistiques obtenus permettent de mettre en exergue l'évolution progressive de quelques éléments de l'occupation du sol. La savane arbustive est le type de végétation qui a connu la plus grande transformation positive avec +1,82% par an. Elle est passée de 1483,45 ha en 1986 à 2051,17 ha en 2006 soit une augmentation de 27 ha/an. La savane arborée a aussi connu une évolution positive de l'ordre de 0,44% par an, en passant de 22592,15 ha en 1986 à 24696,75 ha en 2006. Les savanes prises dans leur ensemble (savane boisée, savane arborée et savane arbustive) ont progressé, passant ainsi de 36.036 ha en 1986 à 37.280 ha en 2006, soit une augmentation de 1.244 ha en 21 ans.

### **1.2.2. Classes d'occupation du sol en recul dans la forêt classée de Koulbi entre 1986 et 2006**

A l'exception de l'élément « champ » qui connaît un recul de l'ordre de -2,49% par an, les autres composantes ou éléments en recul sont essentiellement constitués de la végétation ligneuse. La forêt galerie a perdu 43,19 ha, soit un recul de -0,33% par an. La forêt claire quant à elle baisse de 533,51 ha en 21 ans, soit un taux de régression annuel de -1,23%. Ainsi les forêts (forêt galerie et forêt claire) ont connu une régression en passant de 2.688 ha en 1986 à 2.112 ha en 2006. Enfin la savane boisée a connu une régression de près de 1426,95 ha entre 1986 et 2006, soit un recul de -0,57% par an.

### **1.3. Richesse spécifique**

Les inventaires réalisés dans la forêt classée de Koulbi, donne une flore riche de 101 espèces ligneuses (Annexe 4). Lorsqu'on considère chaque milieu écologique, les savanes arborées sont les plus riches avec 58 espèces, elles sont suivies par les forêts galeries (45 espèces), les savanes boisées (44 espèces), les savanes arbustives (39 espèces) et les forêts claires (38 espèces). Le graphe de la figure (7) donne une illustration de la richesse floristique de chaque milieu.

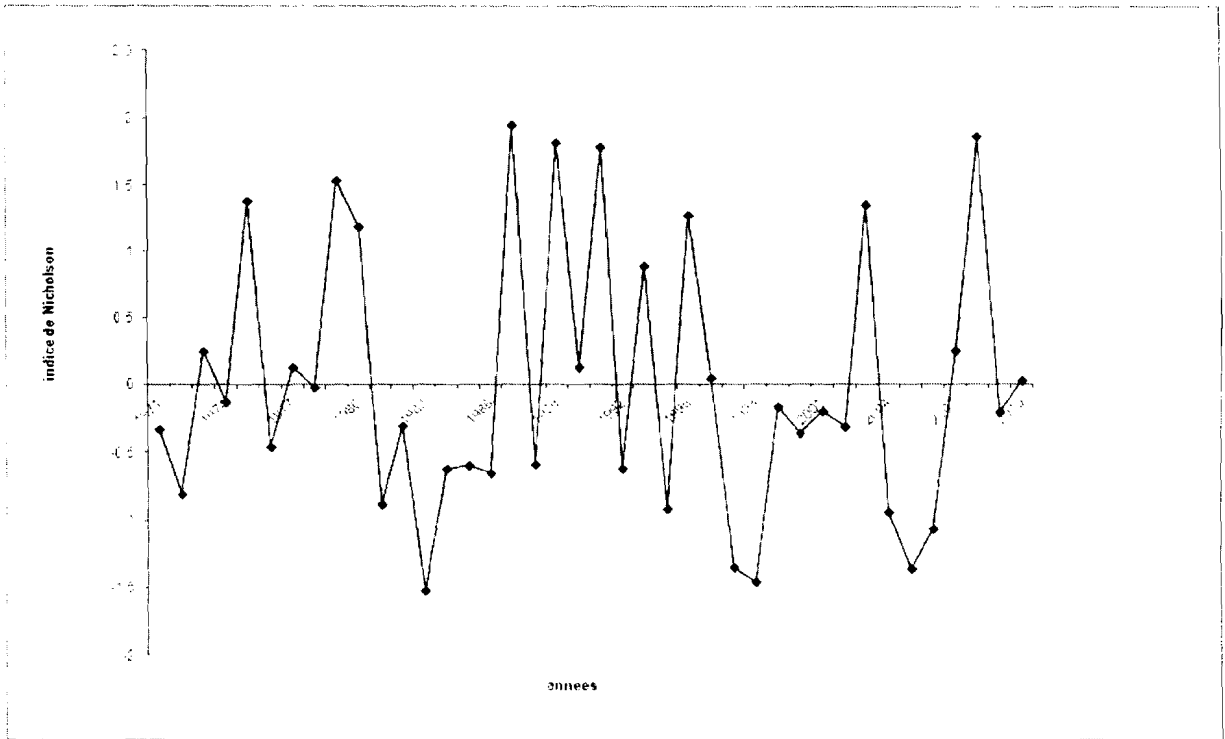


**Figure 7: Richesse en nombres d'espèces des formations végétales**

A la taille de notre échantillonnage (dix parcelles dans chaque milieu), les forêts (claires et galeries) et les savanes (boisée, arborée, et arbustive) ont des richesses semblables. Les forêts prises dans leur ensemble (forêts galeries et forêts claires) totalisent 66 espèces ligneuses et les savanes (boisées, arborées et arbustives) comptent 68 espèces ligneuses. Ces deux grands ensembles (forêts et savanes) ont en commun 33 espèces ligneuses.

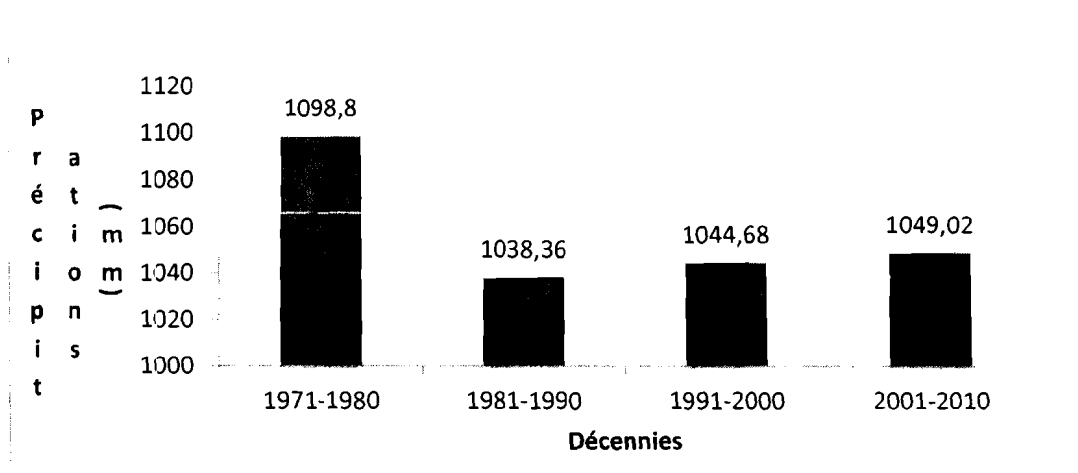
#### **1.4. Variabilité pluviométrique : indice standardisé de précipitations ou indice de Nicholson**

Le calcul de l'indice standardisé de précipitations (SPI) pour la série de quatre décennies (1971-2010) a permis d'observer les différentes fluctuations pluviométriques que la zone a connu (figure 8).



**Figure 8:** Courbe de fluctuation par l'indice standardisé de précipitations (SPI)

Le calcul des moyennes des totaux annuels de précipitations par décennie nous a permis de mieux cerner la variabilité pluviométrique dans notre zone d'étude (figure 9)



**Figure 9:** Moyennes des totaux annuels des précipitations par décennie de la station de Batié, de 1971 à 2010

La courbe de fluctuation de SPI (figure 8) et le calcul des moyennes des totaux annuels par décennie (figure 9) permettent d'identifier trois (03) grandes périodes :

- une période humide allant de 1971 à 1980 avec une moyenne pluviométrique de 1098,8 mm ; qui est supérieure à la moyenne annuelle totale qui est de 1057,7 mm,
- une période sèche entre 1981 et 1990 avec une moyenne pluviométrique de 1038,36 mm qui est inférieure à la moyenne annuelle totale. Et une seconde période sèche de 1991 à 2000 avec une moyenne pluviométrique 1044,68 mm. Cette décennie est caractérisée par une légère reprise de la pluviométrie,
- et une période normale allant de 2001 à 2010 avec une moyenne pluviométrique 1049,02 mm, sensiblement égale à la moyenne annuelle totale.

La courbe de fluctuation par l'indice standardisé de précipitations (SPI) (Figure 8) reflète la grande variabilité pluviométrique au niveau de notre zone d'étude depuis 1971.

Si l'on considère la décennie (1971 à 1980) dans son ensemble, elle peut être considérée comme une période humide, même si on note la présence de cinq (05) années de sécheresse modérée (1971-1972, 1974, 1976, et 1978). La décennie a connu également trois (03) années d'humidité forte et deux (02) années d'humidité modérée (Tableau VII).

La décennie 1981 à 1990 est caractérisée par six (06) années de sécheresse modérée, une année sécheresse forte, une année d'humidité modérée et deux (02) années d'humidité forte. De façon globale la décennie a connu plus d'années de sécheresse (08 années) que d'humidité (2 années). Une attention particulière est accordée à cette décennie car l'année 1986 correspond à la date de la première image satellitaire que nous avons choisie. En 1986, la zone a connu une sécheresse modérée (Tableau VIII).

Quant à la décennie 1991 à 2000, nos constats sont les suivants : deux (02) années d'humidité forte, deux (02) années d'humidité modérée, quatre (04) années de sécheresse modérée et deux (02) années de sécheresse forte (Tableau IX). Dans cette décennie nous constatons une légère reprise de la pluviométrie par rapport à la décennie précédente.

Enfin pour la décennie 2001 à 2010, nous avons constaté les faits suivants : quatre (04) années de sécheresse modérée, deux (02) années de sécheresse forte, deux (02) années d'humidité modérée et deux (02) années d'humidité forte (Tableau X).

La série de quarante (40) années prise dans son ensemble permet de voir que la zone a connu 19 années de sécheresse modérée, cinq (05) années de sécheresse forte, sept (07) années d'humidité modérée et 09 années d'humidité forte. De façon globale il y a eu plus d'années de sécheresse (24 années) que d'années d'humidité (16 années). Ce qui laisse apparaître que la tendance générale est l'aridité dans la zone. Il convient de signaler que pour notre série (1971-2010) il n'y a pas eu ni une année d'humidité extrême ni une année de sécheresse extrême.

**Tableau VII : Résultats de l'indice standardisé de précipitations de la décennie 1971 à 1980**

Années	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
SPI	-0,334	-0,811	0,249	-0,13	1,381	-0,462	0,124	-0,022	1,534	1,188
Degré	SM	SM	HM	SM	HF	SM	HM	SM	HF	HF

**Tableau VIII: Résultats de l'indice standardisé de précipitations de la décennie 1981 à 1990**

Années	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
SPI	-0,881	-0,307	-1,517	-0,624	-0,6	-0,658	1,952	-0,594	1,822	0,13
Degré	SM	SM	SF	SM	SM	SM	HF	SM	HF	HM

**Tableau IX: Résultats de l'indice standardisé de précipitations de la décennie 1991 à 2000**

Années	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
SPI	1,787	-0,622	0,89	-0,915	1,278	0,048	-1,352	-1,453	-0,164	-0,359
Degré	HF	SM	HM	SM	HF	HM	SF	SF	SM	SM

**Tableau X: Résultats de l'indice standardisé de précipitations de la décennie 2001 à 2010**

Années	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
SPI	-0,201	-0,312	1,362	-0,942	-1,358	-1,063	0,245	1,871	-0,208	0,032
Degré	SM	SM	HF	SM	SF	SF	HM	HF	SM	HM



## 1.5.Résultats des enquêtes

### 1.5.1 Perception des populations locales sur la dégradation de la végétation

Les populations sont conscientes des phénomènes de dégradation du couvert végétal dans la zone. Ils ont presque tous la même perception sur l'évolution du couvert végétal. Dans l'ensemble, nos enquêtés constatent une dégradation progressive des ressources naturelles dans la zone d'étude. Les résultats montrent que 95% des personnes enquêtées ont constaté une régression du couvert végétal, 3% d'elles n'ont observé aucun changement et le reste soit 2% évoque une amélioration de la couverture végétale (Tableau XI).

**Tableau XI: Perceptions des populations locales sur la dégradation du couvert végétal**

	Dégradation	Pas de changement	Amélioration	Total
Effectif	228	7	5	240
Pourcentage(%)	95	3	2	100

Quant à l'évolution du régime pluviométrique, la quasi-totalité de nos enquêtés soit 99%, ont constaté un régime anormal. Cette évolution anormale du régime pluviométrique se résume à des premières pluies tardives, à des ruptures de pluies en pleine campagne agricole, et à l'arrêt des pluies avant la fin de la campagne agricole.

### 1.5.2 Causes de la dégradation du couvert végétal

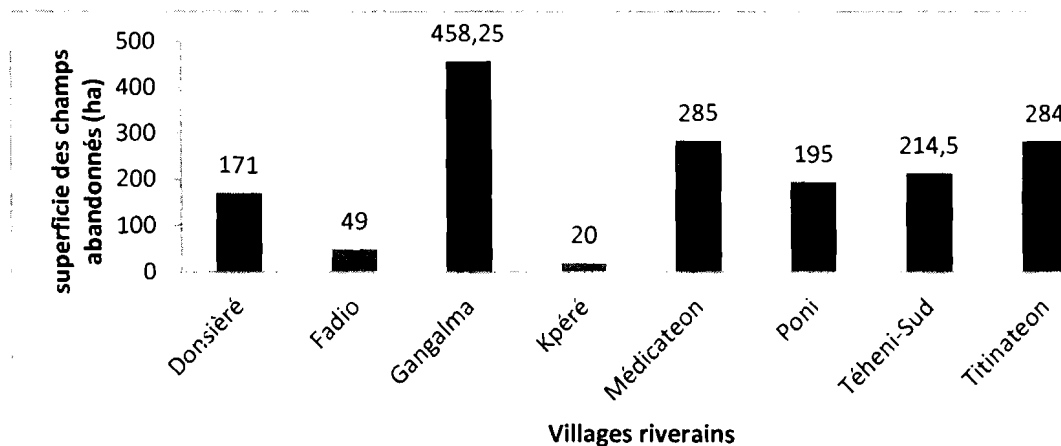
La grande majorité de nos enquêtés constate une dégradation progressive des ressources naturelles dans la zone, nous avons voulu savoir les causes d'une telle situation. En effet les causes énumérées sont les changements climatiques (variabilité pluviométrique), les feux de brousse, l'augmentation de la population, la culture d'igname, l'émondage des arbres par les transhumants. Les résultats de nos enquêtes montrent que 97,92% des personnes enquêtées lient la dégradation de la végétation à la pression démographique ; 93,75% d'entre elles la lient aux feux de brousse, 89,17% attribuent la dégradation de la végétation à la transhumance; pour 88,75% des enquêtés la culture d'igname dégrade plus la végétation et pour 69,58% des enquêtés les changements climatiques sont à l'origine de la dégradation du couvert végétal (Tableau XII).

**Tableau XII: Causes de la dégradation du couvert végétal**

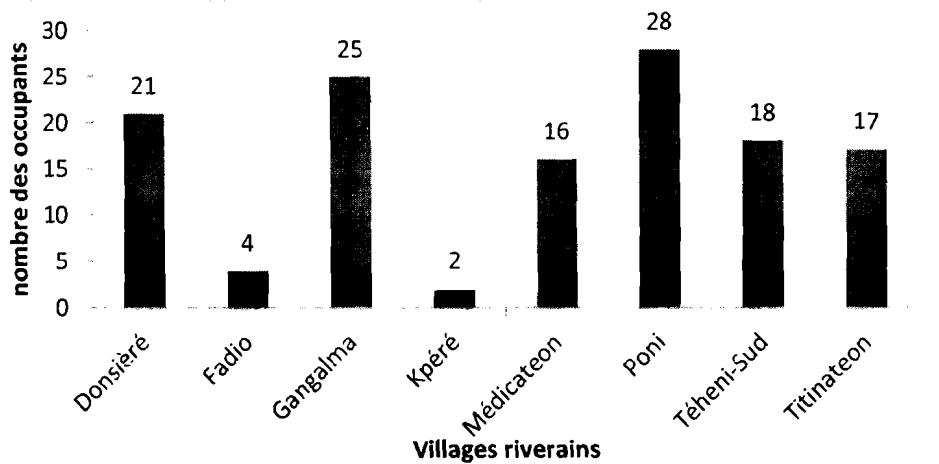
	Sécheresse	Feux de brousse	Croissance de la démographie	Transhumance	Culture de l'igname
Effectif	167	225	235	214	213
Pourcentage (%)	69,58	93,75	97,92	89,17	88,75
Total des enquêtés	240				

### 1.5.3 Estimation des superficies de champs abandonnés par les ménages enquêtés

Parmi nos ménages enquêtés, certains avaient déjà séjourné dans la forêt classée (figure 11). Les figures (10 et 11) nous donnent une idée sur l'influence de chacun des villages riverains de l'espace protégé. Nous avons également une estimation des superficies de champs abandonnés par ces derniers suite à l'opération de déguerpissement d'Avril 2009 (Figure 10).



**Figure 10 : Estimation des superficies de champs (ha) abandonnées par les ménages des villages riverains**



**Figure 11** : Nombre de ménages ayant séjournés dans la FCK par village riverain

#### 1.5.4 Impact de la culture d'igname sur la couverture ligneuse

La culture de l'igname a plus le causé de tort à la végétation de la zone d'étude. Selon les résultats des enquêtes, 88,75% des enquêtés attribuent la dégradation progressive de la végétation à cette culture qui cause trop de dégâts à la couverture ligneuse (Tableau XII). Le système de culture de l'igname exige que cette plante soit en tête d'assolement parce que trop exigeante en éléments nutritifs et en lumière. Les résultats des enquêtes montrent que 62,5% des personnes enquêtées dans la zone d'étude produisent l'igname (Tableau XIII). Interrogés sur le nombre d'arbres et arbustes épargnés dans un champ (ha) d'igname, la grande majorité (près de 95%) des producteurs d'igname n'épargnent que les arbres et arbustes dont les fruits sont comestibles. Ils ont recours au feu pour éliminer les arbres et arbustes, dont les pieds morts servent en même temps de tuteurs pour les plantes d'igname. Pour la culture d'igname les producteurs sont en quête permanente de nouvelles terres. Cette quête permanente de nouvelles terres est confirmée par les résultats de l'enquête (Tableau XIII). Sur l'ensemble des producteurs d'igname dans la zone d'étude, pour 97,92% d'eux les nouvelles terres sont propices à la production d'igname contre 2,08% des paysans qui produisent sur des terres dégradées.

**Tableau XIII: Terres propices à la culture de l'igname**

	Terres favorables à la production d'igname		
	Producteurs d'igname	Nouvelles terres	Terres dégradées
Effectif	150	147	3
Pourcentage (%)	62,5	98	2
Total des enquêtés	240	150	150

Selon la durée de l'exploitation d'une terre pour la production d'igname, les résultats des enquêtes montrent que 76% des producteurs enquêtés abandonnent leur champ après seulement une année de production, 21,33% d'eux exploitent la terre pendant deux ans et 2,67% des producteurs parlent de plus de deux (02) années d'exploitation (Tableau XIV).

**Tableau XIV: Durée d'utilisation d'une terre pour la culture de l'igname**

	Nombre d'années d'exploitation d'un champ la production d'igname			Total
	1	2	2	
Effectif	114	32	4	150
Pourcentage(%)	76	21,33	2,67	100

### **1.5.5 Observations faites dans la forêt classée de Koulbi lors des enquêtes et de la réalité terrain**

Il a été découvert un champ d'igname d'environ deux (02) ha dans la partie Sud de la forêt classée (Photo 1) au cours de notre campagne terrain. Pour la mise en culture de l'igname les producteurs utilisent du feu pour tuer les arbres dans le champ (photo 2). Nous avons également vu des plantations d'anacardiens (Photo 3) au sein de la forêt classée des ruines d'habitations et une école à trois (03) classes abandonnée avec des logements (Photos 5 et 6). Enfin nous avons rencontré un troupeau de bœufs dans la partie nord de la forêt classée (Photo 4).



**Photo 2: Champ d'igname dans la FCK**



**Photo 3 : Abattage par le feu des arbres et arbustes dans un champ d'igname**



**Photo 1: Plantation d'anacardiens dans la FCK**



**Photo 6: Ecole abandonnée dans la FCK**



**Photo 5: Ruine d'habitation dans la FCK**



**Photo 4: Troupeau de bœufs dans la FCK**

*Source : Photos de TANKOANO 2012*

## II. DISCUSSIONS

### 2.1. Cartographie de la forêt classée

Pour suivre et cartographier les états successifs de la couverture ligneuse dans la forêt classée de Koulbi, nous avons opté pour une analyse diachronique à partir des traitements de deux images LANDSAT TM 1986 et LANDSAT ETM+ de 2006. Le modèle de classification pseudo-dirigée a été utilisé dans le cadre de cette étude, en raison de la forte hétérogénéité de la forêt et de notre connaissance partielle du terrain. Il nous a permis d'appréhender les grandes tendances de l'évolution des éléments de la couverture ligneuse. Ce modèle a été appliqué dans l'analyse des dynamiques d'occupation du sol en pays bamiléké (Fotsing, 1998); à Bondoukuy dans l'Ouest du Burkina Faso (Bruneau, 2000), dans la réserve forestière du Nord Kelantan en Malaisie (Jusoff et Setiawan, 2003) et dans la réserve forestière de Laf-Madjam au Cameroun (Tabopda *et al.*, 2006, 2009) avec de beaucoup de satisfaction. Cette méthode nous a permis de distinguer des formations mixtes comme les savanes boisées, arborées et arbustives qui ne sont pas toujours bien différenciées. Cette confusion est due à des réponses spectrales visuellement similaires pour ces formations ligneuses. Ces mêmes difficultés ont été signalées par d'autres auteurs (N'guessan *et al.*, 2003; 2006; Diallo *et al.*, 2011). Malgré ces difficultés nous avons obtenu des résultats cartographiques avec peu de confusion entre les éléments d'occupation du sol. Ainsi pour l'image de 2006 on a obtenu un pourcentage de classification global de l'ordre de 87,49%. La matrice de confusion de l'image de 1986 indique 92,43% comme taux de classification global. Ces cartes peuvent être validées selon Pointius (2000). Pour ce dernier, une étude d'occupation du sol peut être validée si le taux de classification global est supérieur ou égal à 50%. Ceci est respecté dans notre cas. Ce résultat de classification satisfaisant pour l'image de 1986 est dû à une meilleure interprétation visuelle des images de 2006, surtout la composition colorée (ETM+2, ETM+3 et ETM+4). Les bandes ETM+2, ETM+3 et ETM+4 ont respectivement, les mêmes propriétés spectrales que celles de TM2, TM3 et TM4. Les compositions colorées avec la même combinaison, pour les bandes ETM+ et TM, présentent les mêmes résultats (plages de couleur). L'interprétation des plages de couleur de la composition colorée de 2006 facilite celle de 1986. L'efficacité de cette méthode s'accroît proportionnellement à la finesse de la résolution spatiale des images. L'algorithme du maximum

de vraisemblance utilisé pour la classification donne des résultats satisfaisants. Ceci a été confirmé par plusieurs auteurs (Tsayem, 2002; Tabopda *et al.*, 2006; N'Guessan *et al.*, 2006, 2003; N'Guessan, 1989; Koné, 2004; Koné *et al.*, 2007 et Bougherara *et al.*, 2010). Cette méthode permet de faire appel à l'expertise humaine dans les étapes successives de la classification.

## **2.2. Dynamique de la couverture ligneuse**

### **2.2.1. Dynamique de la couverture ligneuse et activités anthropiques**

Les résultats cartographiques obtenus montrent que dans la forêt classée de Koulbi, certaines formations boisées (forêt claire, forêt galerie et savane boisée) sont en régression de 1986 à 2006. Cette régression pourrait être liée aux activités agricoles (culture d'igname), la quête du bois de feu, la transhumance (surtout les mutilations) et les besoins en bois de construction et d'artisanat. Selon les résultats des enquêtes la majorité des populations riveraines prélèvent du bois dans la forêt classée, soit pour la construction, soit pour la cuisine ou pour l'artisanat. La coupe abusive et anarchique du bois a déjà été révélée comme un facteur important dans la dynamique régressive des ligneux, par plusieurs auteurs (Faye *et al.*, 2008 ; Ozer, 2004; Tabopda, 2008, 2005; Sumati, 2006). La diminution des superficies des forêts claires, forêts galeries et des savanes boisées, est matérialisée par la fragmentation de ces formations boisées. Cette réduction de ces écosystèmes pourrait être une conséquence de la pratique de la culture de l'igname dans la forêt. Cette culture a déjà été signalée comme étant responsable de la destruction des forêts galeries, forêts claires et savanes boisées (FAO, 1996). La fragmentation entraîne la réduction d'un habitat continu de grande taille en habitats plus petits et isolés les uns des autres (Tabarelli *et al.*, 2008). Selon les riverains par le passé (20 ans en moyenne) il y avait assez d'animaux sauvages dans la forêt classée et à ses périphéries, mais de nos jours ils sont devenus rares voire inexistants. Ce phénomène (fragmentation) pourrait être la cause majeure de l'érosion de la biodiversité dans l'espace protégé. Le même constat a été fait par Cristofoli et Mahy, (2010) qui avaient noté que, la diminution de la taille des fragments d'habitats et l'augmentation de leur isolement réduisent, à long terme, la viabilité des populations d'espèces végétales et animales qui y vivent de par la limitation, voire la disparition des échanges entre ces populations, du fait du manque de connectivité. La transhumance s'opère de façon clandestine dans la forêt classée, mais elle est facilement constatable par les coupes et mutilations des

ligneux fourragers. Plus de 89,17% des personnes interrogées lient la dégradation de la couverture ligneuse à la transhumance. Lors de la collecte des données floristiques dans la forêt classée nous avons été témoin de l'intrusion de troupeaux de bœufs dans l'espace protégé. La proximité de la forêt classée au Ghana et à la Côte d'Ivoire pourrait expliquer sa vulnérabilité à la pénétration illégale et incontrôlée des transhumants. La transhumance vers ces pays voisins est citée comme une menace pour la forêt classée par les populations riveraines. Le fleuve Mouhoun pourrait également constituer une raison de l'intrusion des éleveurs transhumants comme autochtones dans la forêt classée.

Les résultats cartographiques montrent que les savanes prises dans leur ensemble occupent une grande partie de la forêt classée. En plus elle connaît une progression entre les deux dates (1986 et 2006) au détriment des forêts (galerie et claire). Ceci peut être dû à la pratique de l'agriculture itinérante. Lors des défrichements pour la mise en culture de l'igname, de nombreux arbres sont abattus, seuls les arbres utiles sont épargnés dans les champs. La réduction de certaines formations boisées pourrait s'expliquer par ces défrichements fréquents dans l'espace protégé. L'augmentation des superficies de savanes arbustives et les savanes arborées pourrait s'expliquer par l'introduction de la culture des ligneux comme *Anacardium occidentale* L. Malgré la préservation des espèces dites utiles dans les champs, la destruction totale des autres espèces et le passage régulier des feux ne favorisent pas la reconstitution de la végétation naturelle (Kio, 1981; Dembélé, 1996 cité par Diallo *et al.*, 2011). Seuls les arbustes sont capables de se régénérer rapidement (Nasi, 1994).

Enfin le rapprochement des villages à l'espace protégé aurait aussi eu un effet néfaste sur la couverture ligneuse. En se référant aux résultats des enquêtes, les habitants des villages les plus proches (Donsiéré, Gangalma, Poni, Teheni-Sud, Titinateon, Médicateon), ont eu plus d'effets néfastes sur la végétation de la forêt classée comparativement aux villages éloignés tels Fadio et Kpéré. Les villages les plus proches ont plus mené d'activités agricoles que ceux qui sont éloignés.

L'analyse diachronique des images satellitaires LANDSAT TM (1986) et ETM+ (2006) révèle une extension de la couverture ligneuse. Cette augmentation de la couverture ligneuse dans l'espace protégé à un rythme inattendu, pourrait s'expliquer par les opérations de



déguerpissement (1974, 1992 et 1998) qui ont été effectuées. En plus les techniques culturales dégradant et appauvrissant le sol, ont amené les paysans, en quête de terres fertiles, à émigrer pour s'installer dans de nouvelles zones, abandonnant les terres précédemment utilisées. C'est ainsi que de nombreuses surfaces se sont reconstituées spontanément jusqu'à présenter des caractéristiques forestières (Perraud, 1971). Ces actions sont de faible ampleur surtout que, dans certains cas, les feux de brousse tendent à limiter le développement des ligneux. Enfin la mise en place des cultures ligneuses sur les terres précédemment utilisées pour la production d'igname, aurait eu un effet positif sur la dynamique de la couverture ligneuse. Ainsi la présence des plantations d'*Anacardium occidentale* pourrait expliquer cette tendance à l'augmentation de la couverture ligneuse, surtout des savanes (arborée arbustive). Les plantations d'*Anacardium occidentale* sont devenues soit des formations arborées soit des arbustes. Cette tendance à la régénération de la couverture ligneuse a été démontrée par plusieurs auteurs (Sylla, 2002; Coulibaly, 2002; Koné *et al.*, 2006; N'Guessan *et al.*, 2006, 2003) dans la région de Korogho (Nord de la Côte d'Ivoire).

### **2.2.2. Dynamique de la couverture et variabilité pluviométrique**

La forêt classée de Koulbi est soumise à une pluviométrie dont l'évolution est régressive. Ceci est en accord avec le constat fait par d'autres auteurs, tant au Burkina Faso qu'en Afrique de l'Ouest soulignant la récession pluviométrique (Traoré *et al.*, 2000; Ozer *et al.*, 2010) à partir des années 1970.

Les résultats de SPI indiquent que la forêt classée de Koulbi a connu des épisodes de sécheresses accentuées. Pour la série 1971 à 2010, on constate la présence d'années (au moins deux) de sécheresse successives 1971-1972, 1981 à 1986, 1997 à 2002 et 2004 à 2006. Ces épisodes de sécheresse coïncident avec ceux observés en Afrique de l'Ouest par Nicholson (1983), Biémi (1992), Paturel *et al.* (1995), Savané *et al.* (2001) et Koné *et al.* (2006). Ces périodes de déficit hydrique favorisent l'action des feux de brousse, contribuant ainsi à dégrader la couverture ligneuse (Koné *et al.*, 2007). Cette diminution pluviométrique avec des périodes de sécheresse successives aurait entraîné des perturbations dans la couverture ligneuse de la forêt classée de Koulbi. En effet une année isolée de sécheresse, même extrême peut être moins dramatique pour la végétation ligneuse qu'une suite de deux années (ou plus) de sécheresse modérée (Gareyane, 2008; Diallo *et al.*, 2011). Outre la sévérité, c'est en la persistance de la sécheresse que réside le

risque majeur. La contrainte climatique principale n'est pas simplement la rareté des précipitations, mais également la variabilité dans la distribution et l'imprévisibilité des précipitations, qui s'augmentent du Sud au Nord et constituent des facteurs déterminants de l'écosystème Sahélien et de la modification de la végétation (Ozer *et al.*, 2010). Plusieurs études ont montré les impacts de la sécheresse sur la végétation (Hulme *et al.*, 2001; Darkoh, 2003). Certaines études ont mis en évidence que les sécheresses répétées dans les années 1980 (1980 à 1986) ont eu directement pour effet, notamment en Afrique, d'augmenter la mortalité des espèces ligneuses des écosystèmes sensibles (Kossi *et al.*, 2009). Brou (1997), recherchant la relation entre le climat et la dynamique des écosystèmes dans le V-Baoulé (Côte d'Ivoire), conclut que l'importance des déficits pluviométriques est susceptible de fragiliser les écosystèmes de forêt et de savane, surtout à l'occasion des années « anormalement sèches », comme ce fut le cas lors de la période 1982-1983. D'autres études ont montré que les sécheresses récurrentes ont rendu plus difficile la capacité de régénération naturelle (FAO, 1997). Ces épisodes de sécheresses successives pourraient être à l'origine de la réduction de certaines formations boisées telles que les galeries forestières, les forêts claires et les savanes boisées. Une des conséquences les plus perceptibles du phénomène (sécheresse) a été la mortalité, souvent massive des peuplements ligneux (Boudet, 1972). La dernière décennie 2001-2010 est caractérisée par une légère reprise de la pluviométrie, accompagnée également d'une augmentation de la couverture ligneuse. Cette reprise a probablement eu un impact favorable sur le développement de la végétation.

## CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Cette étude avait pour principal objectif d'évaluer les impacts des activités anthropiques et de la variabilité pluviométrique sur la dynamique de la couverture ligneuse dans la forêt classée de Koulbi, à partir de l'outil télédétection. L'étude diachronique de la couverture ligneuse au travers d'une classification hiérarchique pseudo-dirigée de deux images satellitaires LANDSAT (TM 1986 et ETM+ 2006), a permis de mettre en exergue les états de la couverture ligneuse de la forêt classée en 1986 et en 2006. La méthodologie adoptée est simple et adaptable à d'autres aires protégées. Les données de télédétection (images LANDSAT) exploitées dans le cadre de cette étude, se sont avérées bien appropriées à la problématique abordée. L'analyse de l'évolution de la couverture ligneuse entre 1986 et 2006 a été réalisée par comparaison des résultats cartographiques des deux dates. En dépit de la double contrainte anthropique et climatique à laquelle est soumise la forêt classée de Koulbi, l'état de sa couverture ligneuse et son évolution entre 1986 et 2006 ne semblent pas alarmants. Dans notre étude, nous constatons que la couverture ligneuse a connu une augmentation de l'ordre de 0,08% par an entre 1986 et 2006. Cependant, ce constat globalement positif doit être nuancé parce que cette augmentation de la couverture ligneuse pourrait être due à des actions humaines favorables, comme l'introduction de la culture de ligneux (*Anacardium occidentale* L.) et les opérations de déguerpissements effectuées. Le constat actuel est que la couverture végétale est perturbée par les activités anthropiques (agricoles et pastorales et voire minières).

La base cartographique mise en place constitue un outil de gestion de la conservation et de suivi de l'évolution du couvert végétal de la forêt classée de Koulbi. Ainsi, la télédétection couplée aux systèmes d'informations géographiques (SIG), apparaît comme un outil efficace à mettre à la disposition des gestionnaires des aires protégées, d'autant plus qu'elles sont facilement accessibles désormais.

Au regard des pressions persistantes (intrusions pour la culture d'igname, les sites d'orpillage, le braconnage) associées à un manque de surveillance de la forêt classée de Koulbi, on pourrait assister à moyen terme à une dégradation exacerbée de la couverture ligneuse, surtout en l'absence d'une réelle politique de gestion.

Pour contribuer à la conservation de la forêt et de sa biodiversité, il faut :

- une sensibilisation des populations s'impose afin de mettre fin à l'occupation continue et anarchique des terres de la forêt classée,
- un abandon du système agraire archaïque très «dévoreur et gaspilleur des terres» au profit d'un système d'agroforesterie,
- un aménagement de la forêt et une valorisation des produits forestiers non ligneux afin d'accroître et de diversifier les revenus des populations,
- un renforcement de la surveillance à l'intérieur comme aux périphéries de l'aire protégée,
- une participation des populations riveraines à la gestion de la forêt classée en vue de sa conservation durable.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Arbonnier M., 2009.** Arbres, arbustes et lianes des zones sèches d'Afrique de l'Ouest. *Editions Quæ*, 3<sup>ème</sup> édition, MNHN, 573 p.
- Aubreville A., 1957.** Accord à Yangambi sur la nomenclature des types africains de végétation. *Bois et Forêts des Tropiques*, 51: 23-27.
- Balma D., Bognounou O., Ouédraogo A., Tankoano M.J., Zigani G., et Zigani M., 2004.** La diversité biologique agricole au Burkina Faso. Archives de documents de la FAO 2004, 1, 21 p.
- Bergaoui M. et Alouini A., 2001.** Caractérisation de la sécheresse météorologique et hydrologique: Cas du bassin versant de Siliana en Tunisie. *Sécheresse* 12 (2): 205-213.
- Biémi J., 1992.** Contribution à l'étude géologique, hydrogéologique et par télédétection des bassins versants subsahéliens du socle précambrien d'Afrique de l'Ouest : hydro-structurale, hydro-dynamique, hydro-chimie et isotopie des aquifères discontinus, des sillons et aires granitiques de la haute Marahoué (Côte d'Ivoire). Thèse de doctorat, Université de Cocody, Abidjan, 479p.
- Bogaert J., Ceulemans R. et Salvador-Van E.D., 2004.** Decision tree algorithm for detection of spatial process in landscape transformation. *Environment Management*, 33(1): 62-73.
- Bombiri P., 2008.** Comptabilité environnementale et biodiversité. Etude de cas/ Burkina Faso. Communication orale. MECV/ CONEDD, 20 p.
- Boudet G., 1972.** Désertification de l'Afrique tropicale, *Adansonia*, 12 (4): 505-524.
- Bougherara A., 2010.** Identification et suivi des paysages et de leur biodiversité dans la Wilaya d'El Tarif (Algérie) à partir des images Landsat, Spot et Aster. *Télédétection*, 9 (3-4): 225-243.
- Brou T.Y., 1997.** Analyse et dynamique de la pluviométrie en milieu forestier Ivoirien: recherche de corrélations entre les variables climatiques et les variables liées aux activités anthropiques. Thèse de doctorat 3<sup>ème</sup> cycle, Université de Cocody, Abidjan, 210p.

**Bruneau J., 2000.** Evolution de l'espace agricole à Bondoukuy (Ouest du Burkina Faso) entre 1990 et 1998 à partir d'images SPOT. Mémoire de DEA Environnement Temps Espace Société (ETES), Université d'Orléans, 91 p + annexes.

**Buche P., King D., et Lardon S., 1992.** Gestion de l'espace rural et Système d'Information Géographique INRA Editions Versailles, FRANCE, 421p.

**Carroll C., Noss R.F., Paquet P.C., et Schumaker N.H., 2004.** Extinction debt of protected areas in developing landscapes. *Conservation biology*, 18 (4): 570-582.

**Centre Canadien de Télédétection:** Notions fondamentales de télédétection. Un cours tutoriel du Centre Canadien de Télédétection: <http://www.ccrs.nrcan.gc.ca> consulté le 22 Août 2011 à 20h 18mn)

**Centre mondial de surveillance de la conservation, 1992.** Global Biodiversity: Status of the Earth's Living Resources. Centre mondial de surveillance de la conservation, Cambridge, Royaume-Uni, 15p.

**Collet C., 1992.** Systèmes d'information géographique en mode image. Lausanne, Presses polytechniques et universitaires romandes, Col. Gérer l'environnement (7), 186 p.

**Coulibaly S., 2002.** L'imagerie spatiale haute résolution pour l'étude de la dynamique de l'occupation du sol dans le Nord-Est de la Côte d'Ivoire : Bouna. Mémoire de DEA, Université de Cocody, Abidjan, 62p.

**Courtin F., Fournet F., et Solano P., 2010.** «La crise ivoirienne et les migrants Burkinabés». L'effet boomerang d'une migration internationale, De Boeck Université/ *Afrique Contemporaine*, 4 (236) : 11-27.

**Cristofoli S. et Mahy G., 2010.** Restauration écologique : contexte, contraintes et indicateurs de suivi. *Biotechnol. Agron Soc Environ*, 14 : 203-211.

**Darkoh M.B.K., 2003.** Regional perspectives on agriculture and biodiversity in drylands of Africa. *Journal of Arid Environments*, 54 (4): 261-279.

**Dembélé F., 1996.** Influence du feu et du pâturage sur la végétation et la biodiversité dans les jachères en zone soudanienne-nord du Mali. Cas des jeunes jachères du terroir de Missira (cercle de Kolokani). Thèse de doctorat, Université de Droit, d'Economie et des Sciences, Aix-Marseille III, Marseille, 255p. In Diallo H., Bamba I., Barima Y.S.S., Visser M., Ballo A., Mama A., Vranken I., Maïga M., et Bogaert J., 2011. Effets combinés du climat et des pressions anthropiques sur la dynamique évolutive de la végétation d'une zone protégée du Mali (Réserve de Fina, Boucle du Baoulé). *Sécheresse*, 22 : 97-107.

**Diallo H., Bamba I., Barima Y.S.S., Visser M., Ballo A., Mama A., Vranken I., Maïga M., et Bogaert J., 2011.** Effets combinés du climat et des pressions anthropiques sur la dynamique évolutive de la végétation d'une zone protégée du Mali (Réserve de Fina, Boucle du baoulé). *Secheresse*, 22 (3) : 97-107.

**DIFOR, 2007.** Situation des forêts classées du Burkina Faso et plan de réhabilitation. MECV, 46p.

**Escadafal R., 1989.** Caractérisation de la surface des sols arides par observations de terrain et par télédétection. Application: exemple de la région de Tataouine (Tunisie). *Éditions. ORSTOM*, Paris, coll. Etudes et Thèses, 317p.

**FAO, 1996 :** Situation des forêts naturelles des zones tropicales sèches. FAO Conservation guide. n°0748, 211p.

**FAO, 1997.** Aménagement des forêts naturelles des zones tropicales sèches. N °32. Rome : FAO, 24p.

**FAO, 2011.** Situation des forêts dans le monde 2011- Rapport principal. Etude FAO. Forêts. Rome, Italie, 201p. (Disponible à l'adresse [www.fao.org/forestry/fra/fra2011/fr](http://www.fao.org/forestry/fra/fra2011/fr) consultée le 18 Août 2011 à 12h15) )

**Faye E., Diatta M.,Samba A.N.S.et Lejoly J., 2008.** Usages et dynamique de la flore ligneuse dans le terroir villageois de Latmingué (Sénégal). *Journal des sciences et Technologies*, 7(1): 43-58.

**Fontès, J. et Guinko, S., 1995.** Carte de la végétation naturelle et de l'occupation du sol du Burkina Faso / ICIV. Université de Toulouse, Université de Ouagadougou, IRBET et MET, 71p.

**Fotsing, J-M., 1998.** Evolution des systèmes agraires et dynamiques des paysages de l'Ouest-Cameroun : Analyses multi-scalaires des rapports Homme-Espace. HDR de Géographie et Environnement, Université de Paris IV-Sorbonne, (2): 750p + un atlas.

**Gareyane M, 2008.** La sédentarisation des nomades dans la region de Gao. Révélateur et déterminant d'une crise multidimensionnelle au Nord Mali. Thèse de doctorat, Université Jean Moulin Lyon 3, Lyon, France, 287p.

**Girard M.C., et Girard C.M., 1999.** Traitement des données de télédétection. Dunod, Paris, France, 529p + CD Rom.

**Guinko S., 1984.** Végétation de la Haute-Volta. Thèse de Doctorat ès Sciences Naturelles, Université de Bordeaux III, Bordeaux, 394p + annexes.

**Guinko S., 1989.** Contribution à l'étude de la végétation et de la flore du Burkina Faso, les territoires phytogéographiques, *Bull. IFAN*, 46 (1-2): 129-139

**Hulme M., Doherty R., Ngara T., New M. et Lister D., 2001.** African climate change. 1900-2100. *Clim Res*, 17 (2): 145-168

**Institut National de la Statistique et de la Démographie (INSD), 2008.** Recensement général de la population et de l'habitat (RGPH) de 2006 du Burkina Faso- Résultats définitifs. 55p.

**Jusoff K., et Setiawan I., 2003.** Quantifying deforestation in a permanent forest reserve using vectorised LANDSAT TM, in *Journal of tropical forest science* 15 (4): 570-582.

**Kio O.P.R., 1981.** Stratégie de conservation des forêts en Afrique tropicale. Compte rendu de colloque du 27 Avril au 01 Mai à Ibadan, Nigéria, 11p.



**Koné M., Aman A., Yao A.C.Y., Coulibaly L., et N'Guessan K.E., 2007.** Suivi diachronique par télédétection spatiale de la couverture ligneuse en milieu de savane Soudanienne en Côte d'Ivoire. *Télédétection*, 7 (1-2-3-4): 433-446

**Koné M., N'Guessan K.E., Bakayoko A., Tra B.F.H., et Biémi J., 2006.** Etude diachronique par télédétection spatiale de la couverture ligneuse de la forêt classée de la Silué, nord de la Côte d'Ivoire. *Science & Nature*, 3 (2): 153-164.

**Koné, M. 2004.** Étude de la variabilité de la couverture ligneuse en milieu de savane à partir de l'imagerie satellitale haute résolution: Cas du nord de la Côte d'Ivoire (région de Korhogo). Thèse de doctorat, Université de Cocody, Abidjan, 135p.

**Kossi M., Bellefontaine R. et Kokou K., 2009.** Les forêts claires du Parc national Oti-kéran au Nord-Togo: Structure, dynamique et impacts des modifications climatiques récentes. *Sécheresse*, 20 (4): 394-396.

**Lamien N et Vognan G., 2001.** Importance des produits forestiers non-ligneux comme source de revenus des femmes en milieu rural. Rapport de recherche, 40 p.

**Lamien N., Bamba A., Poda D. et Lankoandé I., 2008.** Valorisation des produits forestiers non ligneux au Burkina Faso. Etat des lieux et perspectives. Rapport final Programme d'Amélioration des Revenues et de Sécurité Alimentaire (ARSA) : Composante « Exploitation rentable des Produits Forestiers Non Ligneux (PFNL) / Ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie et PNUD, 161 p.

**Mayaux P., Eva H., Fournier A., Sawadogo L., Palumbo I. et Grégoire J.M., 2003.** Apport des techniques spatiales pour la gestion des aires protégées en Afrique de l'Ouest. Séminaire régional sur l'aménagement et la gestion des aires protégées d'Afrique de l'ouest, Parakou/Bénin, 11 p.

**N'Da H.D., N'Guessan E.K., Wadja M.E. et Affian K., 2008.** Apport de la télédétection au suivi de la déforestation dans le parc national de la Marahoué (Côte d'Ivoire). *Télédétection*, 8 (1): 17-34.

**N'Guessan E., Bellan M.F. et Blasco F., 2003.** Suivi par télédétection spatiale d'une forêt tropicale humide protégée soumise à des pressions anthropiques. *Télédétection*, 3 (5): 443-456.

**N'Guessan K.E., Condé A. et Fofana M., 1989.** Utilisation des données satellitaires à haute résolution (HRV de SPOT et TM de LANDSAT) pour l'étude des pressions anthropiques sur la forêt classée de Korhogo dans le nord de la Côte d'Ivoire. *Bulletin de la Société française de photogrammétrie et de télédétection*, (116): 18-26.

**N'Guessan, E., Dibi N'da, H., Bellan, M. et Blasco, F., 2006.** Pression anthropique sur une réserve forestière en Côte d'Ivoire. *Télédétection*, 5 (4): 307-323.

**Nasi R., 1994.** La Végétation du centre régional d'endémisme soudanien au Mali. Etude de la forêt des Monts Mandingues et essai de synthèse. Thèse de doctorat, université de Paris-Sud XI, 286 p. *In* Diallo H., Bamba I., Barima Y.S.S., Visser M., Ballo A., Mama A., Vranken I., Maïga M., et Bogaert J., 2011. Effets combinés du climat et des pressions anthropiques sur la dynamique évolutive de la végétation d'une zone protégée du Mali (Réserve de Fina, Boucle du Baoulé). *Sécheresse*, 22: 97-107

**Nicholson S.E., 1983.** Sub-Sahara rainfall in the years 1976-1980: Evidence of continued drought. *Monthly Weather review*, 3 (2): 1646-1654.

**Ozer P., 2004.** Bois de feu et déboisement au Sahel : Mise au point. *Sécheresse*, 15 (3): 243-251.

**Ozer P., Hountondji Y.C., Niang A.J., Karimoune S., Manzo O.L. et Salmon M., 2010.** Désertification au Sahel : historique et perspectives. *BSGLG*, 54: 69-84.

**Paturel J.E., Servat E., Kouamé B. et Boyer J.F., 1995.** Manifestation de la sécheresse en Afrique de l'Ouest non Sahélienne : Cas de la Côte d'Ivoire, Togo et Bénin. *Sécheresse*, 6 (1): 95-102.

**Perraud A., 1971.** Les sols. *Mémoire ORSTOM*, 6 (50): 268-390.

**PNUE-FAO, 1995.** Critères et indicateurs de gestion durable des forêts en Afrique sèche. Réunion d'experts PNUE/FAO, Nairobi, 17p + annexes.

**Pointius R.G.Jr., 2000.** Quantification error versus location in comparison of categorical maps. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 66 (8): 1011-1016.

**PROGEREF/DFC, 2008.** Rapport d'inventaires de la faune réalisés du 18 au 28 Avril 2007 dans la forêt classée de Koulbi et les réserves partielle et totale de Bontioli, 46p.

**PROGEREF/DSE, 2008.** Rapport d'inventaires forestier de la forêt classée de Koulbi Province du Noubiel (Region du Sud-Ouest), 57p.

**Rouse J.W., Haas R.H., Deering D.W., Schell J.A., et Harlan J.C., 1974.** Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS: 309-317.

**Savané I., Coulibaly K.M. et Gion P., 2001.** Variabilité climatique et ressources en eaux souterraines dans la région semi-montagneuse de Man. *Sécheresse*, 12 (4): 231-237.

**Sumati V., 2006.** Examining the socio-economic drivers of fuel wood dependence in villages on the Northern boundary of Bandipur National Park, A Thesis Submitted to The Manipal Academy of Higher Education, Ms Wildlife Biology and Conservation, 34p.

**Sylla D., 2002.** Dynamique de l'occupation du sol dans le nord de la Côte d'Ivoire (1980-2000) : l'exemple du département de Korogho. Mémoire de DEA, Université de Cocody, Abidjan, 73p.

**Tabarelli M. Lopes A V. et Peres C A., 2008.** Edge-effects drive tropical forest fragments towards and early successional system. *Biotropica*, 40:657-661.

**Tabopda W.G. et Huynh F., 2009.** Caractérisation et suivi du recul des ligneux dans les aires protégées au Nord du Cameroun : analyse par télédétection spatiale dans la réserve forestière de Kalfou. Journées d'animation scientifique (JAS09) de l'AUF, Alger, 11p.

**Tabopda W.G., 2008.** Les aires protégées de l'extrême –Nord Cameroun entre politiques de conservation et pratiques locales. Thèse de doctorat en Géographie-Aménagement-Environnement, Université d'Orléans, 322p + annexes.

**Tabopda W.G., Fotsing J-M., et Huaman D., 2005.** Evolution du couvert végétal dans la réserve forestière de Laf-Madjam (extrême nord du Cameroun) de 1976 à 2003. *in Anais XII Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil*, 2 (16-21): 3379-3386.

**Tabopda W.G., Fotsing J-M., Oser K. et Tsayem Demaze M., 2007.** Apport de l'analyse spatiale dans le suivi du couvert végétal du parc national de Waza (Nord Cameroun), *GéoCongrès*, Québec, Canada, 9p.

**Tabopda W.G., Tsayem M.D. et Fotsing J-M., 2006.** L'information spatialisée comme support d'aide à la gestion des aires protégées au Cameroun: Application de la réserve forestière de Laf-Madjam. *Interactions Nature-Société, analyse et modèles*. UMR6554 LETG, La Baule, 9p.

**Therriault M., 1995.** Systems d'information géographique, concepts fondamentaux. Laval, Québec, Département de géographie, Université de Laval, Notes et documents de cours N°12, 165p.

**Traoré S.B., Reyniers F.N., Vaksmann M., Koné B., Sidibé A. et Yoroté A., 2000.** Adaptation à la sécheresse des écotypes locaux de sorghos du Mali. *Sécheresse*, 11 (3): 227-237.

**Tsayem D.M., Fotsing J-M. et Huynh F., 2002.** La déforestation dans la région de Saint-Georges de l'Oyapock. *Les cahiers d'Outre-Mer*, 218 (4): 197-222.

**Wu. W., 2003.** Application de la géomantique au suivi de la dynamique environnementale en zones arides. Exemple de la région de Nouakchott en Mauritanie, du Ningxia nord et du Shaanxi nord en Chine du nord-ouest. Thèse de doctorat Université Paris 1, Paris, 229 p.

# ANNEXES

## Annexe 1: Fiche de relevés de végétation

Date : .....

Nom et Prénom : .....

Placette N° : .....

Superficie : .....

Coordonnées de GPS: .....

N°	Nom scientifique des espèces végétales	Taux de recouvrement selon l'échelle de Braun-Blanquet					
		+	1	2	3	4	5
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							

## Signification

+: espèce présente à l'état d'individus isolés (abondance et recouvrement très faible)

1: espèce présente à l'état d'individus peu nombreux qui occupent moins de 5 % de la surface

2: espèce présente à l'état d'individus abondants, recouvrement 5 à 25 % de la surface

3: espèce dont le recouvrement se situe entre 25 et 50 %

4: espèce dont le recouvrement se situe entre 50 et 75 %

5: espèce dont le recouvrement se situe entre 75 et 100 %

## Annexe 2 : fiche d'enquêtes

Date : .....

Nom de l'enquêteur : .....

Province : .....

Village : .....

Nom du traducteur : .....

### I- Identité de l'enquêté

Nom de l'enquêté : ..... Ethnie.....

Nombre d'épouses : .....

N° concession : .....

Origine : Autochtone :

Allochtone :

Religion : Animisme :  Islam :  Christianisme :  Autre (à préciser)

Activité principale :

Agriculture :

Elevage :

Autre (à préciser) : .....

### II- Historique du village (Partie réservée aux chefs de terres)

Depuis combien d'années votre village existe ?

Quelle est l'ethnie majoritaire ?

Pourquoi avez-vous choisi ce site ?

Avez-vous des sites sacrés au sein de la forêt classée de Koulbi ?

### III- Perception des populations locales sur la dégradation de la végétation

Comment trouvez-vous la végétation comparativement au passé (il ya 20-40 ans) ?

1-Très dégradée      2-Peu dégradée      3-Intact      4-Amélioration

Comment avez-vous constaté ce changement sur la végétation ?

Quelles sont les causes (au cas où il pense qu'il ya eu dégradation) ?

1-Mauvaise pluviométrie    2-Culture d'igname    3-Augmentation de la population

4-Bois-énergie    5-Surpâturage    6-Autre (à préciser)

*\*On peut cocher plusieurs*

Quelles sont les raisons immédiates de cette amélioration (au cas où il pense qu'il ya eu amélioration) ?

1-Sensibilisation des riverains    2-Surveillance renforcée    3-Opérations de reboisement

4-Autre (à préciser)

*\*On peut choisir plusieurs*

A quelles fins exploitez-vous les ressources naturelles de la forêt classée ?

1-Alimentation    2-Pharmacopée    3-Bois de construction    4-Bois-énergie    5-Autre

*\*On peut choisir plusieurs*

IV- Impact de la culture d'igname sur la végétation

Cultivez-vous l'igname ? Oui :  Non :

Si oui depuis combien d'années produisez-vous l'igname ?

Si non pourquoi ?

1-Manque de terres propices 2-Mauvaise pluviométrie 3-Autre (à préciser)

Quelles sont les terres favorables à la culture d'igname ?

1-Nouvelles terres 2-Terres dégradées 3-Autres (à préciser)

Pour la préparation des champs d'igname utilisez-vous le feu ?

1-Oui 2-Non

Si oui pourquoi ?

1-Pour tuer les arbres 2-Eliminer les mauvaises herbes 3-Autre (à préciser)

Quelle est la durée d'utilisation d'une terre pour la production d'igname ?

1 an  2 ans  + de 2ans

Combien d'arbres et arbustes épargnez-vous dans un champ d'igname (1ha) ?

Aucun :  20/ha :  50/ha  100/ha  +100/ha

Selon vous quels sont les effets de la production d'igname sur la végétation ?

1-effet négatif 2-effet positif 3-aucun effet

V- Estimation des superficies de champs abandonnés dans la FCK par les riverains



Etiez-vous dans la FCK ? Oui  Non

Si oui quelles sont vos raisons de votre installation dans la forêt classée ?

1-Recherche de terres de fertiles                      2-Recherche de point d'eau

3-Pâturages                      4-Chasse                      5-Autre (à préciser)

Avez-vous des champs abandonnés dans la FCK ? Oui  Non

Si oui combien d'hectares estimez-vous ces champs abandonnés ?

#### VI- Variation du régime pluviométrique

Comment le régime pluviométrique évolue dans la zone ?

1-Normalement                      2-Anormalement                      3-Aucune idée

Si anormalement, comment avez-vous constaté cela?

1-Premières pluies tardives                      2-Ruptures pendant la campagne                      3-Pluies stoppent plutôt

Depuis combien d'années situez-vous ces changements ?

### Annexe 3: Coordonnées des parcelles de relevés de terrain

N°	Parcelles	X-Coordonnée	Y-Coordonnée
1	FC	513996	1075175
2	FC	514179	1075043
3	SA	515061	1074131
4	FC	513639	1074285
5	FC	513528	1074420
6	SB	516650	1074314
7	SB	516548	1074398
8	FC	520304	1063161
9	FC	520027	1063122
10	FC	519797	1062601
11	FC	520018	1062650
12	FG	522259	1060509
13	FG	522704	1060556
14	FG	521916	1060474
15	FG	517685	1066898
16	FG	525649	1057248
17	FG	525475	1057524
18	FG	525197	1058085
19	FG	525031	1058727
20	FG	525302	1055378
21	FC	520165	1056349
22	FG	520286	1056025
23	FG	522571	1059624
24	SA	515664	1071290
25	SA	516223	1071361
26	SA	521825	1060190
27	SA	521833	1059882
28	SA	517896	1058934
29	SA	515676	1057656
30	SA	514864	1063070
31	SA	515671	1065013
32	SA	516968	1065564
33	Sa	519893	1075496

Suite des coordonnées des parcelles de relevé de terrain

N°	Parcelles	X-coordonnée	Y-coordonnée
34	Sa	519312	1075496
35	SB	517599	1074968
36	SB	515555	1074117
37	SB	515590	1073605
38	SB	515318	1073549
39	SB	515843	1073041
40	SB	515475	1073069
41	SB	519120	1064801
42	SB	519303	1065051
43	Sa	515796	1072808
44	Sa	515924	1072837
45	SA	518570	1066590
46	SA	518591	1066918
47	SA	520778	1066843
48	SA	520963	1066988
49	Sa	520374	1067096
50	SA	514626	1075567

**Annexe 4** : Liste exhaustive des espèces ligneuses recensées dans les 50 relevés de végétation sur le terrain

N°	Nom scientifique des espèces ligneuses	Types de végétation				
		FG	FC	SB	SA	Sa
1	<i>Acacia ataxacantha</i> DC.	0	1	0	1	0
2	<i>Acacia dudgeoni</i> Craib ex Hall.	0	0	0	1	1
3	<i>Acacia gourmaensis</i> A. Chev.	0	1	1	1	1
4	<i>Acacia tortilis</i> (Savi) Brenan	1	1	1	1	1
5	<i>Adansonia digitata</i> L.	0	1	0	0	0
6	<i>Allophylus africanus</i> P. Beauv.	1	0	0	0	0
7	<i>Annona senegalensis</i> Pers.	0	1	1	1	1
8	<i>Anogeissus leiocarpus</i> (DC.) Guill. et Perr	1	1	1	0	1
9	<i>Aphania senegalensis</i> (Juss. ex Poir.) Radlk.	1	1	0	0	0
10	<i>Balanites aegyptiaca</i> (L.) Del.	0	0	1	0	0
11	<i>Berlinia grandiflora</i> (Vahl) Hutch. et Dalz.	1	0	0	1	0
12	<i>Bridelia ferrugina</i> Benth.	0	0	1	1	1
13	<i>Burkea africana</i> Hook. f.	0	0	1	1	1
14	<i>Cacia siberiana</i> DC.	1	0	0	0	0
15	<i>Ceiba pentadra</i> (L.) Gaertn.	1	0	0	0	0
16	<i>Cola laurifolia</i> Mast.	1	0	0	0	0
17	<i>Combretum collinum</i> Fresen.	0	1	1	1	1
18	<i>Combretum adenogonium</i> Stend. ex A. Rich.	1	1	1	1	1
19	<i>Combretum micranthum</i> G. Don	0	0	0	0	1
20	<i>Combretum molle</i> R. Br. ex G. Don	0	1	1	1	0
21	<i>Combretum nigricans</i> Lepr. ex Guill. et Perr.	0	1	0	0	0
22	<i>Combretum glutinosum</i> Perr. ex DC.	0	0	0	1	1
23	<i>Cordia mixa</i> L.	1	0	0	0	0
24	<i>Crossopteryx febrifuga</i> (Afzel. ex G. Don) Benth.	0	1	1	1	0
25	<i>Cussonia arborea</i> Hochst. ex A. Rich.	1	1	0	0	0
26	<i>Daniellia oliveri</i> (Rolfe) Hutch. et Dalz.	1	0	0	1	0
27	<i>Detarium microcarpum</i> Guill. et Perr.	0	0	1	1	1
28	<i>Dialium guineense</i> Willd.	1	0	0	0	0
29	<i>Dichrostachys cinerea</i> (L.) Wight et Arn.	0	1	0	0	1
30	<i>Diospyros mespiliformis</i> Hochst. ex A. Rich.	1	1	0	0	1
31	<i>Entada africana</i> Guill. et Perr.	0	0	1	1	1

Suite de la Liste exhaustive des espèces ligneuses recensées dans les 50 relevés de végétation sur le terrain						
32	<i>Feretia apodanthera</i> Del.	1	1	0	0	0
33	<i>Ficus umbellata</i> Vahl	0	0	1	1	0
34	<i>Flueggea virosa</i> (Roxb.ex Willd.) Voigt	1	1	0	1	1
35	<i>Gardenia erubescens</i> Stapf et Hutch.	0	1	1	1	1
36	<i>Gardenia sokotensis</i> Hutch.	0	0	1	0	0
37	<i>Gardenia ternifolia</i> Schumach.et Thonn.	0	0	0	1	0
38	<i>Grewia bicolor</i> Juss.	0	0	1	1	0
39	<i>Grewia lasiodiscus</i> K. Schum.	0	1	1	1	1
40	<i>Hannoa undulata</i> (Guill.et Perr.) Planch.	0	0	0	1	0
41	<i>Hexalobus monopetalus</i> (A. Rich) Engl.et Diels	0	0	1	1	0
42	<i>Hymenocardia acida</i> Tul.	0	0	1	1	1
43	<i>Isoberlinia doka</i> Craib et Stapf	0	1	1	1	0
44	<i>Isoberlinia tomentosa</i> (Harms) Craib et Stapf	0	0	1	0	0
45	<i>Ixora brachypoda</i> DC.	1	0	0	0	0
46	<i>Khaya senegalensis</i> (Desr.) A. Juss.	1	0	0	0	0
47	<i>Kigelia africana</i> (Lam.) Benth.	1	0	0	0	0
48	<i>Lannea acida</i> A. Rich.	0	1	1	1	1
49	<i>Lannea bacteri</i> (Oliv.) Engl.	1	1	0	0	1
50	<i>Lannea velutina</i> A. Rich.	0	1	0	0	0
51	<i>Lonchocarpus cyanescens</i> (Schum.et Thonn.) Benth.	1	1	0	0	0
52	<i>Lophira lanceolata</i> Van Tiegh.ex Key	0	0	0	1	0
53	<i>Malacantha alnifolia</i> (Bak.) Pierre	1	0	0	0	0
54	<i>Maranthes polyandra</i> (Benth.) Prance	1	0	0	1	1
55	<i>Maytenus senegalensis</i> (Lam.) Exell	0	1	1	1	1
56	<i>Mitragyna inermis</i> (Willd.) Kuntze	1	0	0	0	0
57	<i>Monotes kerstingii</i> Gilg	0	0	1	0	0
58	<i>Ochna schweinfurthiana</i> F. Hoffm.	0	0	0	1	0
59	<i>Opilia celtidifolia</i> (Guill.et Perr) Endl.ex Walp.	1	1	0	0	0
60	<i>Ozoroa insignis</i> Del.	0	0	1	1	1
61	<i>Ozoroa pulcherima</i> Del.	0	0	1	1	0
62	<i>Parinari curatelifolia</i> Planch.ex Benth.	0	0	0	1	1
63	<i>Parkia biglobosa</i> (Jacq.) R. Br.ex G. Don	0	0	0	1	0
64	<i>Paullinia pinnata</i> L.	1	0	0	0	0
65	<i>Pericopsis laxiflora</i> (Benth.) van Meeuwen	0	0	0	1	1
66	<i>Piliostigma thonningii</i> (Schumach.) Mine-Redh.	0	1	1	1	1

uite de la liste exhaustive des espèces ligneuses recensées dans les 50 relevés de végétation sur le terrain

67	<i>Prosopis africana</i> (Guill.et Perr.) Taub.	0	1	0	1	0
68	<i>Pseudocedrela kotschy</i> (Schweinf.) Harms	1	0	1	1	1
69	<i>Pteleopsis suberosa</i> Engl.et Diels	0	0	0	1	0
70	<i>Pterocarpus erinaceus</i> Poir.	1	1	1	1	1
71	<i>Pterocarpus santalinoides</i> L'Hér.ex DC.	1	0	0	0	0
72	<i>Raphia sudanica</i> A. Chev.	1	0	0	0	0
73	<i>Saba comorensis</i> (Boj.ex DC.) Pichon	1	0	0	0	0
74	<i>Saba senegalensis</i> (A. DC.) Pichon	1	1	1	1	0
75	<i>Sarcocephalus latifolius</i> (Smith) Bruce	1	0	0	1	0
76	<i>Securidaca longepedunculata</i> Fres.	0	0	0	1	0
77	<i>Sterculia setigera</i> Del.	0	0	1	1	1
78	<i>Stereospermum kunthianum</i> Cham.	0	0	1	1	1
79	<i>Strychnos innocua</i> Del.	0	1	1	1	0
80	<i>Strychnos spinosa</i> Lam.	0	0	1	1	1
81	<i>Syzygium guinense</i> (Willd.) DC.	1	0	1	1	0
82	<i>Tamarindus indica</i> L.	1	1	1	1	0
83	<i>Terminalia sp</i>	0	1	1	1	1
84	<i>Terminalia laxiflora</i> Engl.	0	0	0	0	1
85	<i>Terminalia macroptera</i> Guill.et Perr.	0	0	1	1	0
86	<i>Trichilia emetica</i> Vahl	0	0	1	1	1
87	<i>Vernonia colorata</i> (Willd.) Drake	1	0	0	0	0
88	<i>Vitellaria paradoxa</i> Gaertn.f.	0	1	1	1	1
89	<i>Vitex chrysocarpa</i> Planch.ex Benth.	1	0	0	0	0
90	<i>Vitex madiensis</i> Oliv.	1	0	0	0	0
91	<i>Xeroderris stuhlmannii</i> (Taub.)	0	0	1	1	0
92	<i>Ximenia americana</i> L.	0	1	1	1	0
93	<i>Gardenia aqualla</i> Stapf et Hutch.	0	0	1	1	1
94	Indéterminé 1	1	1	0	0	0
95	<i>Antidesma venosum</i> Tul.	1	0	0	0	0
96	<i>Vitex doniana</i> Sweet	0	0	1	0	0
97	<i>Voacanga africana</i> Stapf.	1	0	0	0	0
98	<i>Azelia africana</i> Smith ex Pers.	1	0	0	0	0
99	Indeterminé 2	1	1	0	0	0
100	<i>Lannea microcarpa</i> Engl.et K. Krause	1	1	0	1	0
101	<i>Ziziphus mucronata</i> Willd.	0	0	0	1	1

FG: Forêt galerie

FC: Forêt claire

SB: Savane boisée

SA: Savane arborée

Sa : Savane arbustive

0 : Absence de l'espèce

1 : Présence de l'espèce